

**YERALTI SUYUNUN İLERİ DEZENFEKSİYONU
VE TOKSİTESİNİN İNCELENMESİ**

E.Esra Gerek

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2008

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

E. Esra Gerek'in “**Yeraltı Suyunun İleri Dezenfeksiyonu ve Toksisitesi**” başlıklı **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 26/06/2008 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. A. SAVAŞ KOPARAL
Üye : Doç. Dr. YUSUF YAVUZ
Üye : Yard. Doç. Dr. A. TANSU KOPARAL

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERALTI SUYUNUN İLERİ DEZENFEKSİYONU VE TOKSİSİTESİNİN İNCELENMESİ

E. Esra Gerek

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL
2008, 60 sayfa

Bu çalışmada, yeraltısuyunun bor katkılı elmas, iridyum oksit ve grafit elektrotların kullanıldığı paralel plaka ve grafit raschiğ elektrot ile damlatmalı reaktörlerde elektrokimyasal yükseltgeme ile dezenfeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Paralel plaka reaktör ile yapılan çalışmalarda kesikli ve sürekli sistemde çalışılmış, arıtım süresinin ve uygulanan akım yoğunluğunun *E. coli* bakterilerinin hayatta kalma oranına ve toksisitelerine etkileri araştırılmıştır. Sürekli sistemde yapılan çalışmalarda, belli bir başlangıç *E. coli* derişimine sahip çözeltiliye değişik akış hızlarında, farklı akım yoğunlukları uygulanmış ve hayatta kalma oranı incelenmiştir. Damlatmalı reaktörde yapılan çalışmalarda ise belli bir başlangıç *E. coli* derişimine sahip çalışma çözeltilisi, farklı akış hızlarında, reaktöre gerilim uygulanarak elektrokimyasal yükseltgeme ile dezenfekte edilmiş ve hayatta kalma oranı ve toksisitesi incelenmiştir. Ayrıca, Eskişehir yeraltı suyundan alınan su örneği, hem paralel plaka hem de damlatmalı reaktörlerde elektrokimyasal dezenfeksiyona tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, paralel plakalı reaktörlerin dezenfeksiyonda daha etkin olduğu, bununla birlikte tüm elektrot malzemelerinde elektrokimyasal dezenfeksiyonun yeraltı suyu için başarılı bir şekilde gerçekleştirilebildiği ancak yüksek bakteri derişimlerinde tam ölümün sağlandığı durumlarda toksikolojik incelemelerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal dezenfeksiyon, *Escherichia coli*, iridyum metal oksit, bor katkılı elmas, grafit, paralel plakalı reaktör, dolgulu kolon reaktör, toksisite

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ADVANCED DISINFECTION OF GROUND WATER AND TOXICITY ANALYSIS

E. Esra Gerek

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Environmental Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL
2008, 60 pages

In this thesis, water disinfection by electrochemical oxidation was carried out in parallel-plate reactors with iridium-oxide and graphite electrodes, and in trickling tower reactors with ruthenium metal oxide electrodes. In studies with the parallel-plate reactor, batch and continuous systems were set up and the effects of treatment time and applied current density on the survival ratio of *E. coli* bacteria and on corresponding toxicity were investigated. In continuous system studies, various current densities were applied at different flow rates on a solution with known initial *E. coli* concentration and their effects on survival ratio was investigated. In trickling tower reactor studies a solution with known initial *E. coli* concentration was disinfected by electrochemical oxidation by applying electrical potential at various flow rates, and the changes in the survival ratio and toxicity were investigated. Furthermore, water sample from groundwater in Eskişehir was subjected to electrochemical disinfection in both parallel-plate and trickling tower reactors. According to the results, it was observed that, although all types of electrodes successfully disinfect ground water, parallel-plate reactors are more efficient in the process. It was also observed and concluded that toxicity analysis is necessary especially in situations where high concentrations of bacteria within ground water are completely annihilated with electrochemical disinfection.

Keywords: Electrochemical disinfection, *Escherichia coli*, iridium metal oxide electrode, boron doped diamond electrode, graphite electrode, parallel-plate reactor, trickling tower reactor, toxicity

TEŐEKKÜR

Çalışmamın başlangıcından itibaren her konuda desteğini, hoşgörüsünü ve yardımlarını esirgemeyen ve bundan sonra da esirgemiyeceğine emin olduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. A.Savaş KOPARAL'a,

Çalışmanın bu aşamaya gelmesinde büyük emekleri olan Yard. Doç. Dr. A.Tansu KOPARAL'a

Deneyisel çalışmalarım süresince bilgi, anlayış ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Yusuf YAVUZ'a

Çalışmalarım süresince ilgi ve destekleri ile yanımda olan Çevre Mühendisliği Bölümü ve Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi hocalarım ve arkadaşlarıma,

Manevi ve çalışma desteğini hiç esirgemeyen sevgili Araç. Gör. Filiz Bayrakçı KAREL'e,

Yanımda huzur bulduğum, beni her zaman destekleyen eşim Ömer'e,

Uslu ve iyi kalpli bir çocuk olduğu için çalışmalarıma odaklanmama izin veren oğlum Kıvanç'a,

Ve sevgili aileme

En içten teőekkürlerimi sunarım.

E. Esra Gerek

Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZETi
ABSTRACTii
TEŞEKKÜRiii
İÇİNDEKİLERiv
ŞEKİLLER DİZİNİvi
ÇİZELGELER DİZİNİviii
1. GİRİŞ	1
2. YERALTI SUYU	5
3. DEZENFEKSİYON	8
3.1. Dezenfeksiyon Mekanizması	8
3.2. Dezenfeksiyona etki eden Faktörler	8
3.3. Dezenfeksiyon Yöntemleri	10
3.4. Elektrokimyasal Dezenfeksiyon	10
4. BAKTERİYOLOJİK ÇALIŞMALAR	14
4.1. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma.....	14
4.2. Örnek Alma ve İnokulasyona Hazırlama	14
4.3. İnkübasyon	15
4.4. Direkt Sayım Yöntemleri	15
4.4.1. Dökme Plak Yöntemi ile Kültürel Sayım	16
4.4.2. Yüzeğe Yayma Plak Yöntemi ile Kültürel Sayım.....	16
4.5. İndirekt Sayım Yöntemleri	17
4.5.1. Türbidimetrik Sayım Yöntemi.....	17
5. TOKSİKOLOJİ	19
5.1. Balık Biyodeneyleleri	22
5.2. Omurgasız Organizmalar ile Yapılan Biyodeneyleler	22
5.3. Bitki ve Alg Biyodeneyleleri.....	22
5.4. Bakteri Biyodeyleleri.....	23
5.5. Biyosensörler.....	23
5.6. Hücre Kültürü.....	23
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
6.1. Gereç ve Yöntem.....	25
6.2. Elektrokimyasal Çalışmalar	25
6.3. Klor Tayini	27

6.4. Radikal (Toplam Yükseltgenleyiciler) Tayini.....	28
6.5.Sitotoksosite Deneyleeri.....	28
6.5.1.Hücre Kültürü.....	28
6.5.1.1 V79 397A Hücreleri.....	28
6.5.1.2 RTG-2 Hücreleri.....	29
6.5.2.MTT Testi.....	30
6.6. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Yardımcı Araçlar.....	30
7.BULGULAR.....	32
7.1. Geri Döngülü Çalışmalar.....	32
7.1.1.Dezenfeksiyon Çalışmaları.....	32
7.1.1.1 Bor Katkılı Elmas Elektrot.....	32
7.1.1.2 İridyum Metal Oksit Elektrot.....	32
7.1.1.3 Grafit Plaka Elektrot.....	32
7.1.1.4 Grafit Raschig Halka elektrot (Dolgulu Kolon Reaktör).....	33
7.1.2.Elektrokimyasal Reaktörlerde Üretilen Klor Miktarı.....	34
7.1.2.1 Bor Katkılı Elmas Elektrot.....	34
7.1.2.2 İridyum Metal Oksit Elektrot.....	35
7.1.2.3 Grafit Plaka Elektrot.....	36
7.1.2.4 Grafit Raschig Halka elektrot. (Dolgulu Kolon Reaktör).....	37
7.1.3.Elektrokimyasal Reaktörlerde Üretilen Radikal (Toplam Yükseltgen) Miktarı.....	38
7.1.3.1 Bor Katkılı Elmas Elektrot.....	39
7.1.1.2 İridyum Oksit Elektrot.....	39
7.1.1.3 Grafit Plaka Elektrot.....	40
7.1.1.4 Grafit Raschig Halka Elektrot.(Dolgulu Kolon Reaktör).....	40
7.2.Sürekli Akış Şemaları.....	41
7.3. Sıcaklık Çalışmaları.....	42
7.4.Toksikolojik Çalışmalar.....	42
8. BULGULARIN TARTIŞILMASI.....	49
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR.....	53
EK-1 Anot yüzey alanı hesabı.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

6.1. Paralel plakalı reaktör deneysel çalışma düzeneği.....	26
6.2. Damlatmalı reaktör deneysel çalışma düzeneği.....	27
7.1. Bor katkılı elmas elektrotlarda akım yoğunluğunun hücre hayatta kalma oranına etkisi.....	32
7.2. İridyum metal oksit elektrotların akım yoğunluğunun hücre hayatta kalma oranına etkisi.....	33
7.3. Grafit plaka elektrotların akım yoğunluğunun hücre hayatta kalma oranına etkisi.....	33
7.4. Raschig grafit elektrotların kullanıldığı damlamalı reaktörde akış hızının hayatta kalma oranına etkisi.....	34
7.5. Bor katkılı elmas elektrotların akım yoğunluğuna göre klor üretim miktarının etkisi.....	34
7.6. Bor katkılı elmas elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarının etkisi.....	35
7.7. İridyum metal oksit elektrotların akım yoğunluğuna göre klor üretim miktarına etkisi	35
7.8. İridyum metal oksit elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarına etkisi.....	36
7.9. Grafit plaka elektrotların akım yoğunluğuna göre klor üretim miktarına etkisi.....	36
7.10. Grafit plaka elektrotların elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarına etkisi.....	37
7.11. Raschig .grafit elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarına etkisi	37
7.12. Bor katkılı elmas elektrotlarda akım yoğunluğunun radikal üretim miktarına etkisi.....	38
7.13. Bor katkılı elmas elektrotlarda radikal üretim miktarına akış hızının etkisi.....	38
7.14. İridyum metal oksit elektrotlara göre radikal üretim miktarına akım yoğunluğunun etkisi.....	39
7.15. İridyum metal oksit elektrotlarda radikal üretim miktarına akış hızının etkisi.....	39
7.16. Grafit plaka elektrotlara göre radikal üretim miktarına akım yoğunluğunun etkisi.....	40

7.17. Grafit elektrotlarda göre radikal üretim miktarına akış hızının etkisi. Akım yoğunluğu 30mA/cm ²	40
7.18. Grafitten yapılmış raschig halkalı damlatmalı reaktörde radikal üretim miktarına akış hızının etkisi.....	41
7.19. RTG-2, 10mA/cm ² 'de 5 dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	42
7.20. RTG-2, 20mA/cm ² 'de 2dk İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	43
7.21. RTG-2, 30mA/cm ² 'de 1 dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	43
7.22. RTG-2, 10mA/cm ² 'de 8 dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma....	43
7.23. RTG-2, 20mA/cm ² 'de 5dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma....	44
7.24. RTG-2, 30mA/cm ² 'de 1 dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma...44	44
7.25. RTG-2, Grafit Raschig halkalı dolgulu kolon reaktörde tek geçiş çalışması.....	44
7.26. RTG-2, Grafit plaka reaktörde tek geçiş çalışması.....	45
7.27. V79 379A, 10mA/cm ² 'de 5dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	45
7.28. V79 379A, 20mA/cm ² 'de 2dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	45
7.29. V79 379A, 30mA/cm ² 'de 1dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	46
7.30. V79 379A, 10mA/cm ² 'de 8dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	46
7.31. V79 379A, 20mA/cm ² 'de 5dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	46
7.32. V79 379A, 30mA/cm ² 'de 1 dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	47
7.33. V79 379A, Grafit Raschig halkalı dolgulu kolon reaktörde tek geçiş çalışması.....	47
7.34. V79 379A, Grafit plaka reaktörde tek geçiş çalışması.....	47
7.35. V79 379A, 30 mA/cm ² 'de Grafit plaka reaktörde geri döngülü çalışma.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

6.1. Çalışılan yeraltı suyunun özellikleri.....	25
7.1. Sürekli akış sistemi deney sonuçları.....	41
7.2. İridyum elektrot tipinin sürekli akış sisteminde sıcaklık çalışma sonuçları.....	42

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, bütün canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen, cansız çevre öğeleri üzerinde yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin; hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışması olayıdır (Resmi Gazete 1983). Başlıca kirlilik çeşitleri; hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, gürültü kirliliği ve radyoaktif kirlilik olarak sıralanabilir.

Dünyada ve ülkemizde görülen en önemli çevre sorunlarından birisi suların kirlenmesidir. En önemli yaşam kaynağının su olmasına ve tüm canlıların %75'inin sudan oluşmasına karşılık dünyadaki toplam su miktarı sınırlıdır. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 'tür. Bu suların % 97,5'u okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, % 2,5'u ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da % 90'ının kutuplarda ve yeraltında hapsedilmiş olarak bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3 ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3 lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3 lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m^3 lük suyun 28 milyar m^3 'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelere gelen yılda ortalama 7 milyar m^3 su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli yıllık 193 milyar m^3 olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m^3 de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m^3 , komşu ülkelere gelen akarsulardan 3 milyar m^3 olmak üzere yılda ortalama toplam 98 milyar m^3 , 14 milyar m^3 olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olmaktadır (http 1).

Bu çalışmada ele alınan ve dezenfeksiyon ile temizlenmeye çalışılan su kaynakları, temelde öncelikle yeraltı suyunun kirlenmesi ile etkilenmektedir. Bu kirlenmenin en belirgin nedeni kentsel ve endüstriyel atıkların çevreye verildikten sonra iklim durumuna, toprağın yapısına ve zamana bağlı olarak yeraltı suyuna taşınmasıdır. Yeraltı sularının kirlenmesinin diğer önemli nedenlerinden birisi de tarım ilaçları ve gübrelerin bilinçsiz kullanımı ile evsel atıkların doğrudan toprağa verilmesidir. Yeraltı suyu kalitesinde bozulmaya yol açan tarımsal faaliyetler ise pestisit ve gübre kullanımı ile hayvan atıklarının atılmasıdır (Freeze ve Cherry 2003).

SKKY'ya göre yeraltı sularının kalite sınıfları aşağıda verilmiştir:

Sınıf YAS I : Yüksek kaliteli yeraltı suları : Sınıf Yas I sular, içme suyunda ve gıda sanayinde kullanılabilen yeraltı sularıdır. Bu sınıfa giren yeraltı suları diğer her türlü kullanma amacına uygundur.

Sınıf YAS II : Orta kaliteli yeraltı suları : Sınıf Yas II sular, bir arıtma işleminden sonra içme suyu olarak kullanılacak sulardır. Bu sular tarımsal su ve hayvan sulama suyu veya sanayide soğutma suyu olarak herhangi bir arıtma işlemine gerek duyulmadan kullanılabilir.

Sınıf YAS III : Düşük kaliteli yeraltı suları : Sınıf Yas III sular, yukarıda verilen kalite parametrelerinden daha kötü özellik taşıyan sulardır (Resmi Gazete 2004).

Diğer kirleticilerin arasında bulunan ve bu çalışmada hedeflenen biyolojik kirliliktir. Sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan hastalık yapıcı mikroorganizma ve virüsler önemli bir sağlık riski oluşturur. Suların hijyenik açıdan kirlenmesine neden olan bakteriler, virüsler ve diğer hastalık yapıcı (patojen) canlılar, genellikle hastalıklı veya portör (hastalık taşıyıcı) olan hayvan ve insanların dışkılarından kaynaklanır.

Bu şekilde oluşan kirli su, patojen mikroorganizmalar içerir. Su ve atık su, patojen mikroorganizmaların insanlara ve diğer canlılara yayılmasına yardımcı olmaktadır. İşlem görmemiş su ve atık sularda bakteri, protozoa, virüs ve helmintler gibi patojenik özellik gösterebilecek mikroorganizma türleri barınabilmektedir. Sonuç olarak su, hidrolojik devrini tamamlarken birçok kirletici ile temas ederek birçok hastalığın yayılmasına neden olmaktadır (Alkan ve ark. 1998).

Suyun içerdığı patojenik mikroorganizmaların elimine edilerek emniyetle kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Suda bulunan patojenleri zararlı olmayacakları seviyeye indirme işlemine “dezenfeksiyon” denmektedir. Dezenfeksiyon işleminde çeşitli fiziksel ve kimyasal süreçler uygulanabilmektedir. Klor ve klor türevleri ucuz ve etkili dezenfektanlar olması nedeniyle en yaygın olarak kullanılan dezenfektanlardır (Şengül ve Şengül 1998). Ancak, 1970’lerden itibaren klor kullanımının dezenfeksiyon sorununu çözmesine rağmen başka sorunlar yarattığı bilinmektedir. Suyu klor eklendiğinde, klor suda bulunan organik kirleticilerle tepkimeye girerek trihalometanlar gibi kanserojen maddeler oluşmaktadır. Bu nedenle alternatif dezenfeksiyon yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu alternatiflerden biri de, proje çalışmasında ele alınan elektrokimyasal yöntemle su dezenfeksiyonudur.

Elektrokimyasal dezenfeksiyon sistemlerinin klasik dezenfeksiyon araçlarına göre daha etkin olduğu bilinmektedir (Jansen ve Koene 2002). Yer kaplamaması, işletimi kolay, yatırım maliyeti düşük ve otomasyona uygunluğu diğer avantajları olarak belirtilmiştir (Jütter ve ark. 2000). Ancak, dezenfeksiyon sonrası toksisite ile ilgili klasik dezenfeksiyon süreçlerinin aksine bu yönetime yönelik çalışmalar yapılmamıştır.

Dezenfeksiyon kaynaklı toksikoloji problemleri sadece rezervuarlardaki kirleticilerden değil, aynı zamanda dezenfeksiyon sürecinin kendisinden kaynaklanabilir. *In vitro* sitotoksikite testleri, hücre canlılığı, hücre poliferasyonu, membran seçici geçirgenliği, DNA sentezi ya da hücre metabolizma gibi toksisiteyi belirleyen gösterge parametrelerin ölçülmesine dayanır. Sitotoksikite deneyleri *in vitro* çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (Bosch ve ark., 2007). Bu çalışmada hem elektrokimyasal dezenfeksiyonun farklı elektrot malzemeleri ve reaktör çeşitleri ile yeraltı suyu dezenfeksiyonunda kullanılabilirliğinin belirlenebilmesine hem de dezenfeksiyon sonrası toksisite ile ilgili sonuçların elde edilebilmesine çalışılmıştır.

2. YERALTI SUYU

Yeraltı suyu; su tablasının altındaki doymun zemin veya jeolojik formasyon içinde bulunan durgun veya hareket halinde olan su kaynağıdır. Su kaynakları arasında yeraltı sularının, her yerde gerekli derinliğe kuyular vasıtası ile inildiğinde bulunması, yüzeysel kirlenmelere karşı muhafazalı olmaları, sıcaklıklarının yaz ve kış aylarında fazla değişmemesi gibi özellikleri vardır (Şen 2003).

Yeraltı suyunun değişik jeolojik kayalardan geçerken çözdükleri mineraller sayesinde bu suların içimleri doğal olarak çok uygundur. Ayrıca yeraltı sularının, buharlaşmadan korundukları için kayıpları azdır. Bütün bu özellikleri yeraltı sularının günümüzde bile içme maksatlı su kaynaklarının başında gelmesine sebep olmaktadır (Yalçın ve ark. 2004).

Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği'nde su kirliliği; su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılmasını ifade eder (Resmi Gazete 2004).

Katı, sıvı ve gaz atıklar alıcı ortama verildikten sonra; iklim durumuna, toprağın yapısına, yeryüzü şekline, atığın cinsine ve zamana bağlı olarak yeraltı sularına karışır. Kaynağın beslenme alanında gözlenen birimler gözenekli ve geçirimli bir yapıya sahip olduğu için, özellikle yağışlı mevsimlerde bu kirleticiler yeraltısuyuna karışmakta, akiferin kirlenmesine neden olmaktadır. Kirlenen bu tür sulu ortamlar mikroorganizmaların gelişip çoğalması ve yayılması için uygun ortamı teşkil etmektedir. Pek çok organizmanın yaşama süresi, organizmanın cinsine ve ortamın sıcaklık, pH, organik madde içeriği gibi özelliklerine bağlı olarak değişir. İnsanlar, yaşamsal ve ekonomik gereksinimleri için suyu "hidrolojik çevrim" olarak bilinen su döngüsünden alırlar ve kullandıktan sonra tekrar aynı döngüye iade ederler. Sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan hastalık yapıcı mikroorganizma ve virüsler önemli bir sağlık riski oluşturur. Suların hijyenik açıdan kirlenmesine neden olan bakteriler, virüsler ve

diğer hastalık yapıcı canlılar, genellikle hastalıklı veya portör (hastalık taşıyıcı) olan hayvan ve insanların dışkılarından kaynaklanır.

Bulaşıcı etki, ya bu atıklara doğrudan temasla veya bu atıkların karıştığı sulardan dolaylı olarak gerçekleşir. İçme suyu temini sırasında ve kullanıma açık sularda mikrobiyolojik kirlenme önemli bir sorun oluşturmaktadır. Artan su ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için yerüstü su kaynaklarının yanı sıra yeraltı sularının da kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Buna bağlı olarak kullanılan su potansiyelinin artışı su kirlenmesi problemini de beraberinde getirmiştir (Ritter ve ark. 2002; Değirmenci 2000).

Ülkemizde özellikle kırsal alanlarda bulunan küçük yerleşim birimleri başta olmak üzere birçok yerleşimde, kaynakların beslenme havzasında veya kaynak civarında iskan fazlalaşmaktadır. Su kaynakları yerleşim birimlerinin atıkları ile jeolojik yapıya da bağlı olarak hızla kirlenmektedir. Kirlenme etkisiyle yerleşim birimlerinde salgın hastalıklar görülmektedir. Kırsal kesimde çoğunlukla suyun varlığı yeterli görülmemekte, kimyasal ve bakteriyolojik bileşimine dikkat edilmeden kullanılmaktadır. Ancak, büyük boyutlu sağlık problemleri ile karşılaşıldığında kullanılan suyun sağlığa zararlı olup olmadığı konusu ön plana çıkmaktadır.

Tüm dünyada uygun olmayan içme sularının kullanımı % 20 civarında olup, her yıl 5 milyondan fazla kişi suyla bulaşan hastalıklar nedeniyle kaybedilmektedir. Uygun içme suyu ve sanitasyon sağlandığı takdirde dünyada yılda 200 milyon daha az ishalleri vaka olacak, ishal nedeniyle ölen kişi sayısı 2,1 milyon azalacaktır. Protozoonlar (örneğin amipler) ciddi karaciğer veya beyin enfeksiyonlarına neden olabilmekte, kontakt lens kullananlarda tehlikeli göz enfeksiyonları oluşabilmektedir. Özellikle ılıman ve sıcak iklimlerde insan ve hayvan dışkısı ile kirlenen suda mikroorganizmalar rahatlıkla taşınır. Aynı su şebekesinden çok kişinin yararlanması ve bakteriyi alması nedeniyle hasta sayısı hızla artan salgınlar çıkar. Bu gruptaki mikroplar suda pasif olarak taşınır. Tifo, Kolera, Viral Hepatit bu gruba giren hastalıklardandır. Korunma yöntemi suyun niteliğinin iyileştirilmesi, yani temiz tutulmasıdır. Suyla bulaşan enfeksiyonlar içinde en sık görüleni bağırsak hastalıkları olup, salgın hızı % 50'lere ulaşabilmektedir. Bunun yanında suyla bulaşan bu tarz mikroorganizmalar ishal

dışında farklı belirtiler gösterebilirler. Suyun klorlanmasıyla suyla bulaşan bakteriyel organizmaların çoğu yok edilmektedir.

Kirlenmiş sularda bulunan organizmalar, etkileri ve analiz yöntemleri bakımından temel bazı gruplara ayrılabilirler. Bazı tip virüsler (hepatit A ve E, Norwalk virus, küçük yuvarlak yapılı virusler - SRSV, astrovirusler, kalisiviruslar), su endüstrisinde sık raslanan virüslerdir. Benzer şekilde Salmonella spp., Shigella spp., patojenik E.coli, V.cholerae, Yersinia enterocolitica, C.jejuni ve Campylobacter coli, viruslar ve Giardia, Cryptosporidium spp., E.histolytica, Dracunculus medinensis gibi parazitler içme suyunda bulunurlarsa her zaman enfeksiyon riski oluştururlar. Şistosomiasis (bilharziasis), tropikal ve sub-tropikal bölgelerin önemli bir parazit hastalığıdır. Bu hastalık öncelikli olarak banyo yaparken suyla temas sonucunda bulaşır. Larvalar deri altına nüfuz ederek hastalığı başlatır (Usluer 2004).

Su kaynaklarının sağlık açısından emniyetli olabilmesi için suyun kirlenmeye maruz kalıp kalmadığının belirlenmesi de gerekmektedir. İndikatör organizmaların varlığının belirlenmesi ile suyun kirlilik durumu tespit edilebilmektedir. En çok kullanılan indikatör organizmalar koliform bakterilerdir (Kıvanç ve ark. 1996).

Bahsedilen yeraltı suyu bilgileri açısından ülkemizin ve tezimizde incelenen Eskişehir bölgesinin durumu da kısaca burada açıklanmaktadır. Ülkemizde çeşitli amaçlar için yüzey ve yer altı suyu kaynakları mevcuttur. Türkiye su kıtlığı çeken ülkeler arasında şu anda yer almamaktadır ancak kişi başına düşen yıllık yenilenebilir su miktarında hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Söz konusu değer 1955 yılında 8509 m³ iken 1990 yılında 3626 m³'e düşmüştür. 2025 yılında bu değer 2186 m³'e kadar inmesi öngörülmektedir. Tatlı su kaynaklarımız şimdilik yeterli olmakla birlikte, yıllık nüfus artış oranının % 2,5 oluşu, su tüketiminin ve kirletici kaynakların giderek artmasına neden olacaktır. Ülkemizde 167 sayılı Yeraltı Suları Hakkında Kanun ile belirtilen kurallar çerçevesinde yeraltı suları içme suyu olarak kullanılabilir (http 2 ; Resmi Gazete 1960).

Çalışmanın gerçekleştirildiği Eskişehir ovasında yeraltı suyunu taşıyan formasyon alüvyondur. Bu alüvyonlar, Keskin deresi vadisi eski alüvyonları,

Porsuk ayı ve Sarı su'dan beslenmektedir. Sağ ve sol ana kanal ve tali kanallardan da beslenme olmaktadır. Alüvyon tabaklarının kalınlığı 5-95 m arasında değişir. En kalın olduğu yer Hasanbey köyünün kuzeyidir. Ovanın batısında, Porsuk ve Sarı su'yun birleştii alanda alüvyon kalınlığı 20 m, doğusundaki avlum köyünde ise 35 m 'dir. Eskişehir'in merkezinde ise alüvyon kalınlığı 15-35 m arasında değişmektedir (Tombul 1991).

3. DEZENFEKSİYON

Su dezenfeksiyonu, içme ve kullanma sularında halk sağlığının korunması için en önemli nokta olan patojen mikroorganizmaların önüne geçecek en son bariyer şeklindeki bir süreçtir. Bakteriye kirletmenin önüne geçilmesi ve mikrobiyolojik birikimin önlenmesi için dezenfeksiyon metodları en yaygın olarak, kimyasal, fiziksel etkenler, mekanik araçlar ve radyasyon kullanılarak yapılır.

3.1. Dezenfeksiyon Mekanizması

Dezenfektan maddelerin etkisinin genelde dört şekilde gerçekleştiği belirtilmektedir (Gül 1994). Bunlar;

- Hücre duvarını tahrip etme,
- Hücre geçirgenliğinin değiştirilmesi,
- Protoplazmanın koloidal yapısının değiştirilmesi,
- Enzim aktivitesinin inhibisyonu,

Hücre duvarının tahribi hücrenin ölümüne neden olur. Bazı maddeler (penisilin gibi) bakteriyel hücre duvarı sentezini inhibe ederler.

Fenolik bileşikler ve deterjanlar gibi maddeler ise stoplazmik membranın geçirgenliğini değiştirirler. Bu bileşikler, membranın seçimli geçirgenliğini bozarlar ve yaşam için gerekli azot ve fosfor gibi maddelerin hücre tarafından kullanılmasını engellerler.

Isı, radyasyon, kuvvetli asit ve kuvvetli bazlar, protoplazmanın koloidal yapısını değiştirirler. Isı hücre proteinini koagüle eder. Dezenfeksiyonun diğer etkin mekanizması enzim inhibisyonudur. Klor gibi oksitleyici maddeler enzimlerin kimyasal düzenini bozar ve etkisiz hale getirirler (Gül 1994).

3.2. Dezenfeksiyona etki eden faktörler

Dezenfeksiyon işleminde aşağıdaki faktörler rol oynar;

- Organizma türü ve derişimi,
- Dezenfektan türü, derişimi ve kullanılış biçimi,

- Suyun fiziksel, kimyasal özellikleri (sıcaklık, askıda katı madde, organik madde derişimi, pH gibi),
- Temas süresi.

Dezenfeksiyon işleminde en önemli etken temas süresidir. Sabit dezenfektan derişimi için, temas süresi ne kadar fazla ise o kadar çok bakteri ölür. Bu gözlem ilk kez Chick tarafından yapılmıştır.

Chick Yasası;

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N_t \quad (3.1)$$

N_t : Herhangi bir t anındaki yaşayan mikroorganizma sayısı

t : süre

k : sabit (süre⁻¹)

Öldürme hızı bazı durumlarda zamanla artabilir ya da azalabilir. Bu durumda;

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -k \cdot t^m \text{ 'dir.} \quad (3.2)$$

m : sabit

$m < 1$ ise öldürme hızı zamanla azalır

$m > 1$ ise öldürme hızı zamanla artar

Sıcaklığın dezenfektan etkisi Van't Hoff – Arrhenius eşitliği ile gösterilir. Sıcaklık arttıkça öldürme hızı artar.

$$\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{E \cdot (T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2} \quad (3.3)$$

t_1, t_2 : T_1 ve T_2 sıcaklıklarında (°K), belirli bir öldürme yüzdesine ulaşmak için gereken süre

E : Aktivasyon enerjisi, J/mol (cal/mol)

R : Gaz sabiti, 8,314 J/mol °K (1,99 cal/ mol °K)

Dezenfektanların etkinliği, mikroorganizmaların tiplerine de bağlıdır. Örneğin, büyümekte olan bakteriler kolaylıkla öldürülebilir. Bunun aksine

bakteriyel sporlar çok dirençlidir ve kimyasal dezenfektanlar az etkilidir ya da hiç etkili değildir. Isı gibi diğer dezenfektan etkiler kullanılır.

Askıda katı madde içeren sularda, yabancı organik maddeler, yükseltgen dezenfektanların çoğu ile tepkimeye girerek bunların etkilerini düşürürler.

Dezenfektan tipine bağlı olarak dezenfeksiyonun etkinliği derişime bağlıdır.

$$C^n \cdot t_p = k \quad (3.4)$$

C: dezenfektan derişimi

t_p : sabit bir ölüm yüzdesine ulaşılan süre, t (yüzde yok olma süresi)

$n > 1$ ise temas süresi dozajdan daha etkin

$n < 1$ ise temas süresi ve dozaj aynı etkiye sahip (Metcalf ve Eddy 2003).

3.3. Dezenfeksiyon yöntemleri

Dezenfeksiyon işleminde kullanılan yöntemler genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir;

1. Fiziksel yöntemler
 - a) Isı ile dezenfeksiyon
 - b) Ultraviyole ışık ile dezenfeksiyon
2. Kimyasal yöntemler
 - a) Alkali ve asitler ile dezenfeksiyon
 - b) Yüzey aktif kimyasal maddeler ile dezenfeksiyon
 - c) Metal iyonları ile dezenfeksiyon
 - d) Halojenler ile dezenfeksiyon
 - e) Ozon ile dezenfeksiyon
 - f) Potasyum permanganat ile dezenfeksiyon (Şengül ve Şengül 1998).

3.4. Elektrokimyasal dezenfeksiyon

Ozon ve klor ile dezenfeksiyon içme veya kullanma suyu için sıkça kullanılan iki kimyasal dezenfeksiyon yöntemidir. Buna rağmen tehlikeli maddeler (trihalometanlar gibi) oluşması ve yüksek maliyet giderleri, alternatif dezenfeksiyon yöntemlerinin araştırılmasına olanak tanımıştır. Su dezenfeksiyonu

elektrokimyasal olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Son zamanlarda bu konu üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Elektrokimyasal su dezenfeksiyon sistemleri boyut olarak en az uygulama alanı gerektiren sistemlerdir. Elektrokimyasal yapılan dezenfeksiyonun en önemli avantajı, dezenfekte etme özelliğine sahip kimyasalların kullanılacağı yerde üretilmesidir. Böylece klorlamada endişe yaratan klorun depolanması ve taşınması sırasında meydana gelebilecek tehlikelerin önüne geçilmektedir. Bu yöntem çevre ile dost, düşük maliyetli, kolaylıkla kullanılabilen; bakteri, virus, alg gibi birçok çeşitli mikroorganizmayı ortamdan temizleyen bir işlemdir. Bununla birlikte, dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu azaltan alternatif teknolojiler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır (Kerwick 2005; Feng 2004).

Elektrokimyasal dezenfeksiyonda doğru akım veya düşük veya yüksek frekanslı (0,5-800 Hz) alternatif akım uygulanabilmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda, doğru akımın dezenfeksiyonda alternatif akımdan çok daha etkili olduğu bulunmuştur. Elektrokimyasal su dezenfeksiyonunda elektrot malzemesi olarak grafit, granüler aktif karbon, aktif karbon lif ve gümüş vb elektrotlar kullanılabilir. Bazı durumlarda NaCl ve NaBr gibi maddeler suya eklenerek sürecin etkinliği artırılmaktadır.

Elektrokimyasal su arıtımı ile boyutları virüslerden bakteri ve alglere kadar değişen mikroorganizma türleri başarılı olarak sudan giderilebilmektedir.

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonun etki mekanizması temel olarak bakterilerin anotta direkt olarak yükseltgenmesine ya da elektrokimyasal olarak bir yükseltgen üretilerek bakterilerin elektrokimyasal reaktörde indirekt yolla yükseltgenmesine dayanmaktadır (Patermarakis ve Fountoukidis 1990).

Direkt yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonda, elektrokimyasal reaktöre gerilim uygulanması ile bakteri hücrelerinin solunum aktivitesinin azalması sağlanmakta ve sonuçta ölümüne sebep olunmaktadır. Bu yöntem hücre içi koenzim A'nın elektrokimyasal yükseltgenmesine dayanmaktadır (Matsunaga ve ark. 1984).

İndirekt yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonun prensibi elektrokimyasal bir hücrede bir yükseltgen üretilmesine dayanmaktadır. Üretilen yükseltgen genellikle klordur. Suda çoğunlukla bulunan klorür elektrokimyasal

olarak yükseltgenerek ya da suya ilave edilen sodyum klorür ile klor veya hipoklorit üretilerek kirleticilerin dezenfeksiyonunda kullanılabilir (Martnez-Huitle 2008).

Elektrokimyasal su arıtımı ile boyutları virüslerden bakteri ve alglere kadar değişen yaklaşık 40 tür mikroorganizma türü başarılı olarak sudan giderilebilmektedir (Patermarakis ve Fountoukidis 1990; Polcaro ve ark. 2007).

Elektrokimyasal dezenfeksiyonda, kullanılan suyun bileşimine göre üretilen dezenfektan türü ve dezenfeksiyon yan ürünleri çok değişmekte bunun sonucu olarak, üretilen dezenfektan bir karışımdan oluşmaktadır. Son birkaç yıldır bu karışım elektroliz edilmiş karışım su olarak isimlendirilmektedir. Reaktif oksijen bileşikleri, aktif klor ve bileşikleri, hidrojen peroksit gibi yükseltgenlerden oluşabilen bu karışımın bileşenlerinin birbirleri ile girişim yapması nedeni ile doğru ölçülmesinde büyük sıkıntılar olmaktadır.

Elektroliz uygulamalarında, özellikle yüksek elektrot potansiyeline ulaşan anot durumunda oluşan farklı radikaller konusunda fazla bilgi mevcut değildir. Reaktif Oksijen Türleri (ROT) sadece yukarıda bahsedilen radikaller ve ozon değil, ayrıca O_2^- , H_2O_2 ve diğer türleri de içerir. OH ve O_2^- 'nin hücre zarına zarar verdiği düşünülmektedir. Zar geçirgenliğinin kaybı, hücrelerin şekillerini bozarak sarkma ve sızmalara neden olur. *E.coli* giderilmesinin ROT ile hücre zarı tahribi ve bunu takiben hücre lipid zarındaki çok-saturasyonsuz fosfolipid bileşeninin peroksidasyonundan kaynaklandığı rapor edilmektedir (Bergman ve ark. 2008; Maness ve ark. 1999).

Karwick ve ark. (2005) yaptıkları çalışmanın konusunu içme suyunun elektrokimyasal dezenfeksiyonu olarak seçmişlerdir. Yazarlar bu çalışmada oluşturdukları model içme suyu çözeltisinde elektrokimyasal dezenfeksiyonun *E.coli* ve bakteriofaj MS 2'ye karşı etkinliği incelemişlerdir. Model içme suyuna bileşimi NaCl'li ve NaCl olmaksızın ($Na_2 SO_4$) seçip her iki durum içinde elektrokimyasal dezenfeksiyonun başarılı şekilde gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir.

Feng ve ark. (2004), Japonya'daki soğutma kuleleri suyunun ve kahverengi pirinç sirkülasyon suyunun elektrokimyasal dezenfeksiyonu üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada suyun özelliklerinin elektrokimyasal arıtımla

iyileştirilmesinin yanı sıra Legionella bakterisine karşı dezenfeksiyonun da gerçekleştiğini ortaya çıkarmışlardır.

Yapılan başka bir çalışmada Hsu (2003), dezenfeksiyon amaçlı suyun elektroliz ile üretimine tuz derişiminin, su akış hızının ve çalışma sıcaklığın etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada ARV model elektrokimyasal dezenfeksiyon ünitesi kullanılmıştır. Tuz olarak bidistile suya NaCl ilave edilerek hazırlanan çalışma çözeltilinde, aktif klor üretimi hedeflenmiştir. Oluşabilecek diğer yükseltgeyiciler ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

Elektrokimyasal dezenfeksiyonun, klor, ozon ve Fenton tepkimesi ile kıyaslanmasını Diao ve ark. (2003) çalışmışlardır. Karşılaştırmayı dezenfektanlara maruz bırakılan *E.coli* bakterilerinin elektron mikroskobu görüntüleri ile yapmışlardır. Araştırmada elektrokimyasal dezenfeksiyonunun, yalnız klorla yapılan dezenfeksiyondan çok farklı görüntü verdiği gösterilmiştir. Bu sonuç elektrokimyasal dezenfeksiyonda, dezenfeksiyondan yalnızca üretilen klorun sorumlu olmadığını ortaya koymuştur.

Bergmann ve Koparal (2005), yaptıkları çalışmada içme suyunun elektrokimyasal dezenfeksiyonunda klordioksit oluşumunu araştırmışlardır. Araştırmacılar, oluşabilecek çeşitli elektrokimyasal dezenfeksiyon ürünlerinin yeterince araştırılmadığını ve bunun potansiyel sağlık riski oluşturabileceğini vurgulamışlardır.

4. BAKTERİYOLOJİK ÇALIŞMALAR

4.1. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma

Üzerinde veya içinde mikroorganizma üretilmiş (ya da üremiş) besiyerlerine “kültür” denir. Besiyerinde yalnızca tek bir mikroorganizma türü üretilmiş kültürler “saf kültür” olarak adlandırılır.

Kültür yapma (kültivasyon); mikroorganizmaların buldukları ortamdan belirli tekniklerle alınarak, uygun bir besiyerine aktarılması ve burada gelişmelerinin sağlanması aşamalarını içerir.

Kültür Elde Etme Aşamaları:

1. Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması
2. İnokülasyon (Ekim, Aşılama)
3. İnkübasyon
4. Kültür

Ancak kültür yapmadaki bu aşamalardan daha önce bir takım ön hazırlıkların gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu amaçla yapılacak ilk işlem steril besiyerinin hazırlanmasıdır. Bunun için önce kültürü yapılacak örneğe veya incelenecek mikroorganizma yada mikroorganizma grubuna uygun bir besiyerinin seçimi yapılır. Daha sonraki aşamada bu besiyeri, usulüne uygun olarak hazırlanır ve sterilize edilerek kullanıma hazır hale getirilir.

4.2. Örnek alma ve inokülasyona hazırlama

Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması kültür yapmadaki en önemli aşamalardan birisidir. Her zaman olduğu gibi, bu aşamada da aseptik koşullara tümüyle uyulmalıdır. Bu amaçla, örneğin alınmasında kullanılan araç-gereç ile örneğin aktarılacağı örnek kapları daha önceden sterilize edilmelidir. Örneğin alınması ve örnek kabına aktarılması anında Bunzen beki alevi altında çalışılmalıdır.

Alınan örnek, çoğunlukla bir takım ön işlemlerden geçirilerek inokülasyona hazır hale getirilir. Özellikle mikrobiyolojik sayımlarda,

incelenecek örneğin dilüsyonları yapılır. Dilüsyon yapma, gerçekte bir seyreltme işlemidir ve bu amaçla uygun dilüsyon sıvılarından yararlanılır.

4.3. İnkübasyon

Kültür elde etmedeki son aşamadır. İnkübasyon, ekim yapılmış besiyerini içeren kabın, uygun bir inkübatörde, belli bir sıcaklık derecesinde ve belli bir süre tutulması işlemidir. İnkübasyon için genellikle etüv veya su banyosu gibi inkübatörlerden yararlanılır. Petri kutularının inkübasyonu için sadece etüvden yararlanılır. Petri kutuları, inokülasyonları takiben, belli bir süre beklendikten sonra ters çevrilerek inkübatöre yerleştirilir. Bu durumda, petri kutusu içinde oluşabilecek su buharının kapakta kondense olup besiyerine damlama, böylece de kültürün kontaminasyonu ile olduğundan fazla sayıda veya büyük koloni oluşumu risklerinin önüne geçilmiş olur.

İnkübasyon sıcaklığı ve süresi, ekim yapılan örnek veya çalışılan mikroorganizmanın özelliği ya da çalışmanın amacına göre belirlenir.

4.4. Direkt sayım yöntemleri

Bu yöntemlerde katı besiyerleri kullanılmakta ve inkübasyonu takiben, besiyerinde gelişen mikroorganizma kolonileri sayılarak sonuca gidilmektedir. Bu nedenle kültürel sayım yöntemleri koloni sayımı olarak da anılabilmektedir. Diğer taraftan incelenen örnekte yalnızca canlı mikroorganizmalar sayıldığı için, bu sayımlar “canlı sayım” olarak da isimlendirilebilmektedir.

Kültürel sayım yöntemlerinde, genel olarak ilk aşamada sayım yapılacak örneğin ekimlere hazırlanması gerekmektedir. Daha sonra örneğin uygun seri dilüsyonları hazırlanarak uygun agarlı bir besiyerine ekimleri gerçekleştirilir. En son aşamada ise inkübasyon işlemine geçilir. İnkübasyon sonrası, “canlı bir bakteri, maya veya küf hücresi katı bir besiyerinde bir koloniye eşdeğerdir” varsayımından hareketle koloniler sayılır. Toplam sayının dilüsyon faktörü ile çarpılmasıyla elde edilen sonuç; incelenen örneğin özelliğine göre genellikle cfu/ml, cfu/g, cfu/cm² olarak verilir.

Bu yöntemlerde sonuçlar uzun sürede alınır. Mikroorganizma sayısı, kullanılan besiyerine, inkübasyon sıcaklığı ve süresine göre değişiklik gösterebilmektedir.

4.4.1. Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım

İncelenmeye alınan örnekteki canlı mikroorganizmaları veya bunların sporlarını saymayı amaçlayan bir yöntemdir. Kültür yaparak gerçekleştirilen bu sayım ile bakteri, maya ve küfler ile sporlarını saymak mümkündür.

Dökme plak yöntemi, petri kutuları ve katı besiyerleri kullanılarak gerçekleştirilir. İncelenecek örnek homojen hale getirilir ve seri dilüsyonları hazırlanır. Ekimi yapılacak dilüsyonlar belirlenir. Sterilize edilmiş petri kutularına, steril pipet ile seçilen dilusyondan 1 ml aktarılır. Çalışmalar üç paralel çalışma olacak şekilde yapılmalıdır. Vakit geçirilmeden her bir petriye 15-20 ml miktarda eritilmiş ve 44-48°C'ye soğutulmuş steril katı bir besiyeri dökülür. Agar katılaşmadan hemen, petri kutularına düz bir yüzey üzerinde sekiz hareketi çizilerek örnek ile besiyerinin homojen karışımı sağlanır ve agarın katılaşması beklenir. Aynı besiyeri sterilit kontrolü için, steril iki tane boş petri kutusuna dökülür ve agarın katılaşması beklenir. Petri kutuları ters çevrilerek, sıcaklığı ayarlanmış ve istenilen sıcaklığa erişmiş bir inkübatöre yerleştirilir. İnkübasyon sonunda 30-300 koloni içeren petri kutuları sayıma alınır.

$$\text{colony forming unit (cfu) / ml} = \text{sayım sonucu} \times \text{dilüsyon faktörü} \quad (4.1)$$

4.4.2. Yüzeye yayma yöntemiyle kültürel sayım

Yüzeye yayma yönteminin dökme plak yöntemine göre bazı üstünlükleri ve sakıncalı tarafları bulunmaktadır. Herşeyden önce bu yöntemin uygulanışı kolay ve çabuktur. Petri kutularına besiyeri dökülürken oluşabilecek hava kabarcıkları ekim öncesi steril bir iğne öze ile ortadan kaldırılabilir. Dökme plak yönteminde sıcaklığa duyarlı mikroorganizmalar besiyeri sıcaklığı yüksek olursa zarar görebilirler. Buna karşılık yayma yönteminde kullanılan Drigalski özesinde bir miktar mikroorganizma özede kalabilir.

Yüzeye yayma yönteminde, yaklaşık 50°C'deki, erimiş agarlı besiyeri, aseptik koşullarda steril petri kutularına 15-20 ml miktarlarda dökülür. Agarın katılaşmasından sonra petri kutuları etüvde kurutulur. Bu yöntemde agar yüzeyinin kuru olması çok önemlidir.

Dilüsyondan veya sıvı örnekten belirli bir miktar alınarak kuru agar yüzeyine aktarılır ve steril Drigalski özesi ile yayılır. Drigalski özesi her kullanımdan önce alkole daldırılır ve daha sonra Bunzen beki alevinden geçirilir ve akolün yanıp uzaklaşması sağlanır. Öze ekim öncesinde besiyerinin boş bir kısmına değdirilerek soğutulur. Bu yöntemde de ekimler üç paralel olacak şekilde yapılmalıdır. Ekim yapılan petri kutuları 10-15 dakika bekletilerek besiyerinin inokulunu absorblaması sağlandıktan sonra inkübasyona alınırlar.

Sayım sonuçları, incelenen örneğin sıvı, katı veya yüzey olmasına göre genel olarak sayı/ml, sayı/g veya sayı/cm² olarak verilmektedir. Katı besiyerlerinde koloni sayımına dönük sayım yöntemlerinde ise, sonuçlar çoğunlukla sayı yerine cfu/ml, cfu/g, cfu/cm² şeklinde belirtmektedir (cfu:colony forming unit). Sayım sonuçları mevcut standart, tüzük, yönetmelik, vb. kaynaklarda belirtilen limitlerle karşılaştırılarak, incelenen örneğin mikrobiyolojik kalitesi hakkında karara varılabilir (Üsame ve ark 1989).

4.5. İndirekt sayım yöntemleri

Mikroorganizmaların belirli bazı hücresel özellikleri, metabolik faaliyetleri, bulanıklık gibi besiyerinde oluşturduğu değişiklikler dikkate alınarak dolaylı bir şekilde mikroorganizma sayılarının belirlenmesi ya da tahmin edilmesine yönelik yöntemlerdir.

4.5.1. Türbidimetrik Sayım Yöntemi

Bu yöntemde spektrometre veya kolorimetreden yararlanılmaktadır. Yöntem, incelenecek olan sıvı örnekte mikroorganizma sayısı ne kadar çoksa, bu sıvının bulanıklığı da o kadar çok olacaktır prensibine dayanmaktadır.

Türbidimetrik sayım yöntemlerinde, kendisi fazlaca bulanık olmayan sıvı besiyerleri tercih edilmelidir. Bir mikroorganizmanın ışınları tutma gücü, onun büyüklüğüne, şekline ve şeffaflık derecesine bağlıdır. Bu nedenle türbidimetrik yöntemlerle sayım, ancak saf bir mikroorganizma kültür örneği ile gerçekleştirilir.

Saf bir mikroorganizma kültüründeki mikroorganizma sayısının belirlenebilmesi için bu mikroorganizmanın farklı derişimlerdeki süspansiyonları kullanılarak standart bir mikroorganizma konsantrasyonu – optik yoğunluk eğrisi hazırlanır. Sonra mikroorganizma sayısı belirlenecek örneğin optik yoğunluğu

belirlenir ve standart eğride bu değere karşılık gelen mikroorganizma sayısı bulunur.

5. TOKSİKOLOJİ

Bazal sitotoksistide bir kimyasalın tüm ökaryotik hücre tipleri üzerindeki toksik etkisinin genel yapısı ve temel hücresel özelliklerinin tarifi yapılmaktadır. Bazal sitotoksistite *in vivo* ortamındaki hedef organ toksisitesiyle benzerlik göstermektedir. Düşük konsantrasyonlardaki bir toksik kimyasalın *in vitro* ortamdaki hücreler üzerindeki sitotoksistesi *in vivo* ortamdaki çeşitli hedef organların toksisitesiyle karşılaştırılıp aralarında ilişki kurulabilir. Bu yüzden *in vitro* sitotoksistite deneyleri hayvan letalitesini belirlemek için yapılan toksistite çalışmalarında da yararlı metotlar olarak kullanılabilir (Anonim, 2003).

Dünyada ve Türkiye’de pek çok içme suyu arıtma tesisinde dezenfektan olarak kullanılan klorun, doğal organik maddelerle reaksiyona girerek “dezenfeksiyon yan ürünleri” olarak tanımlanan klorlu-organik bileşiklerin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir.

Sindirim sistemi kanseri ile, içme suyunda düşük seviyede bulunan trihalometanlara (THM) uzun süreli maruz kalınması arasında bir bağlantı olduğu bilinmektedir. Klorlanmış su içenlerin bağırsak ve mesane kanserine yakalanma riskleri klorlanmamış su içenlere göre daha daha yüksektir. THM’ler ve haloasetik asitler hayvanlar için karsinojenik olduğu için insanlar için de karsinojen olabilirler. ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirletici Standartları’nda THM’lerin kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir (Pavelic ve ark. 2005; Tokmak ve ark. 2000).

1998 yılında USEPA tarafından yürürlüğe konulan talimatlarda toplam THM miktarı 80 µg/L olarak belirtilmiştir. Söz konusu sınır değeri 2000 yılı itibarı ile 40 µg/L olarak belirtilmektedir. Avrupa Birliği’nin 1995 yılında öngördüğü yönergeyle, kloroform ve bromodiklorometan limit değerleri sırasıyla 40 ve 15 µg/L olarak belirlenmiştir. Türkiye’de içme suyu standartlarında trihalometanlar (kloroform, bromoform, dibromoklorometan, bromodiklorometan) 100 µl olarak belirlenmiştir (Tokmak ve ark. 2000; Resmi Gazete 2005).

Sudaki toplam organik karbon (TOK) miktarı, sıcaklık, pH, klor dozu ve sudaki bromür derişimi gibi faktörler THM oluşumunu etkilemektedir. Su arıtma

sürecinde başlayan THM oluşumu, suda serbest klor bakiyesi bırakılması nedeniyle dağıtım sisteminde de devam etmektedir (Marabını 2007). Yukarıda anlatılan sebeplerden dolayı yeni dezenfeksiyon teknikleri üretilmeli ve elde edilen dezenfeksiyon yöntemlerinin toplum sağlığı açısından toksisite durumları incelenmelidir.

Sujbert ve ark. (2006), ozonlama ve takiben klorlama ile dezenfekte edilmiş sularda genotoksik etki araştırması yapmışlardır. Bu amaçla Ames test metodunu kullanmışlardır. Ön ozonlama ve son klorlama ile dezenfekte edilmiş su numunesi Serdolit PAD III ve Amberlite XAD-2 içeren kolonlardan geçirilerek adsorblanan ürünler mutajenik aktivite testine alınmıştır. Oluşan ürünün derişimine bağlı olarak 0,83-2,5 litre su geçirilmiş Amberlite XAD-2’de mutajenik etki gözleendiği rapor edilmiştir.

Guzella ve ark. (2004) tarafından yapılan bir başka çalışmada klor ve alternatif dezenfektanlar kullanılarak dezenfekte edilmiş yüzey sularında in vitro genotoksisite etkisi araştırılmıştır. Alternatif dezenfektan sonrası oluşan ürünler C₁₈ silika kartuşlardan geçirilerek toplanmıştır. Mutajenite deneylerinde TA 98, TA 100 suşlarının kullanıldığı AMES, SOS kromotest, Mikrotox yöntemleri kullanılmıştır. Perasetik asitte düşük olmak üzere tüm dezenfektanlarda mutajenik aktivite gözlenmiştir.

Monarca (2004) çalışmasında farklı dezenfektanların kentsel atıksuların mutajenlik ve toksisitesini incelemiştir. Bu çalışmada öncelikle klorla alternatifi olan dezenfeksiyon olan kloridioksit, ozon, parasetik asit ve UV’nin sularda mutajenik ve toksik etkileri ele alınmıştır. Genotoksisite (*Alium cepa* –*Vibrio visheri*– *Tradescantia* mikronuklei test) ve mutajenlik (Ames) deneyleri ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bütün dezenfeksiyon yöntemlerinde özellikle klordioksiti ve PAA’yı (perasetik asit) mutajen olarak bulunmuştur

Kargalıoğlu’nun (2002) çalışmasında, *Salmonella typhimirium* kullanılarak içme suyu dezenfeksiyon yan ürünleri incelenmiştir. Bu yan ürünlerle (bromofom(Bf), bromo asetik asit(Ba), dibromoasetik asit (DBA), tribromoasetik asit (TBA) , kloroform (CF), klorora asetik asit (CA), diklora asetik asit (DCA), tri klora asetik asit (TCA), 3 kloro -4 diklorometik-5 hidroksifuran (Mx) ve potasyum bromat) *Salmonella typhimirium* ırklarıyla (TA98, TA 100 ve RSJ100)

çalışılmıştır. Çalışma sonucunda bu yan ürünlerin mutajenlik potansiyeli ve sitotoksisite sıralanması MX>Ba>EMS>DBA>DCA>CA şeklinde bulunurken TBA, TCA ve CF mutajenik potansiyeli çıkmamıştır. Maffei (2005) ise içme suyu dezenfeksiyon protokollerinin *in vitro* genotoksisite analizi için insan akyuvar hücrelerinde Comet testi ve mikronükleus testi yöntemini denemiştir. İtalyanın Lagotrasimeno bölgesinden toplanan örnekler sodyum hipoklorid, klordioksit ve PAA ile dezenfekte edilmiştir. Dezenfekte edilen ve edilmeyen su örnekleri birincil insan lökositleri ile inkübe edilmiştir. Comet deneyine göre mevsimsel farklılaşmaların da etkisinin olduğu gösterilmiştir.

Kimyasal maddeler tarafından etkilenen farklı canlı organizmaların gösterdiği biyolojik yanıt çok çeşitlidir, ve canlının toksik madde hassasiyetine bağlıdır. Biodeneyler toksik etkinin ölçülmesi için bir ölçüt oluşturabilmektedir. Bu etki, karmaşık ve farklı etkenli kimyasal bileşimleri, bunların farklı pH değerlerindeki davranışları, çözünürlükleri, antagonizm ve sinerjizmleri, biyo-uygunlukları gibi unsurlardan oluşur ve bunların ölçümü bioassayler ile mümkün olabilmektedir. Bunların her birinin ayrı ölçümünü gerçekleştirecek bir seri biyoindikatörü farklı trofik seviyelerde kullanan biodeneyleri uygulamak, aquatik ortamdaki çevresel tehditlerin tespiti için gerekli ve verimli bir yöntemdir. Sıkça kullanılan biodeneylerin bazıları mikrobiyal biodeney ve biyosensörlere dayanır. Klasik biodeneylerle doğrudan toksisite analizi henüz geniş çaplı kullanılamayacak kadar fazla işlem ve zaman gerektirmektedir. Bu nedenle çabuk yanıt veren ve hücre ya da alt-organizma tabanlı test sistemlerinin toksisite tayininde kullanılması olaya yeni bir pencere açmaktadır. Bu tür yeni testler doğrudan canlı hücre ve organcıklar üzerinde etki gösterdiğinden daha hızlı, hassas ve verimlidirler. Ayrıca daha büyük organizmalar (örneğin balık) kullanılmadığından etik sorunlar da taşımazlar. Toksisite biodeneyleri, kullanılan test türlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar:

5.1 Balık biyodeneyleleri

Atıksuların indikatör organizma olarak kullanılan türden balıklar üzerindeki zehirlilik etkisini saptamaya yarayan, atıksuların değişik seyreltilerinde 48 saat, 72 saat, 96 saat gibi belirli süreler sonunda balıkların sağ kalma yüzdelerinin belirlenerek; zehirliliğin, seyrelti oranları ile ilişkili olarak ifade edilmesini sağlayan standart bir deneydir. Devamlı ve düşük akışlı olmak üzere iki tip akut toksisite test tipi vardır. Bu test tiplerinden birini seçmek için testin yapılma amacı, kaynakların uygunluğu, test organizmalarının gereksinimleri ve akıntıların karakteristiği önemlidir. Genel olarak balık biyodeneyleleri, iyi hassas ve gerçek zamanda analiz yapmaya olanak sağlar ama standartlaşması konusunda problemler vardır. Bu yüzden bu deneyler uzun sürmekte ve eğitimli kişiler eşliğinde özel alet ve edavatlarla yapılabilmektedir.

5.2. Omurgasız organizmalar ile yapılan biyodeneyleler

Su ortamında risk tayini deneylerinde yoğun olarak kronik toksisite testi olarak makro Omurgasız organizmalar test numunesi olarak kullanılırlar. Omurgasız organizmalar içinde Daphnia and Ceriodaphnia bu tip analiz için kullanılmaktadır. Daphnia yüksek duyarlılık ve kısa üreme döngüsüne sahip olduğu için bu tip deneylerde kullanılması açısından daha fazla avantaja sahiptir. Bu tip deneylerde üreme ve ölüm oranına göre sonuç verilmektedir. Belirli koşullar altında test organizmasına toksik maddenin verilmesi ile test yapılmaktadır.

5.3. Bitki ve alg biyodeneyleleri

Çok az kullanılsa da, çeşitli toksisite biyodeneyleleri bitkiler üzerinde yapılmaktadır. Bitki biomarkerlar geniş tayin nokta serileri (örneğin üreme oranı, biyokütle ağırlığı, enzim aktiviteleri, vs.), düşük kullanım maliyeti ve hızlı test aktivasyonu ile özellikle katı atıklarda ekotoksik potansiyel tayini için pek çok avantaj sunmaktadır. Kullanılan örnek bir hızlı toksisite testi marul kökü uzaması için 96 saat, ya da üreme süreme düzeyi tayininde 21 gün sürmektedir. Alg kullanan toksisite testleri de üretilmiştir. Alg büyümesinin engellenmesi, toksisiteye işaret eder. Alg kullanan yöntemlerin temel dezavantajları, ekim zorluğu ve deneyin tekrarlanabilirliği ile ilgili zorluklar olarak sıralanabilir.

5.4. Bakteri biyodeneyleleri

Toksisite düzeyinin belirlenmesinde birçok bakteri tabanlı test sistemi oluşturulmuştur. Mikrobiyal metabolik aktivitenin etkileri üzerindeki çalışmalar kimyasal stresin tayini için doğrudan, hızlı, hassas ve düşük maliyetli bir yaklaşım oluşturur. Bu yüzden bu teknikler çok fazla örneğin toksisite sonuçlarının elde edilmesi için daha uygundur. Seçilen parametre ölçümüne göre birçok bakteri deneyi standize edilmiştir. Sonuçlar EC50 parametresine göre sonuçlar elde edilir. Bu deneylerin avantajları hızlı, duyarlı ve tekrardan üretilebilen mikroorganizmalar ile yapılabilmesidir. Ama toksisite deneylerinde kullanılan bir deniz bakterisi olan sadece tuzlu çözeltilerde çalışılabilmektedir ama bunun sonucunda oluşan tuzluluk bazı çözünme göstermeyen organik maddeler ortamda gelişmektedir. Bu ise bulanıklık oluşturmaktadır.

5.5. Biyosensörler

Biyosensörler; enzim, DNA gibi biyolojik elementleri algılayan veya mikroorganizmaların biyolojik sinyallerini ölçülebilen sinyaller haline dönüştüren transdüserleri ile çalışan analitik aletlerdir. Biyosensör geliştirmeye olan ilgi son yıllarda seri üretim olanakları, kolay kullanım, hızlı sonuç alımı ve gerçek zamanlı takip sistemlerine olanak verme gibi nedenlerle artmaktadır (Faree ve ark. 2003).

5.6. Hücre kültürü

Geçmişten bugüne hücre kültürü çalışmalarında hücre canlılığını ve çoğalmasını belirlemek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en kullanışlı olanlar, 96 kuyucuklu plakaların kullanıldığı modern deneylerdir. Böylece birçok örnek aynı anda ve hızlı analiz edilebilmektedir. Sitotoksisite deneyleri değişik parametreleri kullanarak hücre ölümünü ve çoğalmasını belirler (Weyermann ve ark. 2005).

Sitotoksisitenin *in vitro* testler ile ölçülmesinin birçok faydası bulunmaktadır. Bunlardan biri, toksisite testleri için kullanılan hayvan sayısını en aza indirmesidir. *In vitro* testlerin bir diğer avantajı hücre ya da organın toksik etkiye karşı mekanizmasının belirlenebilmesidir. Yeni ürünlerin toksisitesinin *in vitro* yöntemlerle üretimin erken evrelerinde belirlenebilmesi, harcanan para, zaman ve deney hayvanlarından kazanç sağlayabilir (Putnam ve ark. 2002). *In*

vitro sitotoksisite testleri hücre canlılığı, hücre çoğalması, membran bütünlüğü, DNA sentezi ya da hücre metabolizma gibi çeşitli parametrelerin ölçülmesiyle temel hücre toksisitesini de belirler. Bu parametreleri ölçen çeşitli sitotoksisite deneyleri vardır. En çok kullanılan yöntemler neutral red uptake deneyi (hücre canlılığı için), Lowry Coomassie Blue ve Kenacid blue deneyleri (toplam hücre proteini ve hücre proliferasyonunu belirlemek için), MTT (mitokondriyal aktivite ve hücre metabolizmayı belirlemek için) ve intraselüler laktat dehidrogenaz (LDH) aktivite testi (hücre lizisini belirlemek için) dir (Gad 2000). MTT testi düşük maliyetli, hızlı, hassas, güvenilebilir ve çok sayıda örnekle çalışılma imkanı sağladığından tercih edilmektedir (Collier ve ark. 2003; Yano ve ark. 2005).

Bu çalışmada sitotoksisitenin belirlenmesi için MTT (tetrazolyum tuz redüksiyon) deneyi yapılmaktadır. Deney metabolik olarak aktif hücrelerin mitokondrielerindeki süksinat dehidrogenaz enzimi ile metabolize olan, tetrazolium tuzu 3-(4,5- dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT)'in formazana çevrilmesine dayanmaktadır. Üstte sayılan analizlerin tümünde elde edilen veriler dolaylı olarak toksisite ile ilgili veriler içerirken, MTT deneyinin in-vitro olması nedeniyle doğrudan hücre canlılığı, hücre poliferasyonu, membran seçici geçirgenliği, DNA sentezi ya da hücre metabolizma gibi toksisiteyi belirleyen gösterge parametrelerin ölçülmesi mümkündür. Bu avantajları nedeniyle, MTT deneyi tercih edilmiştir. MTT testi monolayer kültürlerde sitotoksisite ölçümleri ya da toksik madde varlığında hücre canlılığının belirlenmesinde sık kullanılan bir yöntemdir. MTT ile yapılan Sitotoksik deneylerle balık hücre hatlarını kullanarak farklı ağır metallerin ve organik bileşiklerin de içinde bulunduğu birçok çevresel kimyasalın sitotoksik etkisi de belirlenebilir (Fent 2001; Fotakis ve Timbrell 2006).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Gereç ve Yöntem

Çalışmalar sırasında Eskişehir Muttalıp mevki sınırları içinde bulunan yeraltı suyu kullanılmıştır. Yeraltı suyunun kimyasal bileşimi ve mikrobiyolojik durumu Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çalışılan yeraltı suyunun özellikleri

Parametre	(mg/l)
Klorür (Cl ⁻)	50
Nitrit azotu (NO ₂ -N)	yok
Nitrat azotu (NO ₃ -N)	4,5
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	108
Toplam Organik Karbon (TOC)	19
Karbonat (CO ₃ ⁻²)	185
pH	7,8
İletkenlik	700-900 µs/cm

6.2. Elektrokimyasal Çalışmalar

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonu, Paralel Plakalı Reaktörde ve Damlatmalı Reaktörde uygulanmıştır. Çalışmalarda, indirekt sayım yöntemlerden türbidimetrik sayım yöntemi ile elde edilen *E.coli* kültürü ilave edilerek yaklaşık 10⁵ adet/ml bakteri derişimine getirilen Eskişehir yeraltı suyundan alınan örnekler ile 50 ml/dk, 100 ml/dk ve labarotuar şartlarında çalışma pompasının izin verdiği en yüksek akış hızı 150 ml/dk akış hızında 10, 20, ve 30 mA/cm² akım yoğunluğunda geri döngülü ve tek geçiş sistemde Paralel Plakalı Reaktörde bakteri giderimine etkisi incelenmiştir.

Paralel Plakalı Reaktörde, çalışma suyu reaktörden peristaltik pompa vasıtasıyla beslenmekte ve çıkan çözelti reaktöre geri döngü hem de tek geçiş yapılmaktadır.

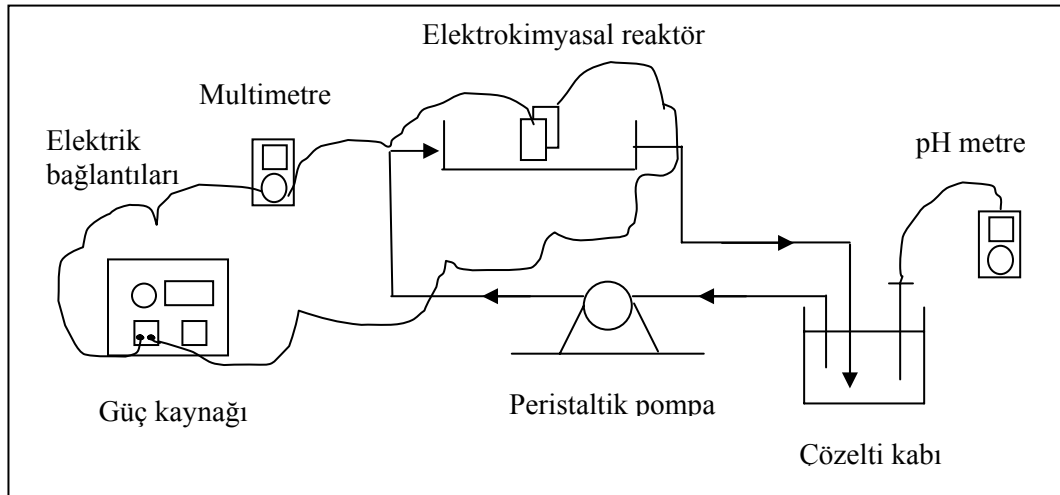
Kesikli sistemde yapılan çalışmada reaktöre bir çift bor katkılı elmas elektrot, iridyum metal oksit elektrot, grafit plaka elektrot yerleştirilmiştir. Plaka

elektrotun boyutu ve su içinde kalan elektrot alanı 4,5x3,1 cm' dir . Reaktöre gerilim uygulandığında plakalardan biri anot, biri katot olarak davranmaktadır.

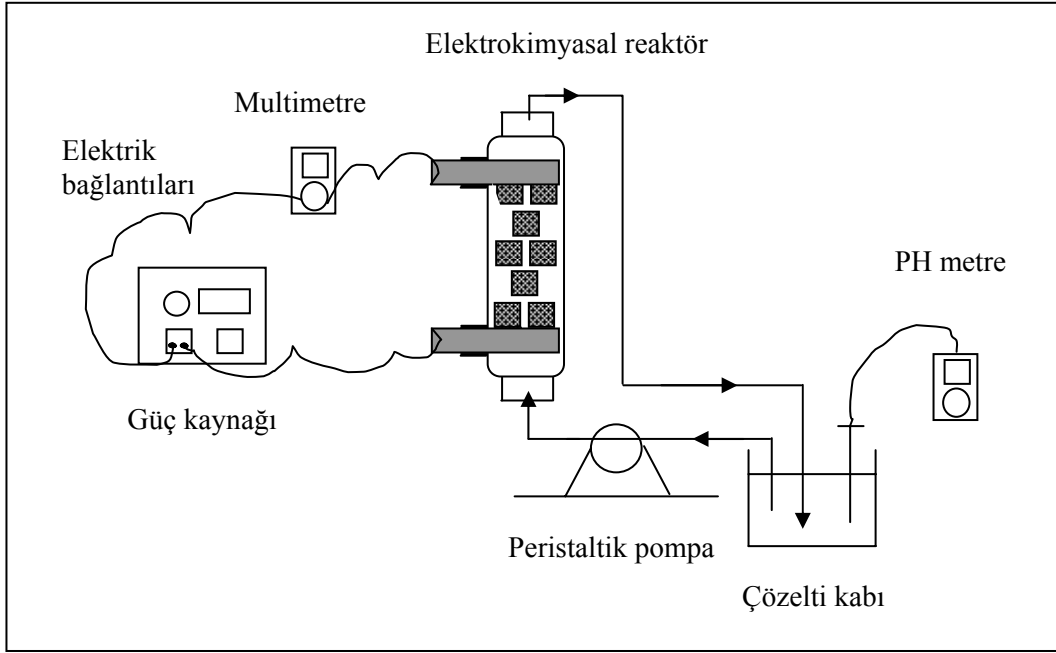
Ayrıca grafit raschig halka elektrotlu damlatmalı reaktörde 50 ml/dk, 100 ml/dk ve labarotuar şartlarında çalışma pompasının izin verdiği en yüksek akış hızı 150 ml/dk akış hızında 10 mA/cm² akım yoğunluğunda geri dögümlü ve tek geçişli sistemlerde çalışılmıştır. Damlatmalı reaktörde yüksek akım yoğunluklarına çıkıldığında grafit yapısında toz halinde parçalanmalar gözlemlendiği için tek bir akım yoğunluğunda çalışma yapılabilmektedir. Reaktör, 0,55 cm iç çapında, 0,8 cm dış çapında iç içe iki cam borunun içteki kısmına grafit raschig halkaları doldurularak hazırlanmıştır. Grafit raschig halkaları, 8 mm dış, 4 mm iç çapında olup yükseklikleri 8 mm'dir. Dolgulu kısım, her biri dört raschig halkasından oluşan ve birbirlerinden yalıtkan polyesterle ayrılarak iki kutupluluk sağlanan 28adet tabakadan oluşmaktadır. Reaktörün iki ucunda, gerilimin uygulandığı iki grafit çubuktan oluşan anot ve katot bağlantıları bulunmaktadır.

Reaktöre gerilim uygulandığında, her bir raschig halkası bir ucu (-), diğer ucu (+) olan bir hücre gibi davranmaktadır. Reaktör hacmi ve anot yüzey alanı hesabı Ek 1'de verilmiştir.

Reaktöre çözeltiyi beslemek amacıyla geri dögümlü geçişlerde 250 ml'lik ve tek geçişlerde 1000 ml'lik cam hazne kullanılmıştır. Bu hazneye sirkülasyonu sağlamak için peristaltik pompa bağlanmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği düzenekler Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' de verilmiştir.



Şekil 6.1. Paralel Plakalı Reaktör deneysel çalışma düzeni



Şekil 6.2 Damlatmalı Reaktör deneysel çalışma düzeneği

Sıcaklığın etkisini belirlemek amacı ile $5^{\circ}\text{C} \pm 1$, $45^{\circ}\text{C} \pm 1$ ve laboratuvar koşullarında ($25^{\circ}\text{C} \pm 1$) iridyum metal oksit elektrotlu paralel plaka reaktörde çalışılmıştır.

Çözeltideki bakteri derişimini belirlemek amacıyla standart plak sayma yöntemi kullanılmıştır. *E. coli*, 500 ml steril broth'da 37°C 'de 24 saat inkübe edilmiştir. Sonra mikroorganizma santrifüj tüpünde 9 000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi ve hücre süspansiyonu yaklaşık 10^5 cfu *E.coli* bakterisi deneyde kullanılmak üzere olan yeraltı suyuna ekilmiştir. Başlangıçta ve her 2 dakikada bir reaktör çıkışından önceden hazırlanmış 0,1ml 0,1 N tiosülfatlı tüplere örnek alınarak önceden Nutrient agarlı petri kaplarına ekim yapılmış ve 37°C , 24 saatlik inkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak canlı hücre sayısı belirlenmiştir. Tüm elektrokimyasal çalışmaların sonrası pH değerleri 7,2 – 7,4 arası ölçülmüştür.

6.3. Klor Tayini

Klor tayini, Lange - Hach firmasından temin edilen analiz kitleri kullanılarak yapılmıştır. Klorun, Diethyl-p-phenylenediamine (DPD) ile reaksiyona girerek oluşturulan kırmızı rengin spektrofotometrik ölçülmesi metoduna dayanmaktadır (Hach-Lange 2007).

6.4. Radikal (Toplam Yükseltgeyiciler) Tayini

Radikal tayini spektrofotometrik yöntemle yapılmıştır. Reaktör çıkışından alınan 1,5 ml örnek, 0,75 ml 0,1 M potasyum biftalat ve 0,75 ml iyot ayırıcı (0,4 M KI, 0,06 M NaOH, $\sim 10^{-4}$ M ammonyum molibdat) ile 1 cm quartz küvette konulmuştur. 352 nm dalga boyunda işlenmiş çözeltinin absorbansı UV-VİS Spektrofotometre ile ölçülmüştür. Değerler hidrojen peroksit olarak ölçülebilen yükseltgenlerin toplam değeri olup hidrojen peroksit eşdeğeri olarak ifade edilmiştir (GE ve Qu, 2003).

6.5. Sitotoksosite Deneyleri

Sitotoksosite analizleri için elektrokimyasal dezenfeksiyon sonrası alınan su numuneleri analiz edilinceye kadar derin dondurucuda saklanmışlardır. Elektrokimyasal dezenfeksiyonda bakteri popülasyonu açısından tam ölümün gerçekleştiği çalışmalarda, ölümünün gerçekleştiği dezenfeksiyon sürelerinde alınan örnekler toksisiteleri belirlenmek üzere deneye alınmıştır. Su örnekleri etrafı alüminyum folyo ile kaplanmış cam şişelerde toplanarak, kullanılacağı zamana kadar (-18)^oC’de karanlıkta saklanmıştır. Örneklerin pH’ları kontrol edilmiş ve gerekiyorsa pH ayarı yapılmıştır. Su örnekleri 0,22-µm-porlu nitroselüloz membranlı filtrelerden süzülerek kullanılmıştır.

6.5.1. Hücre Kültürü

6.5.1.1.V79 379A hücreleri

Chinese Hamster Akciğer fibroblast benzeri hücrelerdir. Bu hücreler sitotoksosite, toksisite ve mutajenite çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Melo ve ark. 2001; Corr ea ve ark. 2005). V79 379A hücreleri Institute of Fermentation Osaka (Tokyo, Japonya)’dan satın alınmıştır.

V79 379A hücreleri inaktif hale getirilmiş ve uygun besiyerinin bulunduğu 25 cm²’lik flasklarda %95 hava ve %5 CO₂’li gaz ortamında ve 37°C’deki CO₂ inkübatöründe (Heraus) kültüre edilmiştir.

Uygun koşullarda çoğalmaya bırakılan hücreler flask yüzeyini %70 oranında kapladıkları zaman Tripsin-EDTA ile muamele edilerek flask tabanından kaldırılmıştır. Trypan blue boyası ile boyanan hücreler, Thoma lamı yardımıyla 3

kez sayılarak MTT testi için 96 kuyucuklu plakalara 5×10^3 hücre olacak şekilde ekilmiştir. V79 379A hücrelerinin çoğalma hızı 24 saattir bu nedenle hücrelerin yapışması ve yeni ortama alışmaları için, hücreler 37°C 'de 24 saat inkübe edilmişlerdir. 24 saat inkübasyon süresi sonunda hücrelerin üzerindeki besiyerleri uzaklaştırılmıştır. Daha sonra hücreler 5X'lik medyum kullanılarak hazırlanan su örnekleri ile 24 ve 48 saat muamele edilmişlerdir (Ferretti ve ark. 2007). Su örneklerinin son konsantrasyonları %80, %40 ve %20 olacak şekilde ayarlanmıştır.

6.5.1.1.RTG-2 hücreleri

RTG-2 (fish rainbow trout gonadal cells) hücreleri gökkuşağı alabalık yumurtalık hücrelerinden elde edilmiş fibroblast benzeri hücrelerdir. RTG-2 hücreleri TÜBİTAK 106T615 (TBAG-HD229) numaralı proje kapsamında DSMZ'den (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH) satın alınmıştır. Kimyasalların ve çevresel numunelerin ekotoksikolojik olarak değerlendirilmesinde, balık hücre hatlarının kullanımının kıymetli, hızlı ve ekonomik olduğu yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır (Ní Shúilleabháin ve ark. 2004).

RTG-2 hücreleri inaktif hale getirilmiş ve uygun besiyerinin bulunduğu 25 cm²'lik flasklarda %98 hava ve %2 CO₂'li gaz ortamında ve 23°C 'deki CO₂ inkübatöründe (Heraus) kültüre edilmiştir.

Uygun koşullarda çoğalmaya bırakılan hücreler flask yüzeyini %70 oranında kapladıkları zaman Trypsin-EDTA ile muamele edilerek flask tabanından kaldırılmıştır. Trypan blue boyası ile boyanan hücreler, Thoma lamı yardımıyla 3 kez sayılarak MTT testi için 96 kuyucuklu plakalara, 2.5×10^3 hücre olacak şekilde ekilmiştir (Babın ve ark., 2005). RTG-2 hücrelerinin çoğalma hızı 72 saattir bu nedenle hücrelerin yapışması ve yeni ortama alışmaları için, hücreler 37°C 'de 48 saat inkübe edilmişlerdir (Jos ve ark. 2003; Pichardo ve ark. 2005). 48 saatlik inkübasyon süresi sonunda hücrelerin üzerindeki besiyerleri uzaklaştırılmıştır. Daha sonra hücreler 5X'lik medyum kullanılarak hazırlanan su örnekleri ile 24 ve 48 saat muamele edilmişlerdir (Ferretti ve ark. 2007). Su örneklerinin son konsantrasyonları %80, %40 ve %20 olacak şekilde ayarlanmıştır.

6.5.2. MTT testi

Su örnekleri ile 24 ve 48 saat muamele edilen hücrelerden inkübasyon süresi sonunda besiyerleri uzaklaştırılmıştır. Hücreler 5mg/ml MTT solüsyonu ile canlı hücrelerin metabolik aktiviteleri sonucu MTT boyasının suda çözülmeyen formazan tuzu haline dönüştürülebilmesi için karbondioksit inkübatöründe 2 saat inkübasyona bırakılmıştır. Bu süre sonunda hücrelerden MTT boyası uzaklaştırılmıştır. Canlı hücreler tarafından oluşturulan formazan tuzlarının çözülmesi için her bir kuyucuğa 0,1 ml DMSO ilave edilmiştir. Plakalardaki V79 379A hücrelerinin optik densiteleri ELISA cihazında 570 nm (Melo ve ark. 2006) dalga boyunda, RTG-2 hücrelerinin optik densiteleri 490 nm (Pichardo ve ark. 2005) dalga boyunda okutulmuştur. Su örneği ile muamele edilmeyen kontrol hücre canlılığı % 100 olarak kabul edilerek, deney hücrelerinin canlılık oranları yüzde olarak ifade edilmiştir (Mosmann 1983). MTT deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmeleri için SPSS (Statistics Program for Social and Science) istatistik programı kullanılmıştır. Elde edilen verilerin tek yönlü ANOVA ve Post-Hoc testlerinden Tukey uygulanarak anlamlılıkları belirlenmiştir. Anlamlılık değeri $p < 0,05$ kabul edilmiştir.

6.6. Kullanılan Kimyasal Malzemeler ve Yardımcı Araçlar

Gecelik bakteri kültürü ve seyreltmeleri hazırlamak için Nutrient broth kullanılmış ve başlangıçta ve 2' şer dakika arayla alınan örneklerde canlı bakteri sayısını belirlemek amacıyla Place Count Agar hazırlanmıştır. Serbest radikal tayininde, sodyum tiyosülfat (Na_2SO_4 , MERCK), potasyum biftalat ($\text{KHC}_8\text{H}_8\text{O}_4$, MERCK), potasyum iyodür (KI, MERCK), sodyum hidroksit (NaOH, MERCK), ammonyum molibdat ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, MERCK) kullanılarak çözeltiler hazırlanmıştır.

Suyun elektrokimyasal dezenfeksiyonu açısından önemli kimyasal parametreleri, HACH ve Dr – Lange DR 2800 spektrofometresiyle gerçekleştirilmiştir. Yeraltısuyu iletkenlik ölçümleri Pioneer 30 portatif iletkenlik ölçer, pH ölçümleri WTW pH 740 model pH metre kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda yardımcı araç olarak; Tektronix PS282 DC güç kaynağı, Masterflex model 755-375 model peristaltik pompa, tartım işlemlerinde OHAUS

marka Explorer Pro model analitik terazi kullanılmıştır. Bakteriyolojik çalışmalarda kullanılan tüm malzemeler NÜVE,OT 4060 otoklavda (121 °C, 20 dakika) steril edilmiştir ve bakteri inkübasyonu için Elektromag M420 BP model inkübatör kullanılmıştır. Bakteri ekimleri, Heraus KSP 18 Class II steril kabininde yapılmıştır. Sıcaklık ile ilgili çalışmalarda Pioonier 30 su banyosu kullanılmıştır.

Hücre kültüründe kullanılan sarf malzemeler, Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) (Sigma), Minimal Eagle's Medium (MEM with Earle's salts) (Sigma), L-Glutamin (Sigma), Fetal Bovine Serum (Sigma), Penicilin-Streptomycin (Sigma), Neomycin Sulfate (Sigma), Trypsin-EDTA Solution (10X) (Sigma), Sodyum Bikarbonat (Sigma), Dimethyl Sulfoxide (Riedel de Haen), Dimethyl Sulfoxide (Sigma), MTT (Sigma), Trypan Blue (Merck), KCl (Merck), NaCl (Merck), KH₂PO₄ (Merck), Na₂HPO₄ (Merck), EDTA (Merck), Sıvı Azot hücre kültürü çalışmalarında kullanılmıştır.

Hücre kültürü çalışmalarında, 5 cm²'lik flasklar (TPP), 96 kuyucuklu plakalar (TPP), cam mezürler, cam pipetler (1, 2, 5 ve 10 ml hacminde), enjektörler (20 ml hacminde), 500 ve 1000 ml'lik Durham şişeler, steril polipropilen santrifüj tüpleri (15 ve 50' ml hacminde), steril filtreler, Thoma Lamı malzemeler kullanılmıştır.

Soğutmalı ve yüksek devirli santrifüj (Heraus), kuru hava sterilizatörü (Nüve), otoklav, derin dondurucu, buzdolabı, manyetik karıştırıcı, CO₂ karbondioksit inkübatörü (Heraus), steril kabin (Heraus), sıvı azot kapları, otomatik pipetler, kar-buz makinesi (Scotsman), su banyosu (Clifton), Eliza cihazı (ELx808-IU) (Bio-Tek), inverted mikroskop IX71 (Olympus) hücre kültüründe kullanılan aletler ve cihazlar olarak kullanılmıştır.

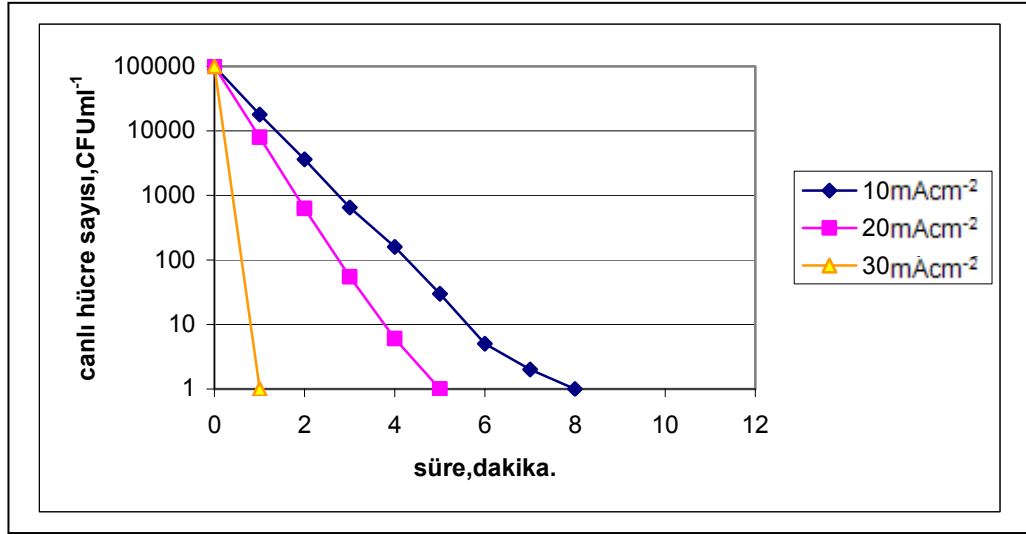
7. BULGULAR

7.1. Geri döngülü çalışmalar

7.1.1. Dezenfeksiyon çalışmaları

7.1.1.1. Bor katkılı elmas elektrot

Bor katkılı elmas elektrotların kullanıldığı paralel plaka reaktörde yapılan dezenfeksiyon çalışmalarının sonuçları Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Bor katkılı elmas elektrotlarda akım yoğunluğunun hücre hayatta kalma oranına etkisi

7.1.1.2. İridyum metal oksit elektrot

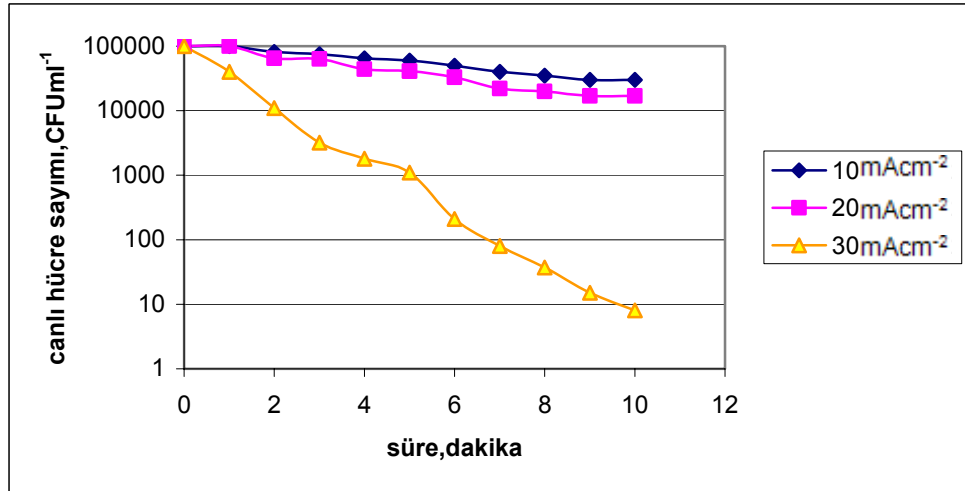
İridyum metal oksit elektrotların kullanıldığı paralel plaka reaktörde yapılan dezenfeksiyon çalışmalarının sonuçları Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. İridyum metal oksit elektrotların akım yoğunluğunun hücre hayatta kalma oranına etkisi

7.1.1.3. Grafit plaka elektrot

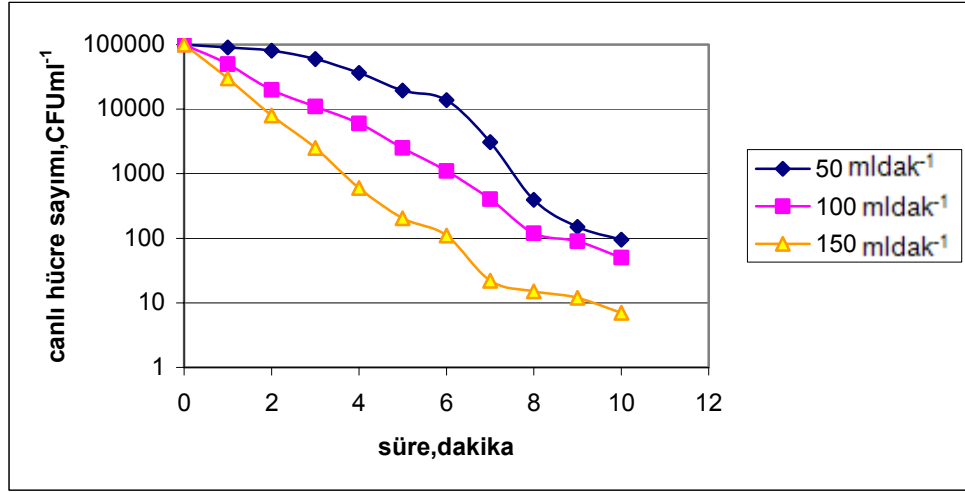
Grafit plaka elektrotların paralel reaktörde yapılan dezenfeksiyon çalışmalarının sonuçları Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Grafit plaka elektrotların akım yoğunluğunun hücre hayatta kalma oranına etkisi

7.1.1.4. Grafit Raschig Halka elektrot

Grafitten yapılmış raschig halkalı damlatmalı reaktörde yapılan dezenfeksiyon çalışmalarının sonuçları Şekil 7.4’de verilmiştir.

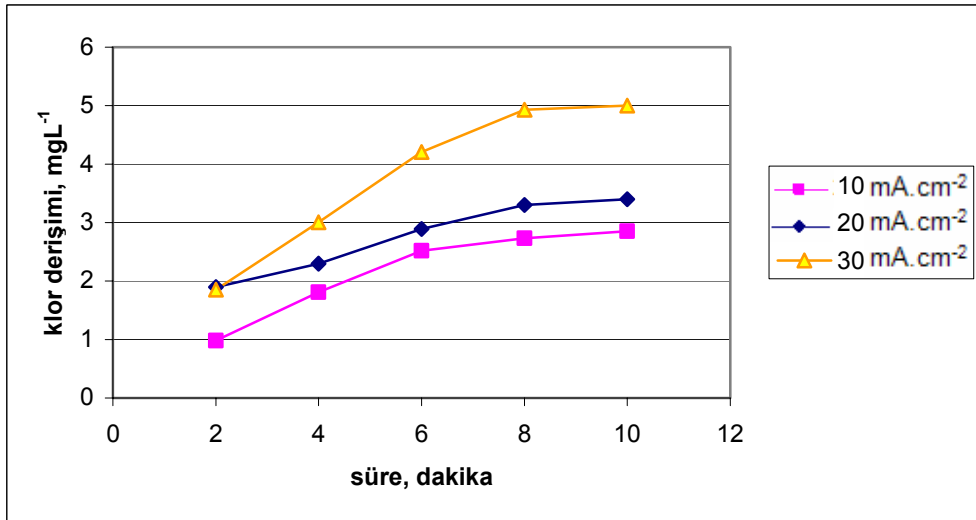


Şekil 7.4. Raschig grafit elektrotların kullanıldığı damlamalı reaktörde akış hızının hayatta kalma oranına etkisi

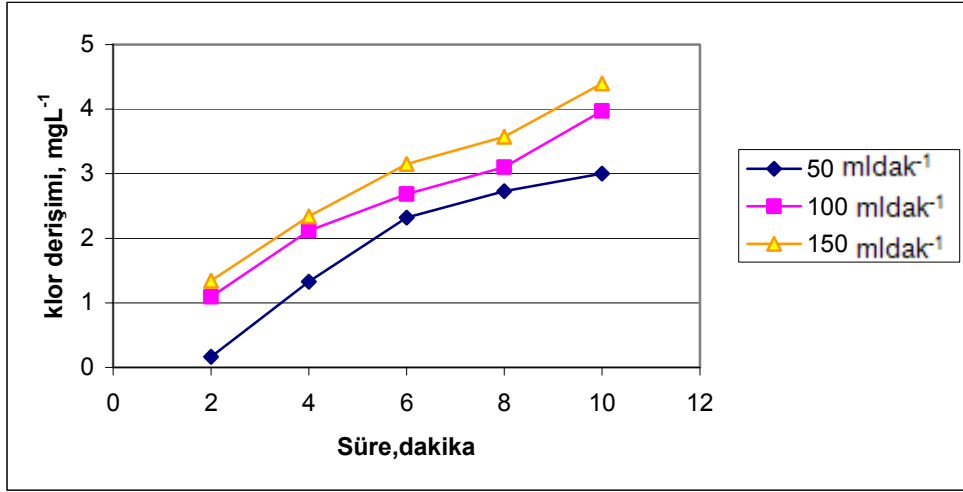
7.1.2. Elektrokimyasal Reaktörlerde Üretilen Klor Miktarları

7.1.2.1. Bor katkılı elmas elektrot

Bor katkılı elmas elektrotların kullanıldığı paralel plaka reaktörde yapılan klor üretim sonuçları; akım yoğunluğuna göre Şekil 7.5’de ve akış hızına göre Şekil 7.6’da verilmiştir.



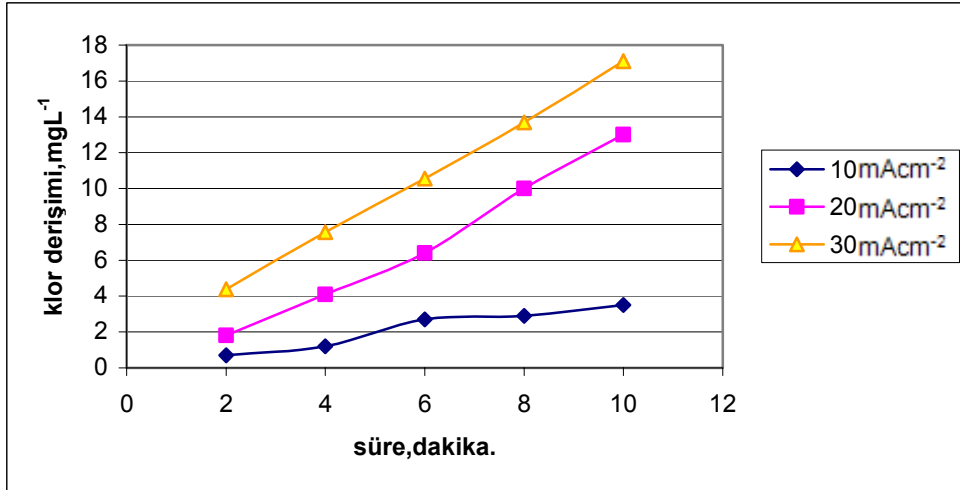
Şekil 7.5. Bor katkılı elmas elektrotların akım yoğunluğuna göre klor üretim miktarına etkisi, Akış hızı 150ml/dakika.



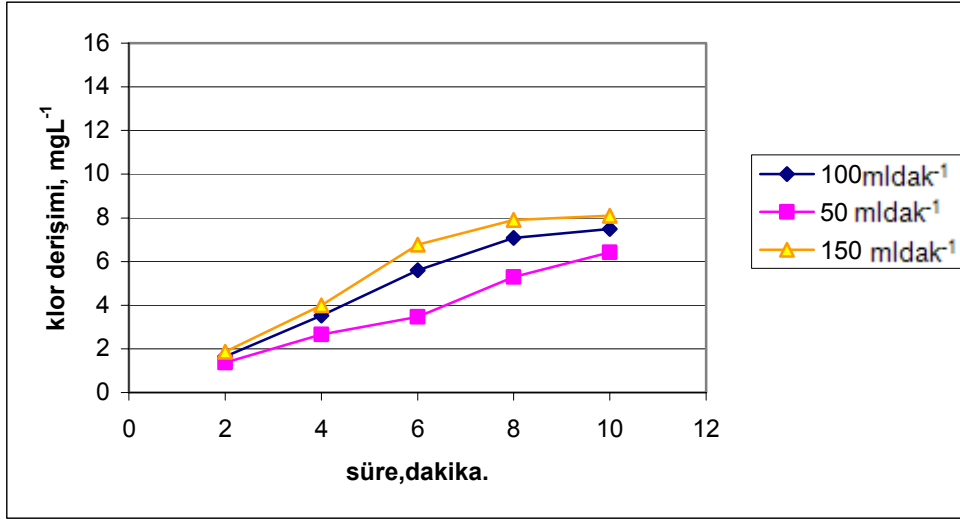
Şekil 7.6. Bor katkılı elmas elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarına etkisi, Akım yoğunluğu 30mA/cm².

7.1.2.2. İridyum metal oksit elektrot

İridyum metal oksit elektrot paralel reaktörde yapılan klor üretim sonuçları; akım yoğunluğuna göre Şekil 7.7’de ve akış hızına göre Şekil 7.8’de verilmiştir.



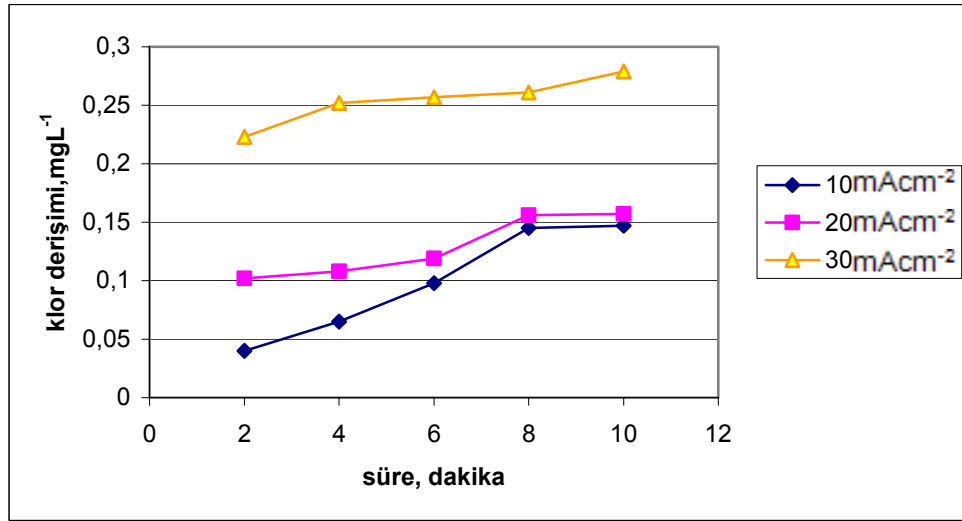
Şekil 7.7. İridyum metal oksit elektrotların akım yoğunluğuna göre klor üretim miktarına etkisi, Akış hızı 150 ml/dakika.



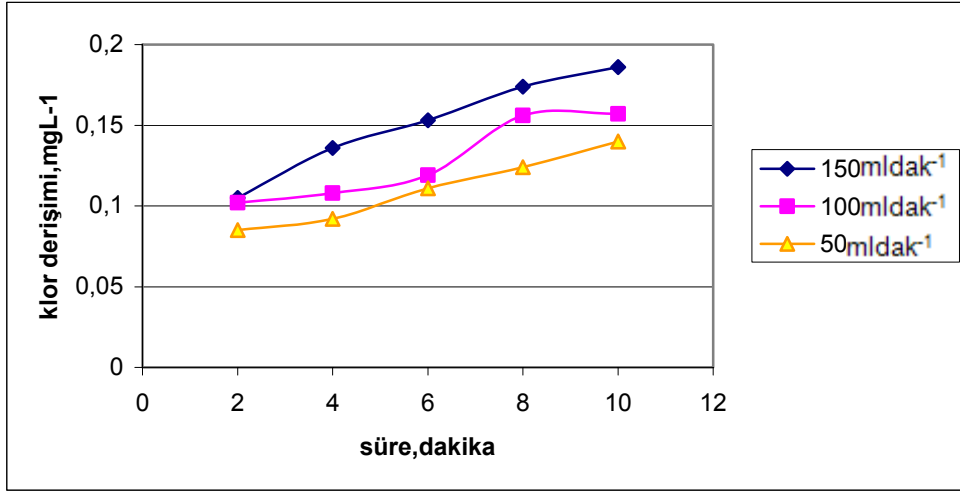
Şekil 7.8. İridiyum metal oksit elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarına etkisi, Akım yoğunluğu 30 mA/cm².

7.1.2.3. Grafit plaka elektrot

Grafit plaka elektrot paralel reaktörde yapılan klor üretim sonuçları; akım yoğunluğuna göre Şekil 7.9'da ve akış hızına göre Şekil 7.10'da verilmiştir



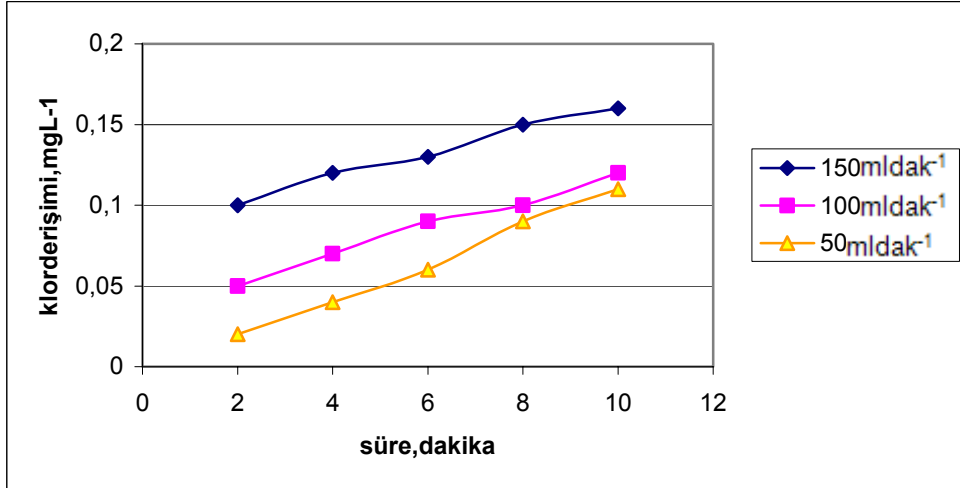
Şekil 7.9. Grafit plaka elektrotların akım yoğunluğuna göre klor üretim miktarına etkisi, Akış hızı 150ml/dakika.



Şekil 7.10. Grafit plaka elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarına etkisi, Akım yoğunluğu 30 mA/cm².

7.1.2.4. Grafit Raschig Halka elektrot

Grafitten yapılmış raschig halkalı damlatmalı reaktörde klor üretim sonuçları; akış hızına göre Şekil 7.11’de verilmiştir.



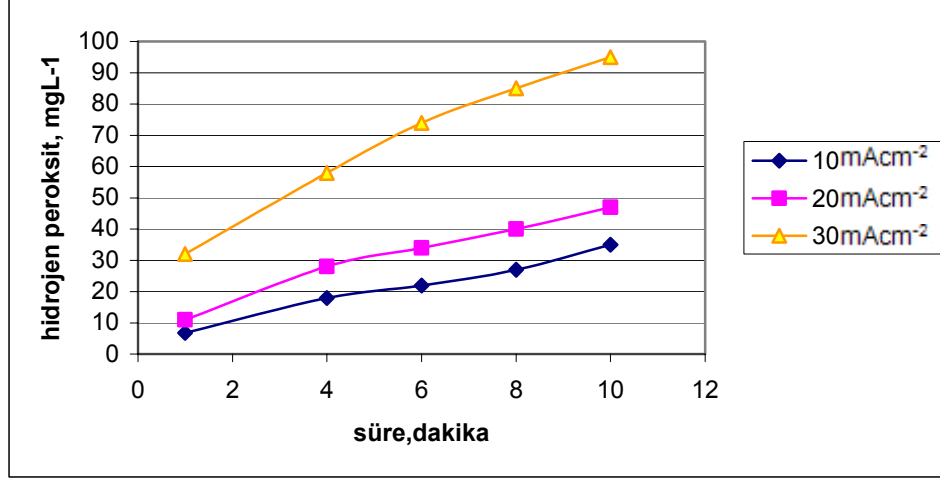
Şekil 7.11. Raschig grafit elektrotların akış hızına göre klor üretim miktarının etkisi, Akım yoğunluğu 10 mA/cm².

7.1.3. Elektrokimyasal Reaktörlerde Üretilen Radikal (Toplam Yükseltgen) Miktarı

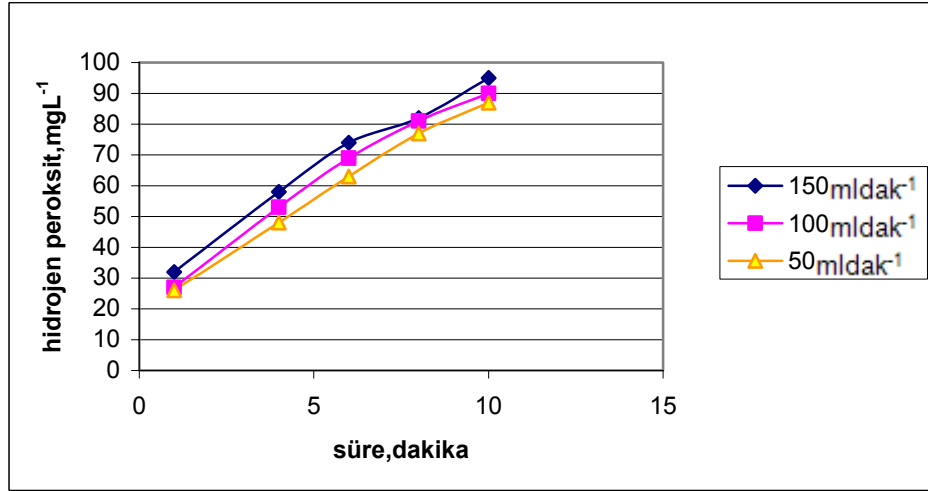
Değerler hidrojen peroksit olarak ölçülebilen yükseltgenlerin toplam değeri olup hidrojen peroksit eşdeğeri olarak ifade edilmiştir.

7.1.3.1. Bor katkılı elmas elektrot

Bor katkılı elmas elektrotların kullanıldığı paralel plaka reaktörde yapılan radikal üretim sonuçları; akım yoğunluğuna göre Şekil 7.12’de ve akış hızına göre Şekil 7.13’de verilmiştir.



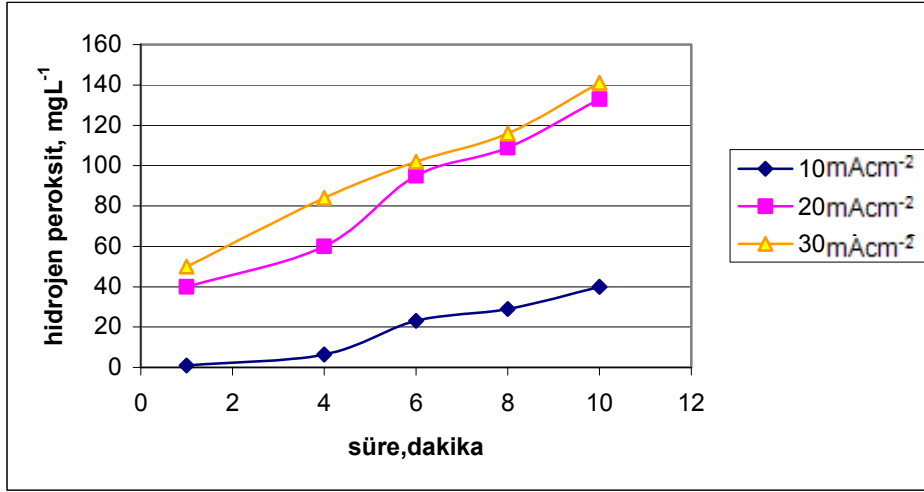
Şekil 7.12. Bor katkılı elmas elektrotlarda akım yoğunluğunun radikal üretim miktarına etkisi. Akış hızı 150 ml/dakika.



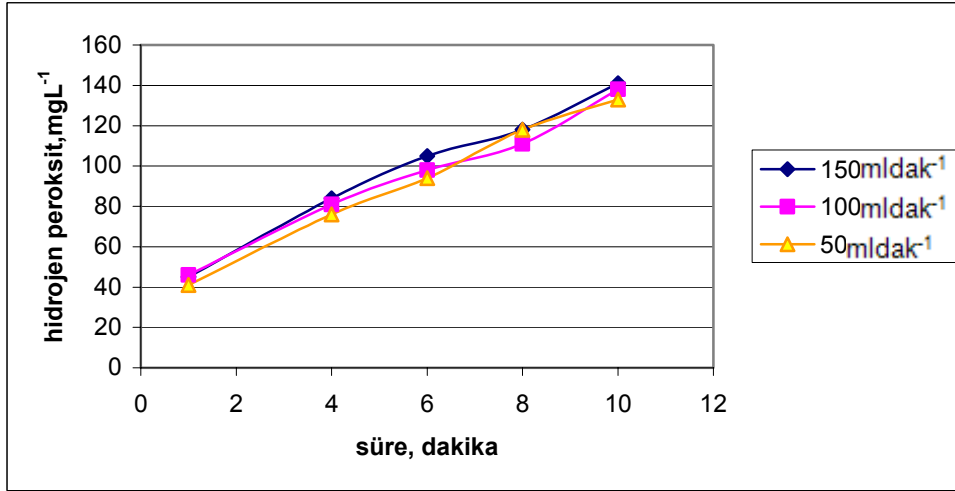
Şekil 7.13. Bor katkılı elmas elektrotlarda radikal üretim miktarına akış hızının etkisi, Akım yoğunluğu 30mA/cm².

7.1.3.2. İridyum metal oksit elektrot

İridyum metal oksit elektrot paralel reaktörde yapılan radikal üretim sonuçları; akım yoğunluğuna göre Şekil 7.14’de ve akış hızına göre Şekil 7.15’de verilmiştir.



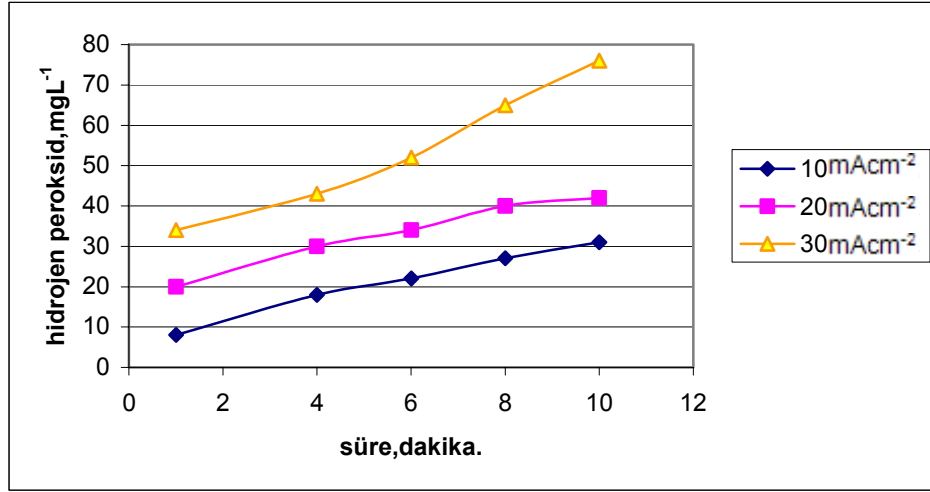
Şekil 7.14. İridyum metal oksit elektrotlarda radikal üretim miktarına akım yoğunluğunun etkisi, Akış hızı 150 ml/dakika.



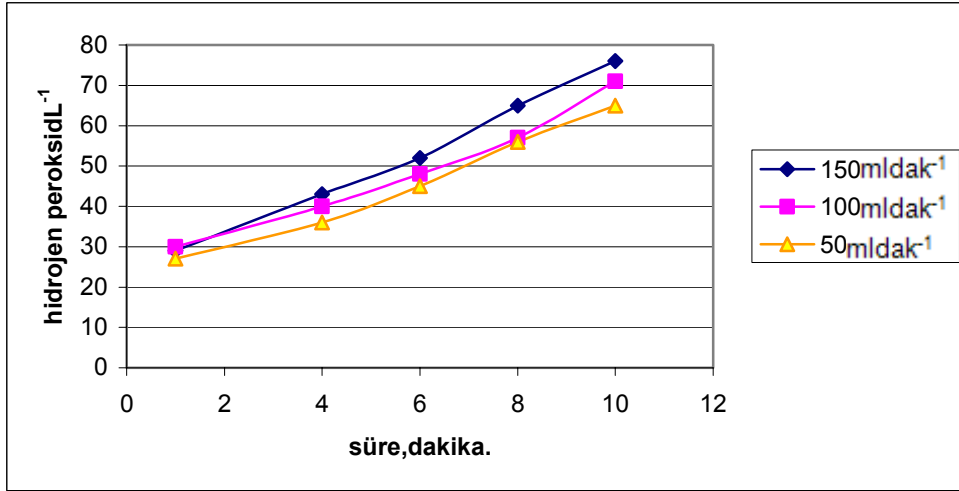
Şekil 7.15. İridyum metal oksit elektrotlarda radikal üretim miktarına akış hızının etkisi, Akım yoğunluğu 30 mA/cm²

7.1.2.3. Grafit plaka elektrot

Grafit plaka elektrot paralel reaktörde yapılan radikal üretim sonuçları; akım yoğunluğuna göre Şekil 7.16'de ve akış hızına göre Şekil 7.17'de verilmiştir.



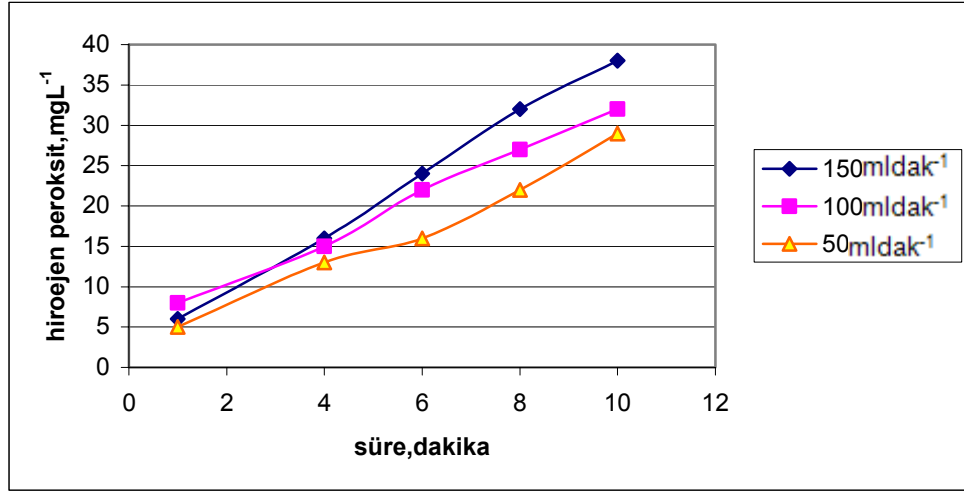
Şekil 7.16. Grafit plaka elektrotlarda radikal üretim miktarına akım yoğunluğunun etkisi, Akış hızı 150 ml/dakika.



Şekil 7.17. Grafit elektrotlarda radikal üretim miktarına akış hızının etkisi. Akım yoğunluğu 30mA/cm².

7.1.2.4. Grafit Raschig Halka elektrot

Grafitten yapılmış raschig halkalı damlatmalı reaktörde serbest radikal üretim sonuçları; akış hızına göre Şekil 7.18'da verilmiştir.



Şekil 7.18. Grafitten yapılmış raschig halkalı damlatmalı reaktörde radikal üretim miktarına akış hızının etkisi, Akım yoğunluğu 10 mA/cm². mldak⁻¹

7.2. Sürekli akış çalışmaları

Sürekli akış durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 7.1’de sunulmuştur.

Çizelge 7.1. Sürekli akış sistemi deney sonuçları

	bor katkılı elmas paralel plaka reaktör	grafit paralel plaka reaktör	iridyum metal oksit paralel plaka reaktör	Grafitten yapılmış raschig halkalı damlatmalı reaktör
klor derişimi (mg/L)	0,833	0,173	4,2	0,072
hidrojen peroksit derişimi (mg/L)	30	130	90	15
dezenfeksiyon sonrası bakteri derişimi (mg/L)	5	10	1	9768

7.3. Sıcaklık çalışmaları

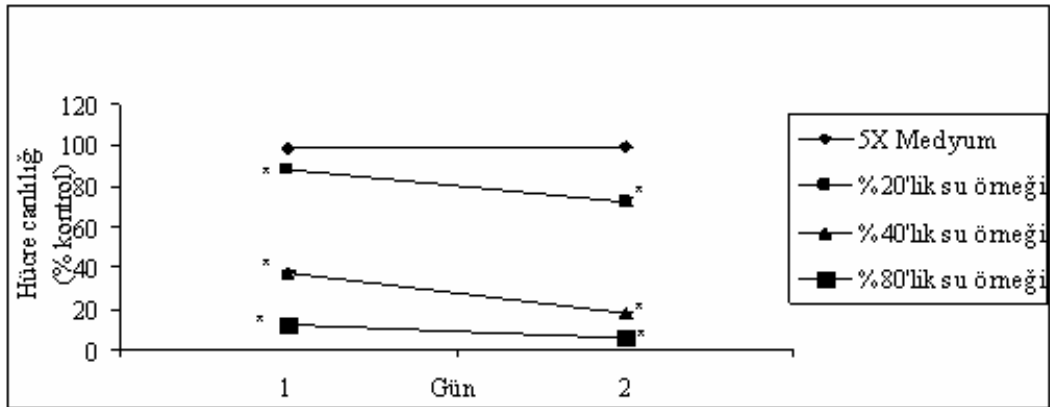
Sıcaklık etkisi Çizelge 7.2’de sunulmuştur.

Çizelge 7.2. İridyum elektrot tipinin sürekli akış sisteminde sıcaklık çalışma sonuçları

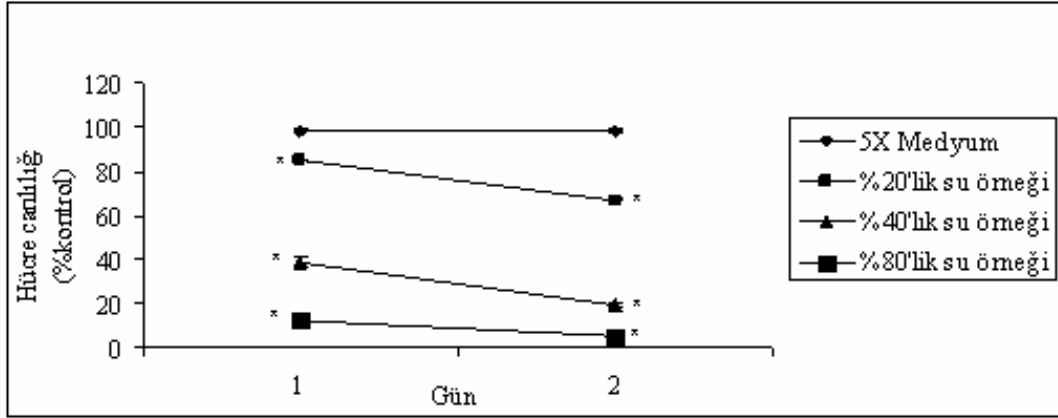
	5 °C (±1)	20 °C (±1)	45 °C (±1)
klor derişim miktarı (mg/L)	1,03	4,2	0,789
hidrojen peroksit derişimi (mg/L)	24	90	15
dezenfeksiyon sonrası bakteri derişimi (mg/L)	5	1	1

7.4.Toksikolojik çalışmalar

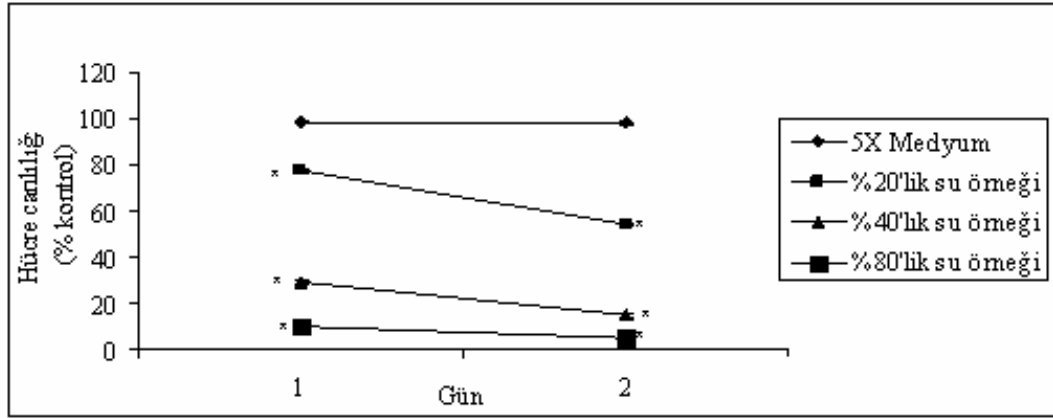
Aşağıda (Şekil 7.19 – Şekil 7.35) iridyum metal oksit elektrot, bor katkılı elmas elektrot ve grafit elektrotlar ile paralel plaka yapılmış ve grafit Raschig Halka elektrotlar ile dolgulu kolon reaktör ile yapılmış sürekli / kesikli çalışmaların sonucunda bakterilerin tam ölüm noktasındaki V79 379A ve RTG-2 hücre kültürleri ile çalışılmış toksikoloji grafikleri verilmiştir.



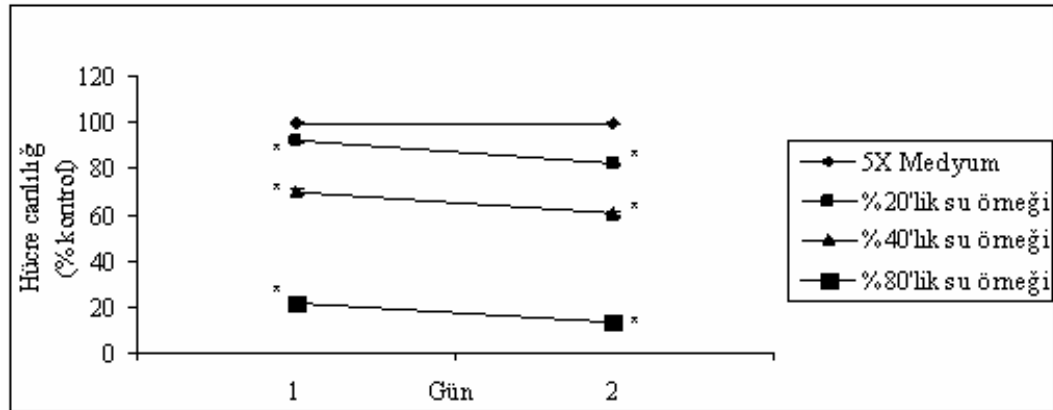
Şekil 7.19. RTG-2, 10mA/cm²'de 5 dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma



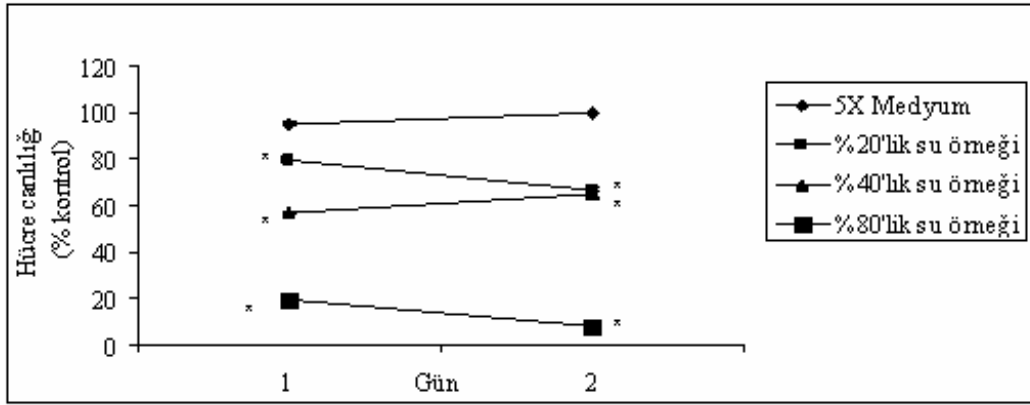
Şekil 7.20. RTG-2, 20mA/cm²'de 2dk İridyum metal oksitplaka reaktörde geri döngülü çalışma



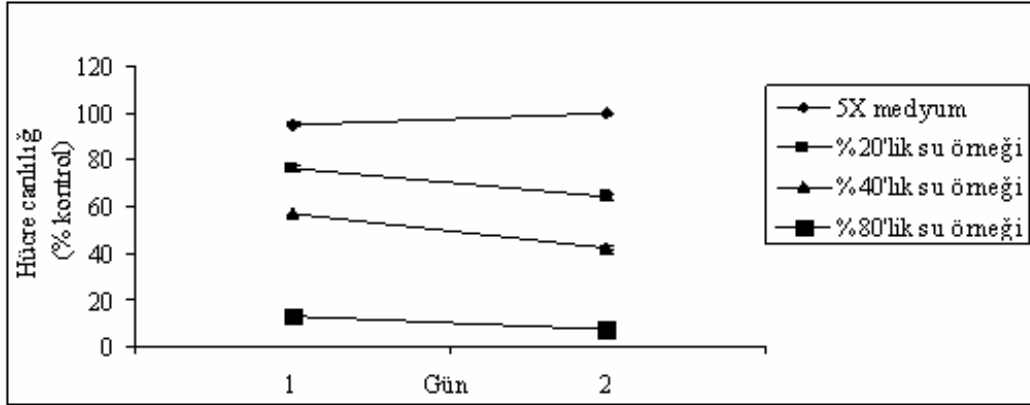
Şekil 7.21. RTG-2, 30mA/cm²'de 1 dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma



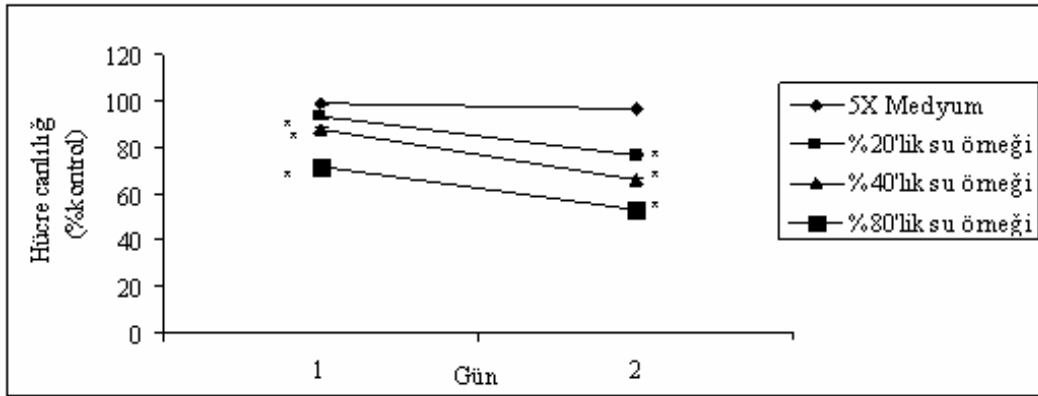
Şekil 7.22. RTG-2, 10mA/cm²'de 8 dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma



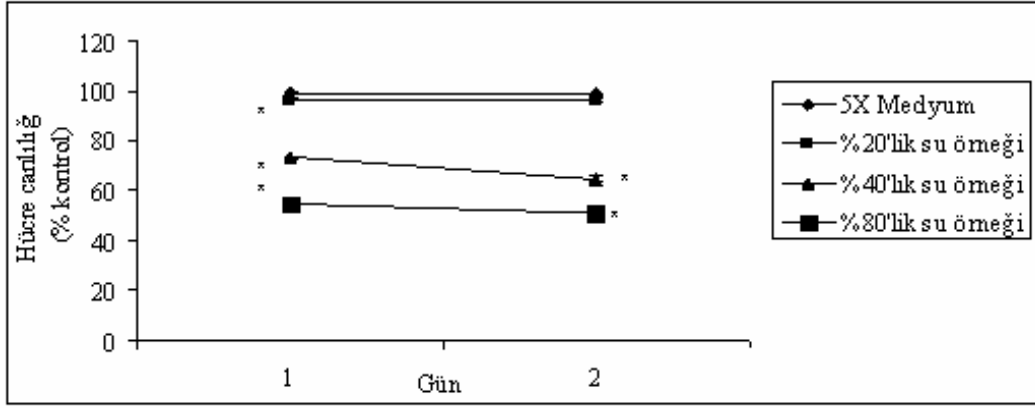
Şekil 7.23. RTG-2, 20mA/cm²'de 5dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma



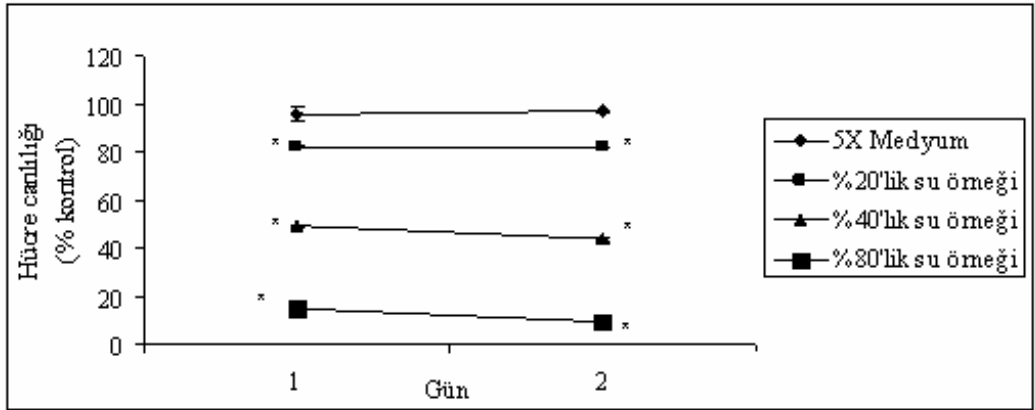
Şekil 7.24. RTG-2, 30mA/cm²'de 1 dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma



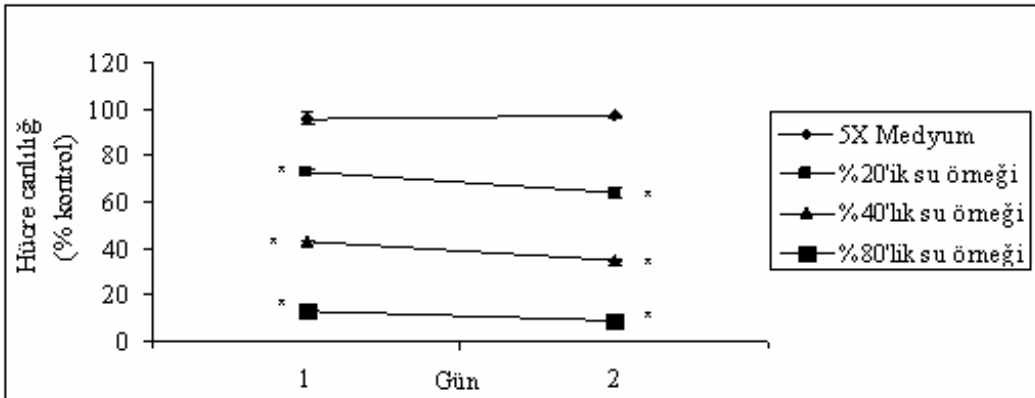
Şekil 7.25. RTG-2, Grafrit Raschig halkalı dolgulu kolon reaktörde tek geçiş çalışması



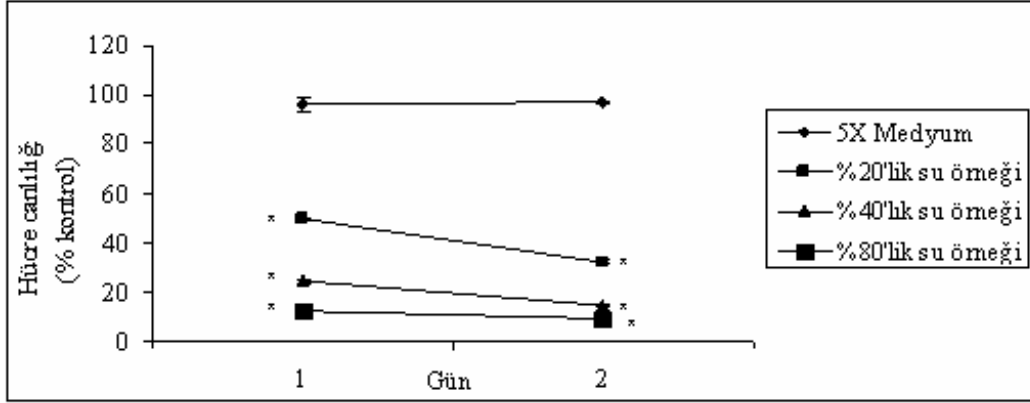
Şekil 7.26. RTG-2, Grafit plaka reaktörde tek geçiş çalışması



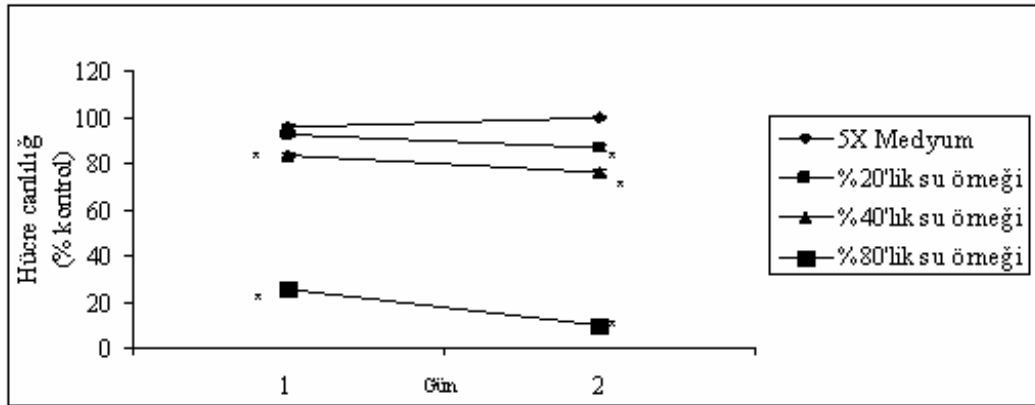
Şekil 7.27. V79 379A, 10mA/cm²'de 5dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma



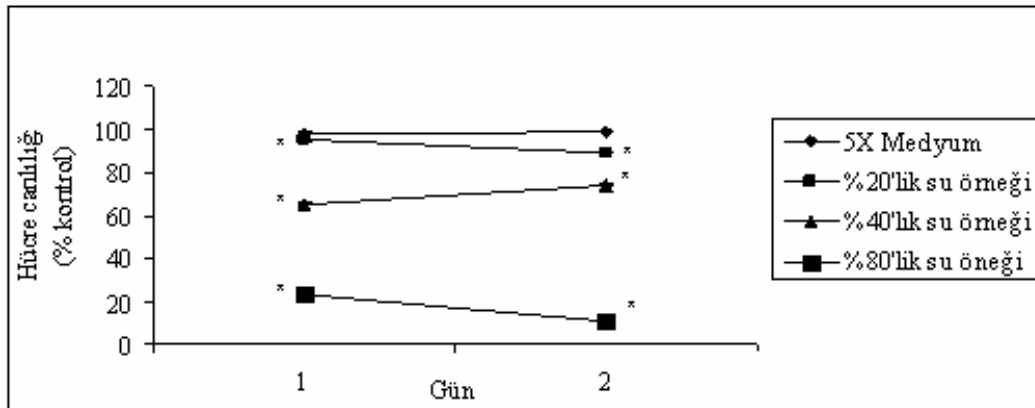
Şekil 7.28. V79 379A, 20mA/cm²'de 2dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma



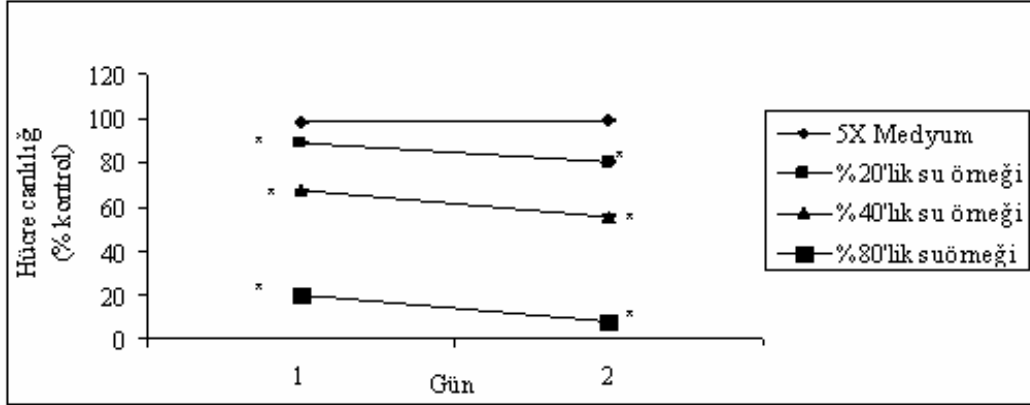
Şekil 7.29 V79 379A, 30mA/cm²'de 1dk. İridyum metal oksit plaka reaktörde geri döngülü çalışma



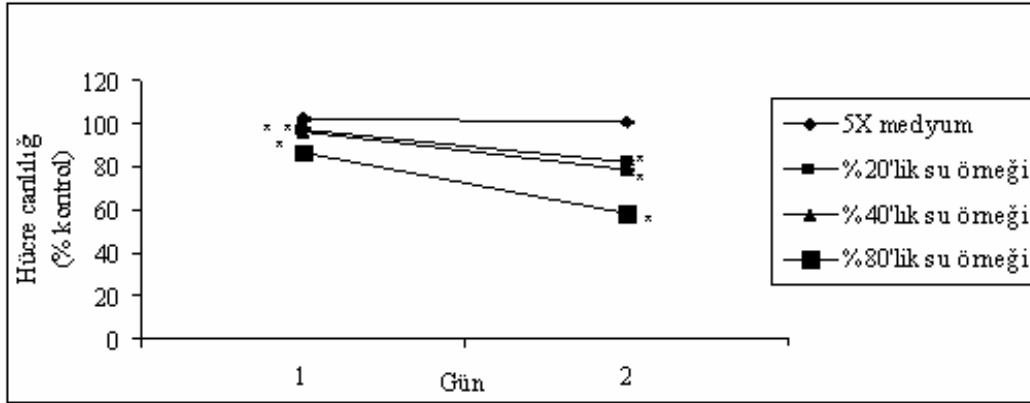
Şekil 7.30. V79 379A, 10mA/cm²'de 8dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma



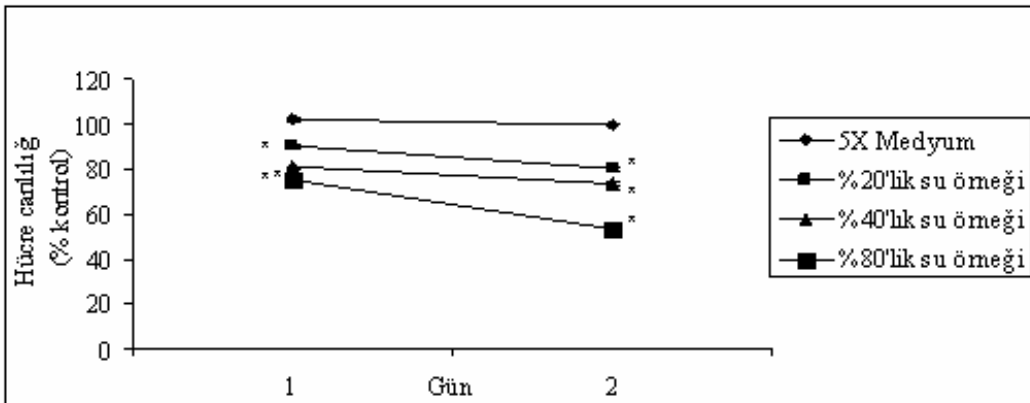
Şekil 7.31. V79 379A, 20mA/cm²'de 5dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma



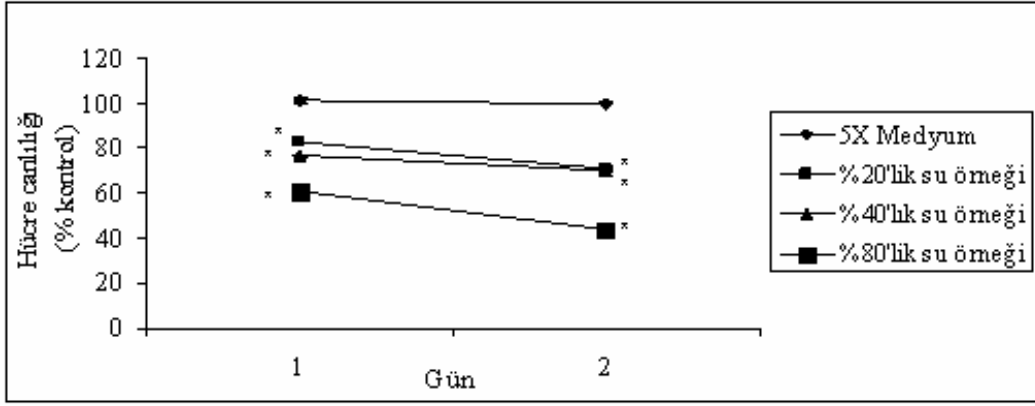
Şekil 7.32. V79 379A, 30mA/cm²'de 1 dk. bor katkılı elmas plaka reaktörde geri döngülü çalışma



Şekil 7.33. V79 379A, Grafit Raschig halkalı dolgulu kolon reaktörde tek geçiş çalışması



Şekil 7.34. V79 379A, Grafit plaka reaktörde tek geçiş çalışması



Şekil 7.35. V79 379A, 30 mA/cm²'de Grafit plaka reaktörde geri döngülü çalışma

8. BULGULARIN TARTIŞILMASI

Elektrokimyasal dezenfeksiyon çalışmalarında üç farklı elektrot malzemesi kullanılmıştır. Bu elektrot malzemelerinden iridyum metal oksit elektrotlar ile daha yüksek derişimde toplam klor üretiminin gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 7.7 ve 7.8). Benzer şekilde toplam yükseltgen miktarı da en yüksek bu elektrot malzemesinde görülmüştür (Şekil 7.14 ve 7.15). Bu sonuçlara göre en iyi dezenfeksiyonun gerçekleştiği elektrot malzemesinin iridyum metal oksit olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.2). Bor katkılı elmas elektrotlar ile elde edilen toplam yükseltgenleyicilerin miktarlarının ise grafit plaka elektrotlara göre daha yüksek olduğu yapılan deneysel çalışmalardan gözlenmektedir (Şekil 7.12, 7.13, 7.16 ve 7.17). Benzer durum toplam klor için de geçerlidir. (Şekil 7.5, 7.6, 7.9 ve 7.10).

Dezenfeksiyon etkinliği olarak deneysel sonuçlar iridyum metal oksit, bor katkılı elmas, grafit plaka, grafit raschig elektrotlar şeklinde bir elektrot malzemesi sıralaması ortaya çıkarmıştır (Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4).

Üç farklı akım yoğunluğu (10 mA/cm², 20 mA/cm², 30 mA/cm²) elektrokimyasal dezenfeksiyon çalışmalarında ve elektrokimyasal klor ve toplam yükseltgen üretimi çalışmalarında kullanılmıştır. Ancak grafit raschig halkalarının kullanıldığı reaktör sisteminde 10 mA/cm² akım yoğunluğunun hemen üstünde elektrotlarda aşırı parçalanma gözlemlendiği için yalnız bu akım yoğunluğunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hayatta kalan bakteri sayısı artan akım yoğunluğu ile hızla düşmektedir. Bunun sebebi yüksek akım yoğunluklarında daha fazla toplam klor ve toplam yükseltgen maddenin elektrokimyasal olarak üretilmesidir (Şekil 7.5, 7.7, 7.9, 7.12, 7.14 ve 7.16).

Çalışılan yüksek akım yoğunluğunda (30 mA/cm²) bir dakikalık sürede 10⁵ cfu/ml'lik bakteri derişiminin tamamının öldüğü gözlemlendiği için daha yüksek akım yoğunluklarına çıkılmasına gerek duyulmamıştır (Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4).

Çalışılan tüm elektrot malzemeleri için üç farklı akış hızında (50 ml/dak, 100ml/dak, 150ml/dak) dezenfeksiyon gerçekleştirilmiştir. Genel olarak yüksek akış hızında az miktarda da olsa daha yüksek toplam yükseltgen ve klor üretimi olduğu görülmektedir (Şekil 7.6, 7.8, 7.10, 7.11, 7.13, 7.15, 7.17 ve 7.18). Sonuç

olarak dezenfeksiyonda da çalışılan akış hızlarından yüksek olanının daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4). Bunun sebebi, yüksek akış hızlarında daha türbülanslı rejim oluşturarak elektrot yüzeyinde oluşan kimyasalların sıvı hacmi içerisine daha etkin dağılıyor olmasıdır. Ayrıca elektrotlardaki durgun film tabakasının artan akış hızı ile azalarak elektrot yüzeyine kütle aktarımının artışı ve yüzeyde oluşan dezenfeksiyonda etkin olan kimyasalların su ortamına geçişine katkıda bulunuyor olduğu düşünülebilir (Şekil 7.6, 7.8, 7.10, 7.11, 7.13, 7.15, 7.17 ve 7.18).

Dezenfeksiyon çalışmalarına reaktör tipinin etkisinin incelendiği çalışmada paralel plaka reaktör ve bipolar dolgulu kolon reaktör kullanılmıştır. Her iki reaktörde de elektrot malzemesi olarak grafit seçilmiştir. Grafit elektrotlar ilk reaktörde düz plaka ikincisinde ise Rasching halkaları şeklindedir. Rasching halka elektrotlar ile önceden belirtildiği gibi yalnızca 10 mA/cm²'lik akım yoğunluğunda çalışılabildiği için karşılaştırma 10 mA/cm²'lik akım yoğunluğunda yapılmıştır. Elde edilen bakteri hayatta kalma oranları paralel plaka reaktörün, bipolar dolgulu kolon reaktöre göre daha etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 7.17 ve 7.18).

Çalışmalarda geri döngülü ve tek geçişli (sürekli akış) olmak üzere iki sistem kullanılmıştır. İki reaktör tipi ve 3 farklı elektrot malzemesi ile gerçekleştirilen geri döngülü çalışmaların tamamında sabit hacimde 10⁵ cfu/ml bakteri derişimli su kullanılmıştır. Zamana karşı çalışılan sistemlerden (geri döngülü) beklenildiği gibi artan zaman ile üretilen dezenfektan miktarlarının da arttığı ve buna bağlı olarak zaman ile hayatta kalan bakteri sayısında azalma elde edildiği görülmektedir (Şekil 7.1). Tek geçiş (sürekli akış durumu) çalışmalarında ise çalışılan elektrot malzemelerinden iridyum metal oksit elektrot ve bor katkılı elmas elektrotlarda 10⁵ cfu/ml derişimli bakterinin tamamının öldüğü, grafit elektrotlarda ise hayatta kalan bakteri sayısında önemli ölçüde azalma sağlandığı görülmüştür (Çizelge 7.1). Bu sonuçlar kullanılan elektrokimyasal dezenfeksiyon sistemlerinin sürekli dezenfeksiyona uygun olduğu göstermektedir.

Sıcaklığın dezenfeksiyona olan etkisi iridyum paralel plaka reaktörde denenmiştir. Bu amaçla 5 °C, 20 °C ve 45 °C de çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Artan sıcaklık ile üretilen toplam yükseltgen madde ve toplam klor miktarında bir

miktar düşüş olduğu gözlenmiştir (Çizelge 7.2). Ancak dezenfeksiyon veriminde (hayatta kalan bakteri sayısında) kötüleşme görülmemiştir. Bu durum yüksek sıcaklıkta daha düşük dezenfektan ile yaklaşık aynı bakteri ölümünü sağlayabildiğimizi göstermektedir (Çizelge 7.2). Bu bulgu Van't Hoff – Arrhenius tarafından tanımlanan artan sıcaklık ile bakterilerin dezenfeksiyonunda artış sağlandığı kavramı ile uyumludur.

Elektrokimyasal dezenfeksiyon çalışmalarında elektrot malzemelerinin akım yoğunluklarının ve reaktör tiplerinin dezenfeksiyona etkisinin incelendiği çalışmalar için arzu edilen dezenfeksiyon derecesine (tüm bakterilerin ölümü) ulaşıldığı durumlar için alınan örnekler ile toksisite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Genel olarak RTG-2 balık kültür hücrelerinin daha hassas olmasından dolayı V79 379A kültür hücrelerine göre doz ve zamana bağlı olarak biraz daha toksik sonuçlar gösterdiği gözlemlenmekle birlikte genel toksisite davranış şekli tüm örnekler için iki kültür hücresinde de benzerlik göstermektedir.

Her bir elektrot malzemesiyle yapılan çalışmaların kendi içinde yakın toksisitede olduğu görülmektedir. 30 mA/cm²'lik çalışmada yüksek üretim hızı ile bakterilerin tamamının ölümlerinin daha kısa sürede gerçekleşmesi durumu varken düşük akım yoğunluklarında düşük kimyasal üretim hızı olmasına rağmen bakterilerin tamamının ölümü için daha uzun süre beklenilmiş ve uzayan süre ile yüksek akım yoğunluğundakine yakın miktarda kimyasal maddenin üretildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple her elektrot malzemesi çalışma koşullarında tüm bakterilerin öldüğü süreler için birbirine yakın toksisite değerleri elde edilmiştir.

Genel olarak iridyum metal oksitinin daha etkin olduğu ve kısa sürede diğerlerine göre daha fazla dezenfektan ürettiği ve bu nedenle toksisitesinde diğerlerine göre az farkla yüksek olduğu gözlenmiştir. Benzer durum bor katkılı elmas ve grafit elektrotlar için bor katkılı elmas elektrotlar yönünde görülmüştür. Genel olarak toksisite için aralarında büyük farklar olmamakla birlikte iridyum metal oksit, bor katkılı elmas ve grafit elektrotlar sıralaması yapılabilir (Şekil 7.19 – 7.35).

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrokimyasal metotla etkin dezenfeksiyonun gerçekleştirildiği yapılan deneysel çalışmalar ile ortaya konmuştur. Kullanılan elektrot malzemelerinin tamamı ile başarılı sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte dezenfeksiyon için etkili elektrot malzemesi olarak iridyum metal oksit elektrotlar ve bor katkılı elmas elektrotların daha uygun olduğu görülmüştür. Bu elektrotlar ile 30 mA/cm^2 'lik akım yoğunlukları ile paralel plaka elektrotlu reaktörlerde hem geri döngülü çalışmalarda kısa sürede hem de tek geçişli sistemlerde 10^5 cfu/ml bakterinin tamamen öldürülebildiği gözlenmiştir. Böylece yüksek bakteri derişimlerinin de elektrokimyasal dezenfeksiyonda başarılı bir şekilde inaktive edilebileceği görülmektedir. Ancak yüksek bakteri derişimlerinde tüm bakterilerin ölümü için kullanılan akım yoğunluğu şartları toksisiteye neden olabilmektedir. Bu sebeple elektrokimyasal dezenfeksiyonun kullanılacağı sistemler için arzu edilen dezenfeksiyon verimi koşullarında toksisite çalışmalarının yapılması elektrokimyasal dezenfeksiyon çalışmaları için genel olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Alkan, U., Taşdemir, Y., Karaer, F. ve Teksoy, A. (2008),” Evsel Atık Suların Mikrobiyolojik Kompozisyonu ve Halk Sağlığına Etkileri”, *Kayseri Atık Su Sempozyumu Bildiri Kitabı*, (Ed: ATLI, V. ve BELENLİ, İ.), Kayseri Büyükşehir Belediyesi KAYSU Genel Müdürlüğü, Kayseri, 22-28.
- Anonim (2008), *Antineoplastik (sitotoksik) ilaçlarla güvenli çalışma rehberi*, T.C. Sağlık Bakanlığı, Tedavi Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Babin, M., Boleas, S. ve Tarazona, J.V. (2005), “ In vitro toxicity of antimicrobials on RTG-2 and RTL-W1 fish cell lines.”, *Environmental Toxicology and Pharmacology* **20**, 125-134.
- Bergmann, H. ve Koparal, S. (2005), “The Formation of Chlorine Dioxide in the Electrochemical Treatment of Drinking Water for Disinfection”, *Electrochimica Acta*, **50**, 5218-5228.
- Bergmann, H., Koparal A.T., Koparal, A.S. ve Echrig F. ,(2008), “The influence of products and by-products obtained by drinking water electrolysis on microorganisms”, *Microchemical Journal*, **89** (2), 98-107.
- Bosch, K., Erdinger L.; Ingel F.; Khussainova S.; Utegenova E.; Bresgen N.ve Eckl P.M. ,(2007)., “Evaluation of The Toxicological Properties of Ground- And Surface-water Samples from The Aral Sea Basin”, *Science of the Total Environment*, **374**, 43-50.
- Collier, A.C. ve Pritsos, C.A. (2003) , “The mitochondrial uncoupler dicumarol disrupts the MTT”, *Biochemical Pharmacology*, **66**, 281-287.
- Correa, D.H.A., Melo, P.S., De Carvalho, C.A.A., De Azavedo, M.B.M., Duran, N., Hauan, M., (2005), “Dehydrocrotonin and its β -cyclodextrin complex: Cytotoxicity in V79 fibroblasts and rat cultured hepatocytes”, *European Journal of Pharmacology*, **510**, 17-24.
- Değirmenci, M. (2000), “Kentsel Su Temininde Yeraltısuyu Kaynaklarının Önemi, Kirlenme Riskleri Ve Türkiyedeki Genel Durum”, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, **1** (1), 34-48.

- Diao, H.F., Li, X.Y., Gu, J.D., H.C. ve Xie, Z.M. (2004), "Electron Microscopic Investigation of the Bactericidal Action of Electrochemical Disinfection in Comparison with Chlorination, Ozonation and Fenton Reaction," *Process Biochemistry*, **39**, 1421-1426.
- Farre, M., Barcelo, D. (2004), "Toxicity Testing of Wastewater And Sewage Sludge By Biosensors, Bioassays And Chemical Analysis", *Trends in Analytical Chemistry*, **22** (5), 299-310.
- Feeze, R. ve Cherry, A. J. (2003); *Yeraltı Suyu, Çeviren*: Kamil Kayabalı, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti, Ankara.
- Feng, C., Suzuki, K., Zhao, S., Sugiura, N., Shimada, S. ve Maekawa T. (2004), "Water Disinfection by Electrochemical Treatment"; *Bioresources Technology*, **94**, 21-25.
- Fent, K. (2001), "Fish cell lines as versatile tools in ecotoxicology: assessment of cytotoxicity, cytochrome P4501A induction potential and estrogenic activity of chemicals and environmental samples," *Toxicology in Vitro*, **15**, 477-488.
- Feretti, E., Lucentini, L., Veschetti, E., Bonadonna, L., Stammati, A., Turco, L., Ottaviani, M., (2007), " Screening and identification of unknown contaminants in water destined to human consumption: A case study", *Microchemical Journal*, **85** (1), 57-64.
- Fotakis, G. ve Timbrell, J.A. (2006), "In vitro cytotoxicity assays: Comparison of LDH, neutral red, MTT and protein assay in hepatoma cell lines following exposure to cadmium chloride," *Toxicology Letters*, **160**, 171-177.
- Gad, S.C. (2000), *In vitro toxicology*, Second Edition, Taylor & Francis, New York.
- Ge, J. ve Qu, J. (2004)., "Ultrasonic Irradiation Enhances Degradation of Azo Dye on MnO₂", *Applied Catalysis B: Environmental*, **47**, 133-140.
- Gen-Shuh, W., Ya-Chen, D. ve Tsair-Fuh, L. (2007), "Cancer Risk Assesment from Trihalomethanes in Drinking Water", *Science of the Total Enviroment*, **387**, 86-95.

Gül, Ş. (1994), “Atık Suların Dezenfeksiyonu”, *Atıksu Arıtma Sistemleri, Uygulamaları ve İşletilmeleri Bildiriler Kitabı*, (Ed: KARIŞLI, H.) Makine Mühendisleri Odası, Adana, 73-91.

Guzella, L; Monarca S.; Zani, C.; Feretti, D.; Zerbini, I.; Buschini, A.; Poli, P.; Rossi, C. ve Richardson, S. D. (2004), “In vitro potential genotoxic effects of surface drinking water treated with chlorine and alternative disinfectants”, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, **564** (2), 179-193 .

Hach-Lange Manuel, (2007).

Holst, C.M., ve Oredsson, S.M. (2005), "Comparison of three cytotoxicity tests in evaluation of the cytotoxicity of a spermine analogue on human breast cancer cell lines", *Toxicology in vitro*, **10** , 379-387.

Hsu, S. Y. (2003), "Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator" , *Journal of Food Engineering*, **60** (4), 469-473.

Http-1 ://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm.

Http-2 ://www.gap.gov.tr/Turkish/Dergi/D6101998/baraj.html.

Janssen, L.J.J. ve Koene, L. (2002), “ The Role of Electrochemistry and Electrochemical Technology in Enviromental Protection”, *Chemical Engineering Journal*, **85**, 137-146.

Jütter K., Galla U.ve Schmieder H., (2000), “ Electrochemical Approaches to Enviromental Problems in The Process Industry”, *ElectrochimicaActa*, **45**, 2575-2594

Jos, A., Repetto, G., Rios, J.C., Hazen, M.J., Molero, M.L, Del Peso, A., Salguero, M., Fernandez-Freire, P., Perez-Martin, J.M., Camean, A. (2003), “Ecotoxicological evaluation of Carbamazepine using six different model systems with eighteen endpoint”, *Toxicology in Vitro*, **17**, 525-532.

Kargaloğlu, Y., Mcmillan, B. J., Minear , R. A. ve Plewa, M. J. (2002), “Analysis of the Cytotoxicity and Mutagenicity of Drinking Water Disinfection By-

- Products in Salmonella typhimurium”, *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, **22**, 113-128.
- Kerwick, M.I., Reddy, S.M., Chamberlain, A.H.L. ve Holt D.M. (2005), "Electrochemical Disinfection, an Environmentally Acceptable Method of Drinking Water Disinfection", *Electrochimica Acta*, **50**, 5270-5277.
- Kıvanç, M, Kunduoğlu, B. Atik, S. ve Malkoçoğlu, B., (1996), “Eskişehir İçme ve Kullanma Sularının Bakteriyolojik Kirliliği”, *Ekoloji Çevre Dergisi*, Nisan-Mayıs-Haziran, **19**, 19-21.
- Maffei F., Buschini A., Rossi C., Poli P., Forti G.C. ve Hrelia P. (2005), “Use of the Comet Test and Micronucleus Assay on Human White Blood Cells for In Vitro Assessment of Genotoxicity Induced by Different Drinking Water Disinfection Protocols”, *Environmental and Molecular Mutagenesis*, **46**, 116-125.
- Maness, P.C., Smolinski, S, Blake, D.M., Huang Z., Wolfrum, E.J., Jacoby, W.A. (1999), “Bactericidal activity of photocatalytic TiO₂ reaction: toward an understanding of its killing mechanism”, *Appl. Environ. Microbiol.* **65**, 4094–4098.
- Marabini, L.; Frigerio ,S., Chiesara, E., Maffei, F., Forti, G. C., Hrelia, P., Buschini, A., Martino, A., Poli, P., Rossi, C. ve Radice S. (2007), “In Vitro Cytotoxicity and Genotoxicity of Chlorinated Drinking Waters Sampled Along the Distribution System of Two Municipal Networks”, *Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, **634** (1-2), 1-13.
- Martnez-Huitle, C.A., Brillas, E. (2008), “Electrochemical Alternatives for Drinking Water Disinfection”, *Angew. Chem. Int .Ed.*, **47**, 1998-2005.
- Matsunaga, T., Namba, Y. ve Nakajima, T. (1984), “Electrochemical Sterilization of Microbial Cells”, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, **13**, 393-400.
- Melo, P.S., Duran, N. ve Haun, M.,(2001), “Cytotoxicity of derivatives from dehydrocrotonin on V79 cells and Escherichia coli”, *Toxicology Letters*, **159** (3), 135-141.

- Melo, P.S., Fabrin-Neto, J.B., Gomes De Moraes, S., Assalin, M.R., Durán, N., Haun, M. (2006), “Comparative toxicity of effluents processed by different treatments in V79 fibroblasts and the Algae *Selenastrum capricornutum*”, *Chemosphere*, **62**, 1207-1213.
- Metcalf & Eddy Inc. (2003), *Wastewater Engineering*, Fourth Edition, McGraw Hill, New York, USA.
- Monarca, S., Zani, C., Richardson, S. D.; Thruston, A. D.; Moretti, Jr. M., Feretti D. ve Villarini M. (2004), “A new approach evaluating the toxicity and genotoxicity of disinfected drinking water”, *Water Research*, **38** (17), 3809-3819.
- Monarca, S., Feretti, D., Collivignarelli, C., L., Zerbini, I., Bertanza, G. ve Pedrazzani, R. (2000), “The Influence of Different Disinfectants on Mutagenicity and Toxicity of Urban Wastewater”, *Water Research*, **34** (17), 4261-4269.
- Mossman T., (1983), “Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays”, *Journal of Immunological. Methodology*, **65**, 55-63.
- Ni-shuilleabhain, S., Mothersill, C., Sheehan, D., O’Brien, N.M., O’Halloran N J., Van Pelt, F.N.A.M., Davoren, M., (2004), “In vitro cytotoxicity testing of three zinc metal salts using established fish cell lines.” *Toxicology in Vitro*, **18**, 365-376.
- Patermarakis, G. ve Fountoukidis, E. (1990), “Disinfection of Water by Electrochemical Treatment”, *Water Research*, **24**, 1491-1496.
- Pavelic, P., Nicholson B. C., Dillon P. J., ve Barry K. E. (2005), “Fate of disinfection by-products in groundwater during aquifer storage and recovery with reclaimed water”, *Journal of Contaminant Hydrology*, **77**, 119 – 141.
- Pichardo, S., Jos, A., Zurita, J.L., Salgalguero, M., Camean, A.M., Repetto, G. (2005), “The use of fish cell lines RTG-2 and PLHC-1 to compare the toxic effects produced by microcystins Lr and RR.”, *Toxicology in Vitro*, **19**, 865-873.

- Polcaro, A.M. , Vacca A. , Mascia M. , Palmas S., Pompei R. ve Laconi S. (2007), “ Characterization of A Stirred Tank Electrochemical Cell for Water Disinfection Processes”, *Electrochimica Acta*, **52**, 2595-2602,
- Putnam, K.P., Bombik, D.W. ve Doolittle, D.J. (2002), “Evaluation of eight in vitro assays for assessing the cytotoxicity of cigarette smoke condensate”, *Toxicology In Vitro*, **16**, 599-607.
- Resmi Gazete, Çevre Kanunu, Sayı: 18132.
- Resmi Gazete, Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, Sayı: 25678.
- Resmi Gazete, Yeraltı Suları Hakkında Kanun , Sayı: 10688.
- Resmi Gazete, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sayı: 25730.
- Ritter L., Solomon K., Sibley P., Hall K., Keen P., Mattu G. ve Linton B. (2002), “Sources,Patways, and Relative Risks of Contaminants in Surface Water And Groundwater : A Perspective Prepared for The Walkerton Inquiry”, *Journal of Toxicology and Enviromental Health, Part A*, **65** (1), 1-142.
- Samsunlu, A. (1990), *Çevre Mühendisliği Kimyası*, SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul.
- Sujbert, L., Racz G., Szende B., Schröder H. C., Müller W. E. G. ve Török G. (2006), “Genotoxic potential of by-products in drinking water in relation to water disinfection: Survey of pre-ozonated and post-chlorinated drinking water by Ames-test”, *Toxicology*, **19** (1-3), 106-112.
- Şen, Z. (2003), *Yeraltı Suyu*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şengül, B. ve Şengül, Ü. (1998), “İçme ve Kullanma Suyu Klorlama Teknikleri”, *Kayseri . Atık su Sempozyumu Bildiri Kitabı*, (Ed: ATLI, V. ve BELENLİ, İ.), Kayseri Büyükşehir Belediyesi KAYSU Genel Müdürlüğü, Kayseri, 132-138.
- Tokmak, B., Çapar, G., Dilek, F. B. ve Yetiş, Ü. (2000), “Ankara İçme Suyunda Trihalometanlar”, *1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu Bildiriler*, (Ed: ÇAPAR, G., GİRGIN,S., TOKCAER, E., TOKMAK, B. ve YÜNCÜ, B.), ODTÜ Basım, Ankara, 101-108.

- Tombul, M. (1991), *Eskişehir Yeraltısuyunun İçme ve Kullanma Suyu Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Tamer, A.Ü., Uçar, F., Ünver, E., Karaboz, İ., Bursalıoğlu, M. ve Oğultekin, R. (1998), *3 ve 4 sınıf Mikrobiyoloji Laboratuvar Kılavuzu*, T.C. Anadolu Üniversitesi Eğitim, Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yayınları, Eskişehir, No:74.
- Usluer, G. (2004), “Su İle Bulaşan Hastalıklar”, *ANKEM Dergisi*, **18** (2), 17-20.
- Yalçın, A., Davraz, A. ve Özçelik, M. (2004), “Yeraltısularının Kirlenmesinde Litoloji ve Yerleşim Alanlarının Etkisi: Ulupınar Kaynağı, Sorkuncak-Eğirdir-Isparta”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Ankara, **28**, 2.
- Yano, C.L., Marcondes, M.C.C.G. (2005), “Cadmium chloride-induced oxidative stress in skeletal muscle cells in vitro”, *Free Radical Biology & Medicine*, **39** (10), 1378-1384.
- Weyermann, J., Locmann, D. ve Zimmer, A. (2005); “A practical note on the use of cytotoxicity assays”, *International Journal of Pharmaceutics*, **288**, 369-376.

EK-1

Anot yüzey alanı hesabı

Reaktör dış çapı = D_d

Reaktör iç çapı = D_e

Reaktör yüksekliği = D_L

Elektrotun dış yüzey alanı = $\frac{D_L}{2} D_d \pi$

Elektrotun iç yüzey alanı = $\frac{D_L}{2} D_e \pi$

Bir elektrotun yüzey alanı = $\frac{D_L}{2} D_d \pi + \frac{D_L}{2} D_e \pi = \frac{0,8}{2} 0,8 \pi + \frac{0,8}{2} 0,4 \pi = 1,508 \text{cm}^2$

Toplam anot yüzey alanı = $1,508 \text{cm}^2 \times 28 \times 4 = 168,88 \text{cm}^2$