

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BALAST SUYU ARITIMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE
UYGULAMASI**

**DOKTORA TEZİ
Ceren BİLGİN GÜNEY**

Anabilim Dalı : Deniz Teknolojisi Mühendisliği

Programı : Deniz Teknolojisi Mühendisliği

MART 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BALAST SUYU ARITIMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE
UYGULAMASI**

**DOKTORA TEZİ
Ceren BİLGİN GÜNEY
(508032100)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Şubat 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Mart 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatma YONSEL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hamza S. AYBERK (KOÜ)
Prof. Dr. Serdar BEJİ (İTÜ)
Prof. Dr. Oğuz S. SÖĞÜT (İTÜ)
Doç. Dr. İsmail H. HELVACIĞOLU (İTÜ)**

MART 2011

*Bu alışma çocukları için kendini hep yok sayan, fedakar, eşsiz bir babaya,
benim Babama ithaf edilmiştir,*

ÖNSÖZ

Başlangıçta sadece akademik hayata ilk adım olarak gördüğüm doktora çalışmasının sonuna geldiğim bu gün, bu çalışmanın aslında hayatın kendisi olduğunu fark ediyorum. Yaşamımın neredeyse tüm dönüm noktalarını sağdığım bu süreçte yanımda olan, yakınımda olmasalar da yanımda olduklarını hissettiren; bilimsel, teknik, maddi ve manevi açıdan bana destek veren onca kişiye şükran duygularımı burada ifade etmemin mümkün olmayacağını biliyorum...

Her şeyden önce bu çalışmanın ortaya çıkmasında benim kadar emeği geçen, başından sonuna kadar bana destek olan, yorulan, sabır gösteren, değerli danışman hocam Doç. Dr. Fatma YONSEL'e, her zaman yanımda olduğunu hissettirdiği için ve daha bir çok şey için en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Sayın Hocam, bu çalışmayı gözünüzün değmediği harf kalmadığını bildiğim için rahatlıkla sunabiliyorum.

Bir doktora çalışmasında karşılaşılan en önemli sıkıntıların başında gelen maddi olanaksızlıklar, BaWaPla Projesi'nin sunduğu imkânlar sayesinde bu doktora çalışmasında neredeyse hiç bir zaman gündeme gelmedi. Bu rahatlığı yaşamamı sağlayan projenin tüm ortaklarına teşekkür ederim. Ancak Proje ortaklarından LVP G GmbH'ye test sistemini sağladığı, Sayın Frank Voigtländer'a her türlü teknik desteği için özellikle teşekkürlerimi sunarım. BaWaPla Projesi'nin yanı sıra, çalışma sürecinde farklı zamanlarda beni finansal olarak destekleyen Türk Loydu Vakfı'na ve Vehbi Koç Vakfı'na teşekkürü borç bilirim.

Laboratuvar çalışmaları esnasında bana yardımcı olan sevgili Sefa Eren ÖZHAN ve sevgili Hüseyin Burak ARDA'ya yükümü paylaştıkları için teşekkür ederim. Onların katkıları ve emekleri olmasaydı her şey çok daha zor olurdu.

Değerli arkadaşım Yrd. Doç. Devrim B. DANIŞMAN'a hiç bir zaman esirgemediği zamanı için, en basit sorularımı bile büyük bir ciddiyetle ele aldığı için, birlikte yaptığımız beyin fırtınaları için, sonsuz desteği için ne kadar teşekkür etsem yetersiz kalır... Ayrıca bu süreçte bana destek olan, bir çeşit kader birliği yaptığımız sevgili arkadaşlarım Dr. Aysun KÖROĞLU'ya, Dr. Ayhan MENTEŞ'e, Yük. Müh. Burcu ÜNAL'a varlıkları için binlerce kez teşekkür ederim.

Ailemin her ferdine tek tek teşekkür etmek isterdim ama bu mümkün değil. Tüm aileme kucak dolusu sevgilerimi ve sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ancak vurgulamak isterim ki sevgili ağabeyim Doç. Dr. Mert BİLGİN olmasaydı bu çalışmaya hiç başlayamazdım, ve sevgili babam Sayın Ali BİLGİN'in manevi varlığı olmasaydı bu çalışmayı hiç bitiremezdim. Canım babacığım, bir gün sonrasını görmüşçesine benden doktoramı bitirmemi istegin için bitebildi bu çalışma. Söylenebilecek her şey, senin bana verdiklerinin yanında o kadar değersiz kalıyor ki...

Son olarak ve en önemlisi sevgili çekirdek ailem, sizden esirgediğim vakti, sabrı, anlayışı ve daha bir çok şeyi hoş gördüğünüz için sizlere minnettimi nasıl ifade edebilirim ki... Bu çalışmanın her aşamasında yanımda olan, daima destekleyen, cesaret veren, yönlendiren, yolumu kaybettiğimde rehber olan, elimi tutan sevgili

eşim Dr. Caner GÜNEY ve çalışmanın sonuna doğru hayatımıza katılan, bir gülüşü ile dünyamı değiştiren süper kahramanım, biricik oğlum Batu GÜNEY, beni tamamladığınız ve hayatımda olduğunuz için her nefesimle şükrediyorum.

Ocak 2011

Ceren BİLGİN GÜNEY

(Deniz Teknolojisi Y. Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. BALAST SULARI İLE TAŞINAN YABANCI TÜRLER VE BUNLARIN ÖNLENMESİNE İLİŞKİN DÜZENLEMELER	7
2.1 Balast Suları ve Yabancı İstilacı Türler	7
2.2 Balast Suları ve Balast Sedimanı ile Taşınan Yabancı Türlerin Etkileri	10
2.3 Balast Suları ve Sedimanı ile Taşınan Zararlıların Önlenmesi ile İlişkili Uluslararası Hareketler ve Düzenlemeler.....	12
2.3.1 Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi	13
2.3.2 Rio Zirvesi, Rio Deklarasyonu, Gündem 21, Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi.....	15
2.3.3 FAO Sorumlu Balıkçılık Uygulama Kuralları	17
2.3.4 Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün gemi balast suları ve sedimanının kontrolü için yaptığı düzenlemeler	18
3. GEMİ ÜZERİNDE BALAST SUYU YÖNETİMİ İÇİN MEVCUT YAKLAŞIMLAR	25
3.1 Balast Suyu Değişimi	26
3.2 Mekanik Yöntemler.....	30
3.2.1 Filtre sistemleri	31
3.2.2 Hidrosiklonlar	33
3.3 Fiziksel Yöntemler	34
3.3.1 Isı ile arıtma	34
3.3.2 UV radyasyonu ile arıtma	38
3.3.3 Ultrason teknolojisi kullanarak arıtma	41
3.4 Kimyasal Yöntemler	44
3.4.1 Oksitleyici biyositler	45
3.4.2 Oksitleyici olmayan biyositler	51
3.5 Diğer Yöntemler.....	53
3.5.1 Oksijensizleştirme	53
3.5.2 Elektrokimyasal yöntemler	55
3.6 Karma Sistemler	58
3.7 Balast suyu arıtım sistemlerinde güncel durum	59
4. BALAST SUYU ARITIMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASININ TEMELLERİ	63

4.1 Bir Çözelti Olarak Deniz Suyu.....	64
4.2 Elektrokimyasal Temeller	65
4.2.1 Redoks tepkimeleri ve elektrokimyasal hücreler	65
4.2.2 Elektrolitik hücre verimini etkileyen etmenler.....	70
4.2.3 Sodyum klorürün elektrolizi.....	72
4.3 Kimyasal Temeller	73
4.3.1 Toplam klor, serbest hazır klor, bağlı hazır klor ve kırılma noktası klorlaması:	73
4.3.2 Klorun dezenfektan etkisi.....	79
4.3.3 Klorun güneş ışığı ile reaksiyonu.....	80
5. BALAST SUYU ARITIMI İÇİN LABORATUVAR ORTAMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASI.....	81
5.1 BaWaPla - Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi Projesi	81
5.2 Deney Sistemi.....	83
5.3 Deneylerde Kullanılan Elektroliz Hücreleri	85
5.4 Deneylerde Kullanılan Su.....	89
5.5 Ölçülen Parametreler ve Ölçme Yöntemleri	90
5.6 Gerçekleştirilen Deneyler	92
5.6.1 Elektroliz hücrelerinin performanslarının belirlenmesi	92
5.6.1.1 Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri	92
5.6.1.2 FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri	93
5.6.1.3 FTEC 500 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri	94
5.6.1.4 EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücreleri ile gerçekleştirilen performans deneyleri	95
5.6.2 Bazı dış faktörlerin elektroliz hücresi performansına etkisi.....	97
5.6.2.1 Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisinin belirlenmesi	97
5.6.2.2 Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının elektrokimyasal hücre performansına etkisinin belirlenmesi	97
5.6.2.3 Anot sıvısı üretiminde kullanılacak su içerisindeki amonyakın etkisinin belirlenmesi	99
5.6.3 Elektroliz hücresi ile üretilen dezenfektan anot sıvısının farklı koşullarda zamanla değişiminin saptanması	100
5.6.3.1 Anot sıvısında toplam ve hazır klor değişiminin belirlenmesi	100
5.6.3.2 UV radyasyonunun anot sıvısı üzerinde etkisinin belirlenmesi	101
5.6.3.3 Dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişiminin belirlenmesi	102
5.6.4 Elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının mikrobiyolojik etkinliği.....	103
6. BALAST SUYU ARITIMI İÇİN LABORATUVAR ORTAMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASI SONUÇLARI.....	105
6.1 Elektroliz hücrelerin performansları.....	105
6.1.1 Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları	105
6.1.2 FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları	108
6.1.3 FTEC 500 kodlu elektroliz hücre ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları	114
6.1.4 EC100 Nr. 201 kodlu elektroliz hücre ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları	123

6.1.5 EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücre ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları	129
6.2 Bazı dış faktörlerin elektroliz hücre performansına etkisi	134
6.2.1 Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisi	134
6.2.2 Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının hücre performansına etkisi	135
6.2.3 Anot sıvısı üretiminde kullanılacak su içerisindeki amonyağın anot sıvısına etkisinin belirlenmesi	141
6.3 Elektroliz hücre ile üretilen dezenfektan anot sıvısının farklı koşullarda zamanla değişiminin saptanması	146
6.3.1 Anot sıvısında toplam ve hazır klor değişimi	146
6.3.2 UV radyasyonunun anot sıvısı üzerinde etkisi.....	151
6.3.3 Dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişimi	154
6.4 Elektroliz hücre ile üretilen anot sıvısının mikrobiyolojik etkinliği	159
6.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	161
6.6 BaWaPla Pilot Sistemi	172
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	179
KAYNAKLAR	185
EKLER.....	205

KISALTMALAR

A	: Amper
AS	: Anot sıvısı
BaWaPla	: Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi (<i>Sustainable Ballast Water Management Plant</i>) Projesi
BM	: Birleşmiş Milletler
BMDH	: Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi
BHK	: Bağlı hazır klor
BSY	: Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi
CBD	: Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi
CFU	: Koloni oluşturma birimi (<i>colony forming unit</i>)
CDP COP	: Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'ne Taraf Devletler Konferansı (<i>CBD Conference of Parties</i>)
DI	: Deiyonize su
DS	: Deniz suyu
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (<i>FAO- Food And Agriculture Organization of The United Nations</i>)
GESAMP	: Deniz Kirliliğinin Bilimsel Yönlü İncelemesinde Uzmanlar Grubu (<i>Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection</i>)
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü (<i>International Maritime Organization</i>)
KS	: Katot sıvısı
LC₉₉	: Üzerinde deney yapılan canlıların %99'unu öldüren derişim
MARPOL	: Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme
MEPC	: Deniz Çevresi Koruma Komitesi (<i>Marine Environment Protection Commitee</i>)
nm	: Nanometre
s	: Saniye
sa	: Saat
SBT	: Ayrılmış balast tankları (<i>segregated ballast tanks</i>)
MS	: Musluk suyu
SHK	: Serbest hazır klor
TK	: Toplam klor
UV	: Mor ötesi
YDS	: Yapay deniz suyu
UMN	: Minesota Üniversitesi (<i>University of Minnesota</i>)
UNEW	: Newcastle Upon Tyne Üniversitesi (<i>University of Newcastle Upon Tyne</i>)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Balast Suyu Yönetmeliği, Pazouki ve diğ. (2008) den uyarlanmıştır. . 20	20
Çizelge 2.2 : Kural D-2, Bilgin Güney ve Yonsel (2008) den uyarlanmıştır. 21	21
Çizelge 2.3 : IMO rehberleri ve bu rehberlerin dayalı olduğu kararlar. 23	23
Çizelge 3.1 : Tip Onayı almış Balast suyu arıtım sistemleri. 59	59
Çizelge 3.2 : Son Onay alarak Tip Onayı aşamasına gelen arıtım sistemleri. 60	60
Çizelge 3.3 : Ön Onay alarak Son Onay aşamasına gelen arıtım sistemleri. 61	61
Çizelge 4.1 : Deniz suyunda bulunan başlıca iyonlar, Riley ve Skirrow (1975) dan uyarlanmıştır. 65	65
Çizelge 4.2 : Kloraminlerin dağılımı, Weber (1972) den uyarlanmıştır. 78	78
Çizelge 4.3 : Güneş tarafından yayılan UV radyasyonu, Masschelein ve Rice (2002) den uyarlanmıştır. 80	80
Çizelge 5.1 :Deneylerde kullanılan elektroliz hücreleri 86	86
Çizelge 5.2 :Analizler ve analiz yöntemleri. 91	91
Çizelge 5.3 :Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri. .. 93	93
Çizelge 5.4 :FTEC 100 kodlu elektroliz hücresinin performans deneyleri. 93	93
Çizelge 5.5 :FTEC 500- kodlu elektroliz hücresinin YDS ile performans deneyleri.95	95
Çizelge 5.6 :FTEC 500 kodlu elektroliz hücresinin DS ile performans deneyleri. ... 95	95
Çizelge 5.7 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücreleri ile Vmaks ayarına karşılık elde edilen akım deneyleri. 96	96
Çizelge 5.8 :EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 ile anot sıvısı üretimi deney prosedürü 96	96
Çizelge 5.9 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 ile anot sıvısı ve katot sıvısı üretimi deney prosedürü. 97	97
Çizelge 5.10 :Su sertliğinin anot sıvısına etkisi. 98	98
Çizelge 5.11 :Su içerisindeki amonyakın anot sıvısına etkisi. 99	99
Çizelge 5.12 :Deniz suyundan üretilen anot sıvısının değişimi. 100	100
Çizelge 5.13 :UV-C radyasyonun etkisini belirlemek için kullanılan elektrolitler. 102	102
Çizelge 5.14 : Farklı sulara eklenen anot sıvılarının başlangıçtaki serbest hazır klor derişimleri. 102	102
Çizelge 5.15 :Deniz suyuna eklenen anot sıvısında klor değişiminin tespiti için kullanılan anot sıvıları ve deniz suları. 103	103
Çizelge 6.1 Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisi. 135	135
Çizelge 6.2 :UV-C radyasyonunun anot sıvısı değişimine etkisi. 152	152
Çizelge 6.3 :UV-A radyasyonunun deniz suyu ile üretilen anot sıvısının değişimine etkisi. 153	153
Çizelge 6.4 :Farklı sıcaklıklardaki sulara eklenen anot sıvısında SHK (mg/l) değişimi. 155	155
Çizelge 6.5 :Standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının <i>B.subtilis</i> üzerinde etkisi. 160	160
Çizelge 6.6 :Standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının toplam canlı bakteri üzerinde etkisi. 161	161
Çizelge 6.7 :FTEC 500 ile üretilen anot sıvısının <i>B. Subtilis</i> üzerinde etkisi. 161	161

Çizelge 6.8 Benzer koşullarda farklı hücreler ile üretilen dezenfektanlar.....	171
Çizelge 6.9 :Pilot sistem testlerinde ölçülen parametreler.....	175

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Balast suyu arıtma sistemlerinin onay süreci, Olgun ve diğ.(2009) dan uyarlanmıştır.	24
Şekil 3.1 : Hidrosiklon seperatör, Cluskey ve Holdø (2009) dan uyarlanmıştır.....	33
Şekil 3.2 : Isı ile arıtma, Rigby ve diğ. (1999) dan uyarlama.....	35
Şekil 3.3 : Isı ile arıtma, Quilez-Badia ve diğ. (2008) den uyarlanmıştır.....	37
Şekil 4.1 : Membran Elektrolizi, Url-9'den uyarlanmıştır	68
Şekil 4.2 : HOCl ve OCl'nin 0 °C ve 20 °C'de pH a bağlı dağılımı, Asano ve diğ., (2007) den uyarlama	75
Şekil 4.3 : Kırılma noktası klorlaması, Asano ve diğ., (2007) den uyarlama.....	77
Şekil 5.1 : BaWaPla - Karma Sistem.....	81
Şekil 5.2 : Elektrokimyasal Hücre Test Sistemi	83
Şekil 5.3 : Anot Sıvısı / Katot Sıvısı Üretimi Akış Şeması	84
Şekil 5.4 : Standart Elektroliz Hücresi	86
Şekil 5.5 : FTEC 100 ve FTEC 500.....	87
Şekil 5.6 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240	88
Şekil 5.7 : Elektroliz hücrelerinin kutuplarının normal ve ters yönde çalıştırılması.	89
Şekil 5.8 : İstanbul Boğazı ve Yeniköy-Deniz suyu alma noktası	90
Şekil 6.1 : Tuzluluğun ve akım şiddetinin anot sıvısı üzerindeki etkisi.	106
Şekil 6.2 : Aynı akım şiddeti altında üretilen anot sıvısında tuzluluğa bağlı TK.....	107
Şekil 6.3 : Benzer tuzluluklardaki elektrolit ile üretilen anot sıvısında akım şiddetine bağlı TK.	107
Şekil 6.4 : FTEC 100 ile farklı tuzluluklarda elde edilen akım değerleri.....	108
Şekil 6.5 : FTEC 100 ile anot sıvısı üretimi.	109
Şekil 6.6 : FTEC 100 ile %20 tuzlulukta elektrolit kullanılarak anot sıvısı üretimi.....	109
Şekil 6.7 : FTEC 100 ile %30 tuzlulukta elektrolit kullanılarak anot sıvısı üretimi.....	111
Şekil 6.8 : FTEC 100 ile %30 tuzlulukta elektrolitle, 50 l/sa hızla anot sıvısı üretilirken tespit edilen voltaj ve akım şiddeti değerleri.....	111
Şekil 6.9 : FTEC 100 ile maksimum akım şiddeti 10A iken 50 l/sa hızla anot sıvısı üretimi.	112
Şekil 6.10 : FTEC 100 ile maksimum akım şiddeti 16A iken 50 l/sa hızla anot sıvısı üretimi.	113
Şekil 6.11 : FTEC 500 – YDS ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.	114
Şekil 6.12 : FTEC 500 – YDS (%10) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.....	116
Şekil 6.13 : FTEC 500 – YDS (%20) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.....	116
Şekil 6.14 : FTEC 500 – YDS (%30) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.....	116
Şekil 6.15 : FTEC 500 – YDS (%10) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.	117
Şekil 6.16 : FTEC 500 – YDS (%20) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.	117
Şekil 6.17 : FTEC 500 – YDS (%30) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.	117
Şekil 6.18 : FTEC 500 – DS (%18) ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.....	119
Şekil 6.19 : FTEC 500 – DS (%9) ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.....	119
Şekil 6.20 : FTEC 500 – DS (%30) ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.....	120
Şekil 6.21 : FTEC 500 – DS (%18) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.....	121

Şekil 6.22 :FTEC 500 – DS (%18) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.	121
Şekil 6.23 :FTEC 500 – DS (%30) kullanılarak üretilen anot anot sıvısında TK...	121
Şekil 6.24 :FTEC 500 – DS (%30) kullanılarak üretilen anot anot sıvısında SHK.	122
Şekil 6.25 :FTEC 500 – DS (%9) kullanılarak üretilen anot anot sıvısında TK.	122
Şekil 6.26 :FTEC 500 – DS (%9) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.	122
Şekil 6.27 :EC 100 Nr. 210 ile değişen V_{maks} ayarlarında elde edilen akım şiddeti değerleri.....	124
Şekil 6.28 :EC 100 Nr. 201 ile farklı tuzluklarda üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi.....	125
Şekil 6.29 :EC 100 Nr. 201 ile farklı tuzluklarda üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi.	125
Şekil 6.30 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen katot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).	126
Şekil 6.31 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen katot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).	127
Şekil 6.32 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).....	128
Şekil 6.33 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).	128
Şekil 6.34 :EC 100 Nr. 240 ile değişen V_{maks} ayarlarında elde edilen akım şiddeti değerleri.....	129
Şekil 6.35 :EC 100 Nr. 240 ile farklı tuzluklarda üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi.....	131
Şekil 6.36 :EC 100 Nr. 240 ile farklı tuzluklarda üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi.	131
Şekil 6.37 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen katot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).	132
Şekil 6.38 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen katot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).	133
Şekil 6.39 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).....	134
Şekil 6.40 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).	134
Şekil 6.41 : Ca^{2+} iyonlarının TK derişimine etkisi.	137
Şekil 6.42 : Ca^{2+} iyonlarının SHK derişimine etkisi.....	137
Şekil 6.43 : Mg^{2+} iyonlarının TK derişimine etkisi.	138
Şekil 6.44 : Mg^{2+} iyonlarının SHK derişimine etkisi.....	138
Şekil 6.45 :Anot sıvısının içediği TK derişiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi.	139
Şekil 6.46 :Anot sıvısının içediği SHK derişiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi.	139
Şekil 6.47 :Uzun süreli anot sıvısı üretiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının klor derişimi üzerinde etkisi	140
Şekil 6.48 :Uzun süreli anot sıvısı üretiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının redoks potansiyeli üzerinde etkisi.....	140
Şekil 6.49 :Ortalama deniz suyu sertliğine sahip elektrolitle anot sıvısı üretimi esnasında meydana çıkan atık suda çökme.	141
Şekil 6.50 :Amonyagın TK derişimine üretim süresince etkisi, I. Seri.	142
Şekil 6.51 :Amonyagın TK derişimine üretim süresince etkisi, II. Seri.	143
Şekil 6.52 :Amonyagın SHK derişimine üretim süresince etkisi, I. Seri.....	143

Şekil 6.53 :Amonyagın SHK derişimine üretim süresince etkisi, II. Seri.	144
Şekil 6.54 :Anot sıvısı kalitesi üzerinde amonyak derişiminin etkisi, I. Seri.	145
Şekil 6.55 :Anot sıvısı kalitesi üzerinde amonyak derişiminin etkisi, II. Seri.	145
Şekil 6.56 :Oda şartlarında bekletilen anot sıvısında toplam klor derişimi.	147
Şekil 6.57 :Karanlıkta bekletilen anot sıvısında toplam klor derişimi.	147
Şekil 6.58 :Oda şartlarında bekletilen anot sıvısında serbest hazır klor derişimi. ..	147
Şekil 6.59 :Karanlıkta bekletilen anot sıvısında serbest hazır klor derişimi.	149
Şekil 6.60 :Anot sıvısında uzun süreli toplam ve serbest hazır klor derişimi; Elektrolit: DS (%18).	149
Şekil 6.61 :Anot sıvısında uzun süreli toplam ve serbest hazır klor derişimi; Elektrolit: DS (%30).	150
Şekil 6.62 :Anot sıvısında kısa süreli toplam ve serbest hazır klor derişimi.	150
Şekil 6.63 :Anot sıvısında zaman dilimine göre toplam ve serbest hazır klor derişimi derişimi	150
Şekil 6.64 :UV-C radyasyonuna maruz kalan anot sıvılarında TK derişimi.	153
Şekil 6.65 :UV-A radyasyonunun deniz suyu ile üretilen anot sıvısının derişimine etkisi.	154
Şekil 6.66 :Farklı sulara eklenen anot sıvısında SHK derişimi (T: 20°C).	156
Şekil 6.67 :Farklı sulara eklenen anot sıvısında SHK derişimi (T: 8°C).	156
Şekil 6.68 :Anot sıvısının deniz suyunda bozunması; Tuzluluk: %18.	158
Şekil 6.69 :Anot sıvısının deniz suyunda bozunması; Tuzluluk: %30.	158
Şekil 6.70 :BaWaPla Pilot Sistemi: Filtre-UV-Elektrokimyasal Sistem, Blyth, Ağustos 2009.	174
Şekil 6.71 :BaWaPla Pilot Sisteminde kullanılan Tanklar, Blyth, Ağustos 2009. ..	174
Şekil 6.72 :BaWaPla Pilot Sistemi ve Tank Bağlantıları, Blyth, Ağustos 2009.	175
Şekil 6.73 :Aritma sonrası yaşayan <i>A. salina</i> sayısı (BaWaPla, D 5.3'den uyarlanmıştır).	176
Şekil 6.74 :Aritma sonrası yaşayan <i>T. suecica</i> sayısı (BaWaPla, D 5.3'den uyarlanmıştır).	176

BALAST SUYU ARITIMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASI

ÖZET

Deniz taşımacılığında gemilerin maksimum yük ve minimum balast ile seyahat etmesi ticari nedenlerle tercih edilmektedir. Dünya ticaretinin hızı ve çeşitliliği gereği bu her zaman mümkün olmamakta, gemiler seferlerinin çoğunu balast koşulunda gerçekleştirmektedir. Bu durum yılda yaklaşık 12 milyar ton balast suyunun yer değiştirmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla balast tanklarında herhangi bir anda binlerce farklı tür biyo-coğrafik bölgeler arasında yer değiştirmektedir. Bu türler mikroskobik canlılardan, balast suyu girişi ve pompadan geçebilecek boyuttaki her türlü canlıya kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır. Söz konusu canlıların çok küçük bir yüzdesi balast suyu gemilere alınırken, gemilerden boşaltılırken ve de balast tankında seyahat süresince meydana çıkan fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak zor koşullara dayanabilmektedir. Ancak dayanıklı olabilecek tek tür bile eriştiği ekosisteme ciddi zararlar verebilmektedir.

Zararlı sucul organizmalar olarak da nitelendirilen bu yabancı türler girdikleri yeni ortamda varlıklarını devam ettirebildikleri takdirde gerek besin zincirini etkileyerek, gerekse buradaki bazı türleri beslenme için kullanarak çoğalmakta, buradaki yerli türlerin varlığını tehdit edip bu bölgeleri istila edebilmektedirler. Bu organizmalar balıkçılık bölgelerini bozarak ve de sahil endüstrilerinde biyolojik çökelti oluşturarak, kıyı ekonomilerini tehdit edebilmektedirler. Çevresel ve ekonomik zararlara neden olan istilacı türlerin yanı sıra, insan sağlığını tehdit eden *Vibrio cholerae* ve *E. coli* gibi birçok bakteriyel ve viral patojen de balast suları ile taşınabilmektedir. Bu türlerin etkileri ve zararları petrol gibi diğer kirleticilerin aksine, geçen zamanla birlikte artmakta, geri dönülmez boyutlara doğru ilerlemektedir.

Balast tanklarında taşınan yabancı türler dünya gemi inşa endüstrisinin küresel boyuttaki en önemli çevresel problemidir. Kirlenme ile en iyi mücadele yönteminin, kirlenmenin engellenmesi olduğu açıktır. Bu nedenle gemi balast sularının ve sedimanının neden olacağı problemleri en aza indirmek için yeni inşa veya mevcut gemilere dahil edilecek sistemlerin en kısa zamanda geliştirilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün üye ülkelerin imzasına açtığı "Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi Sözleşmesi" de yürürlüğe girdikten sonra zorunluluk haline gelecektir.

Türkiye coğrafi konumu nedeni ile balast sularıyla taşınan zararlı sucul organizmaların etkisine en açık ülkelerden birisidir. Türk deniz alanlarına yıllık ortalama 23 milyon ton balast suyu taşındığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle Türkiye'nin Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi Sözleşmesi'ni 2011 senesinde imzalaması için karar verilmiş olup, bu yönde gerekli süreç başlatılmıştır. Sözleşmenin yürürlüğe girmesi ile yaklaşık 900 Türk Bayraklı gemiye arıtım cihazı takma zorunluluğu gelecektir. Balast suyu ve tanklarda biriken

sedimanın neden olduğu çevresel zararların yanı sıra, Türk denizcilik sektörüne getireceği yasal yükümlölükler ve ekonomik maliyetlerin göz ardı edilmesi mümkün değildir. Sonuç olarak bu konuda yapılacak çalışmalar Deniz Teknolojisi ve Gemi İnşa sektörü için büyük önem arz etmektedir.

Tanımlanan sorunsala yönelik çözümler arayan bu doktora çalışması, Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı tarafından desteklenen 031529 kontrat numaralı araştırma projesi olan BaWaPla-Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi (*Sustainable Ballast Water Management Plant*) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje ile UV ve filtre gibi bilinen balast suyu arıtımı teknolojilerinin yanı sıra, deniz suyunun elektrolizini gerçekleştirecek yeni bir elektrokimyasal teknolojinin de dahil olduğu karma bir balast suyu arıtma sisteminin hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. Bu karma sistem içindeki her bir bileşenin IMO ve MEPC tarafından işaret edilen farklı biyolojik hedeflerin etkisizleştirilmesinde görev alması amaçlanmıştır. Ancak proje süresince yapılan çalışmalar başlangıçta planlanan üçlü karma sistem (filtre + UV + elektrokimyasal) yerine iki farklı ikili karma sistemin (filtre + UV ve filtre + elektrokimyasal) gerekli verimi sağlayabileceğini göstermiştir. Bu doktora çalışması da BaWaPla Projesi sonunda hayata geçirilen filtre ve elektrokimyasal teknolojilerin bir arada kullanıldığı ikili sistemde, deniz suyunun elektrolizi ile dezenfektan üretimini sağlayacak elektrokimyasal hücrelerin geliştirilme ve optimizasyon aşamasındaki laboratuvar çalışmalarını kapsamaktadır. Bununla birlikte, Türkiye’de balast suyu problemi ve bu problemin çözümüne yönelik gerçekleştirilen çalışmaların ilklerinden olması nedeniyle, yazım esnasında sadece laboratuvar çalışmaları ile sınırlı kalınmamıştır. Mevcut balast suyu arıtımı yöntemleri irdelenmiş; konunun gemi sanayini ilgilendiren deniz kirliliği ile ilgili olan kısımları, ulular arası anlaşmaları da kapsayan çok yönlü bir yaklaşımla ele alınarak doktora çalışması tamamlanmıştır

ELECTROCHEMICAL CELL APPLICATION FOR BALLAST WATER TREATMENT

SUMMARY

Ships are preferred to travel with maximum cargo and minimum ballast for commercial reasons. However this may not generally be possible due to the variety of the world trade, as ships perform most of their cruises at ballast condition. This fact leads to translocation of 12 billion tons of ballast water annually and at any given moment; thousands of various species are also translocated among biogeographical regions via ballast tanks. These species extends from microscopic organisms to the larger ones such as those that can pass through ballast intake and ballast pumps. A small proportion of these organisms can survive despite the physically, chemically and biologically harsh conditions that occur during ballast intake, ballast discharge and journey at ballast tanks. However, even one species that survives may damage the new ecosystem.

Once these exotic species, which are also referred as harmful aquatic organisms, survive, they invade the new regions and threaten the native species either by changing the food chain or by feeding on some local species as well. These organisms may also threaten the coastal economies by disruption of fisheries and fouling on coastal industries. Besides the invasive species that cause environmental and economical hazards, various bacterial and viral pathogens threatening human health such as *Vibrio cholerae* and *E. coli*, can be transported by ballast water. The effects and hazards of these species increase by time and move on to irreversible levels contrary to other pollutants such as petroleum.

The exotic species transported in ballast tanks are the most important environmental problem of ship industry at global level. It is obvious that the best method to fight against pollution is prevention of the pollution before it gets hazardous. Consequently, the technologies that will be adapted to both existing and new built ships should be developed immediately to minimize problems caused by the ballast water and sediment. This will also be an obligation after the implementation of “International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments” which has already been opened to the signature of the member states by International Maritime Organization.

Turkey is one of the countries vulnerable to effects of harmful aquatic organisms transported by ballast water, because of its geographic location. It is estimated that 23 billion tons of ballast water is carried to Turkish maritime areas. Eventually, it is resolved that Turkey will sign the “Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments” in 2011 and the procedures are already initiated. Once the convention comes into force, approximately 900 Turkish flagged ships will be obliged to adapt ballast water treatment equipments. It is not possible to disregard the economic and legal liabilities that Turkish maritime sector will face in addition to the environmental hazard to be caused by ballast water and the sediments in ballast

tanks. As a result there is a need of further studies particularly on this matter that proves to be extremely important for Marine Technology and Naval Architecture Industry.

This dissertation moves on from this need and is achieved within in the scope of BaWaPla - *Sustainable Ballast Water Management Plant* Project founded by European Union 6th Framework Programme with the contract number 031529. The implementation of a hybrid ballast water treatment system including an innovative electrochemical technology for seawater electrolysis, besides the known technologies as filter and UV is targeted within the Project. Each individual treatment system is aimed to contribute to a particular biological target set out at IMO and MEPC. However, the works during the Project have shown that two different dual hybrid systems (filter+UV and filter+electrochemical) would be efficient instead of the ternary hybrid system (filter+UV+ electrochemical). This doctoral study comprises the laboratory works performed during development and optimization stages of new electrochemical cells those produce disinfectant by seawater electrolysis and took part in the dual hybrid system consist filter and electrochemical technology which is implemented at the end of BaWaPla Project. However typing stage is not limited to only laboratory works, since this dissertation is one of the first studies in Turkey that addresses ballast water problem with a quest of finding solution. The dissertation is completed with the examination of existing ballast water treatment techniques; discussing the environmental aspects of the subjects including international conventions that is related to marine industry with multi-directional approach.

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren gelişen teknolojiyle birlikte ülkeler ve kıtalararası mesafeler kısaltmakta, ulaşımın önemi gittikçe artmaktadır. Denizaşırı taşımacılıkta daha ucuz olması nedeni ile tercih edilen deniz ulaşımı ise bir yandan gelişirken diğer yandan birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların başında balast tanklarında taşınan yabancı türlerin neden olduğu çevre, ekonomi ve sağlık problemleri gelmektedir. Bununla birlikte içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli hedeflerinden birisi olan sürdürülebilir gelişmenin, toplumların yaşam kalitesini artırırken doğal sistemlerin korunmasını gerektirdiği göz ardı edilmemelidir.

Yabancı türlerin gemilerde balast ile taşındığına dair bulgular, kuru balastın kullanıldığı 17. yüzyılın başlarında Avrupa'dan Kuzey Amerika'ya yapılan seyahatlere kadar uzanmakla birlikte, balast olarak büyük hacimlerde deniz suyunun kullanılmaya başlanması ile gemiler yabancı türlerin taşınmasında oldukça önemli bir yer almaya başlamıştır (Carlton, 1979). Ticari nedenlerle gemilerin maksimum yük ve minimum balast ile seyahat etmesi tercih edilmekle birlikte bu her zaman mümkün olamamakta, gemiler birçok seferini balast koşulunda gerçekleştirmektedir. Boş geminin dengesini güvenilir hale getirmek, ya da tam verim alabilmek amacıyla pervaneyi iyice suya gömmek için gemiye alınan ağırlıkları tanımlamak için kullanılan bir terim olan balast (Akdoğan, 1975), etimolojik olarak da Orta Flemenkçe'de "nafile yük" anlamına gelmektedir (National Research Council, 1996). Ancak balast, geçmişte olduğu gibi günümüz gemi inşa teknolojisinde de gemilerin güvenli seyri için vazgeçilmezdir. Bunun sonucunda gemiler, ticari ürünlerin yanı sıra, yılda yaklaşık olarak 12 milyar ton balast suyu taşımaktadır ve balast suları ile herhangi bir anda tüm dünyada biyo-coğrafik bölgeler arasında taşınan farklı tür sayısı 10.000'i bulmaktadır (Bax, ve diğ., 2003). Girdikleri ortamda canlı kalıp yaşamlarının devamlarını sağlayabilen tür sayısı, ortama taşınan toplam canlı tür sayısının sadece %3 gibi küçük bir oranı olmasına rağmen bir tek tür bile yeni ekosisteme ciddi zararlar verebilmektedir (IMO 1999). Günümüzde yük ve yakıt

sistemlerinden tümüyle ayrılmış, sadece balast taşınmasına yarayan “ayırılmış balast tanklarının” (SBT-segregated ballast tanks) kullanılması nedeniyle, balast tankları geçmişe göre daha temizdir. Buna ilaveten gemi hızlarının artması ve varış limanlarındaki çevresel şartların iyileşmesi nedeni ile balast suları ile taşınan canlıların hem tank ortamında hem de boşaltma limanlarında varlıklarını sürdürebilme şansı ve buna bağlı olarak yeni ortamlara giren yabancı tür sayısı hızla artmaktadır.

Biyolojik istila, farklı bölgelere özgü olan bazı türlerin, bu bölgelerden herhangi bir şekilde başka yerlere taşınıp, yeni bölgede yerleşmeleri, çoğalmaları ve yerleştikleri bu yeni bölgeyi değiştirmeleri veya bozmaları olarak tanımlanabilir. Bu durum biyolojik kirlenme olarak da adlandırılabilir. Potansiyel istilacı türlerin yeni ortamlara taşınması çevre, ekonomi ve insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. İstilacı türler balıkçılık bölgelerini bozup, sahil endüstrilerinde biyolojik çökelti (*fouling*) oluşturarak kıyı ekonomilerini tehdit ederken, *Vibrio cholerae* ve *E. coli* gibi mikrobiyal organizmaların taşınmasına da neden olan balast suları, halk sağlığı açısından da tehlikeler arz edebilmektedir. Tüm bunların sonucunda yabancı türlerin küresel ekonomiye maliyeti yılda on milyarlarca Avro’yu bulmaktadır (Raaymakers, 2004).

Diğer yandan son yıllarda balast sularının neden olduğu biyolojik kirlenmenin boyutlarının ve sonuçlarının fark edilmesiyle bu konu bilim dünyasının, hükümetlerin ve kamuoyunun gündemine taşınmıştır. Yine de tüm dünyada petrol ve yağ gibi alışılmış kirleticilerle mücadele için gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde birçok yasal düzenleme yapılmış olmasına rağmen, istilacı türlerin yayılmasını önlemek için henüz çok az şey yapılabilmektedir. Petrol ve yağ gibi kirleticilerin çevreye verdiği zarar zaman ve mekân ile kısıtlıdır, ancak istilacı yabancı türler için bu tam tersidir. İstilacı türlerin etkilerini genelde çıplak gözle görmek mümkün olmasa da, diğer kirleticilerin aksine, bu türlerin etkilerinin zamanla azalmak yerine artarak geri dönülmez boyutlara ulaşabileceği bilinmektedir. Balast tanklarında taşınan yabancı türler dünya gemi inşa endüstrisinin küresel boyuttaki en önemli çevresel problemidir. Kirlenme ile en iyi mücadele yönteminin kirlenmenin engellenmesi olduğu açıktır. Bu nedenle gemi balast sularının ve sedimanının neden olacağı problemleri en aza indirmek için yeni inşa veya mevcut gemilere dâhil edilecek sistemlerin en kısa zamanda geliştirilmesi gerekmektedir. Bu

gereklilik Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün üye ülkelerin imzasına açtığı “Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi Sözleşmesi” de yürürlüğe girdikten sonra zorunluluk haline gelecektir.

Yabancı türlerin balast tanklarında taşınması bilim dünyasının dikkatini 1970'lerden itibaren çekmektedir (Medcof, 1975; Carlton, 1979). Bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar 1990'ların sonlarına kadar istilacı türlerin taşınması ve geldikleri yeni ortamlara verdikleri zararların araştırılması üzerine yoğunlaşırken 2000'lerin başından itibaren ise bu problemle mücadele yöntemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Türkiye coğrafi konumu nedeni ile balast sularıyla taşınan zararlı sucul organizmaların ve patojenlerin etkisine en açık ülkelerden birisidir. Hazar petrollerinin batı pazarlarına sunulması esnasında gemiler Karadeniz'den diğer denizlere doğru petrol taşımacılığı gerçekleştirirken, Karadeniz'e yüksüz olarak dönmekte ve yükleme öncesinde de balast sularını Karadeniz sularına deşarj etmektedirler. Bu esnada dünyanın farklı bölgelerinden Karadeniz'e binlerce tür taşınabilmektedir. Elbette bu türlerin tamamı bu bölgede varlıklarını sürdürememektedir ancak bir tek türün bile geri dönülmesi imkânsız istenmeyen bazı sonuçlara yol açabileceği göz ardı edilmemelidir. Bunun en somut örneği 1980'lerin başında Karadeniz'e NW Atlantik gemisinin balast suyu ile geldiği düşünülen taraklı denizanası türü olan *Mnemiopsis leidyi* ile görülmüştür. Bu tür kuzeyde Azak Denizi'ne güneyde önce Marmara Denizi'ne ve oradan da Ege Denizi'ne yayılmış, 1999'da ise Hazar Denizi'ne ulaşmıştır (Occhipinti-Ambrogi ve Savini, 2003). Bu türün bu bölgeye gelmesi Karadeniz ve Azak Denizi'ndeki balıkçılığa büyük darbe vurmuş hamsi sayısındaki azalma nedeni ile Türkiye'nin Karadeniz kıyıları bu türden en çok etkilenen bölge olmuştur (Knowler, 2005). Gemilerin dönüş güzergâhının son noktası olan Karadeniz Kıyıları ayrıca Türk Boğazlar Sistemi ile Ege Denizi'ne dolayısı ile Akdeniz'e de bağlanmaktadır. Bu durum açıkça ortaya koymaktadır ki Türk deniz alanları, balast sularıyla taşınan zararlı sucul organizmalardan ve patojenlerden en çok etkilenecek alanlar arasındadır. Bununla birlikte balast suyu ve sedimanı ile taşınan yabancı türler ile ilgili olarak uluslararası literatürde çeşitli çalışmalar bulunmasına rağmen bu konuda Türkiye'de yapılan bilimsel çalışmalar oldukça yetersizdir. Balast suyu ve tanklarda biriken sedimanın neden oldukları çevresel zararların yanı sıra, Türk denizcilik sektörüne getireceği yasal yükümlülükler ve ekonomik maliyetlerin göz ardı edilmesi mümkün değildir. Sonuç

olarak bu konuda yapılacak çalışmalar Deniz Teknolojisi ve Gemi İnşa sektörü için büyük önem arz edecektir.

İTÜ Gemi İnşa ve Deniz Bilimleri Fakültesi, deniz teknolojisi ve gemi inşaatı, deniz biyolojisi ve kimyası, makine ve üretim mühendisliği ve denizcilik endüstrisinden birçok uzmanın yer aldığı bir Avrupa Birliği 6. Çerçeve Projesi olan BaWaPla - Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi (*Sustainable Ballast Water Management Plant*) Projesi'ne ortak olmuştur. BaWaPla projesi ile balast suyu arıtımı için filtre, UV ve elektroliz tekniklerinin birlikte kullanıldığı otomatik kontrol mekanizmasına sahip bir sistem geliştirilmiştir. Bu proje ile geliştirilen sistemin gerek çevresel ve ekonomik açıdan, gerekse deniz teknolojisi ve gemi inşaatı sektörünce uygulanabilir olması hedeflenmiştir. Bu doktora çalışmasının deneysel kısmı BaWaPla Projesi kapsamında geliştirilen karma sistemin önemli bir bileşeni olan ve gemi üzerinde elektrokimyasal yöntemlerle deniz suyundan hazır klor elde edilmesine uygun elektrokimyasal hücrelerin geliştirilme ve optimizasyon aşamasındaki laboratuvar çalışmalarını kapsamaktadır. Bu araştırma, Türkiye'de balast suyu problemi ve bu problemin çözümüne yönelik gerçekleştirilen çalışmaların ilklerinden olması nedeniyle yazım esnasında sadece laboratuvar sonuçlarının değerlendirilmesi ile sınırlı kalmamıştır. Konunun gemi sanayini ilgilendiren deniz kirliliği ile ilgili olan kısımları uluslar arası anlaşmaları da kapsayan çok yönlü bir yaklaşımla değerlendirilip tamamlanmıştır.

Çalışma toplam 7 bölümden meydana gelmektedir. Balast suyu yönetiminin gerekliliğinin ortaya konulması hedeflenen ikinci bölümde öncelikli olarak balast sularının ve sedimanının neden olduğu problemin boyutları anlatılmıştır. Daha sonra balast suları ve sedimanı ile taşınan zararlıların önlenmesi ile ilişkili bazı uluslararası hareketler ve düzenlemelere yer verilmiştir. Sonuç olarak bu bölümde söz konusu probleme yönelik geliştirilecek çözümlerin, gemi inşa sektörünce sadece çevresel bir sorumluluk değil yasal bir zorunluluk olacağının da altı çizilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde gemi üzerinde balast suyu yönetimi için mevcut yaklaşımlar detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Balast suyu arıtımı için önerilen yöntemler mekanik yöntemler, fiziksel yöntemler ve kimyasal yöntemler olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflara dâhil olmayan veya aynı anda birkaçına birden dahil olabilecek yöntemler ise "Diğer yöntemler" başlığı altında incelenmiştir.

Dördüncü bölümde doktora çalışmasının ana konusu olan balast suyu arıtımında elektrokimyasal hücre uygulaması ile ilgili elektrokimyasal ve kimyasal kavramlara yer verilmiştir.

Çalışmanın beşinci ve altıncı bölümleri BaWaPla Projesi kapsamında geliştirilecek karma sistemin önemli bir bileşeni olan ve gemi üzerinde elektrokimyasal yöntemlerle deniz suyundan hazır klor elde edilmesine uygun elektrokimyasal hücrelerin geliştirilme aşamasındaki laboratuvar çalışmalarını ve bunların sonuçlarını kapsamaktadır. Deneyler proje ortaklarından LVPG International GmbH (Almanya) tarafından sağlanan sistem ve FumaTech GmbH'den (Almanya) temin edilen elektrokimyasal hücreler kullanılarak İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi İlham Artüz Deniz Bilimleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır. BaWaPla Projesinde elektrokimyasal sistemin temel hedefi deniz suyundan kalıcı olmayan aktif maddeler içeren dezenfektan sıvı elde edilerek balast suyunun dezenfeksiyonunun sağlanmasıdır. Bu sayede zararlı ve korozyon maddelerin gemi üzerinde taşınması esnasında karşılaşılabilecek sorunlar ortadan kalkacaktır. Ayrıca aktif maddelerin deniz suyundan elde edilmesi, diğer kimyasal yöntemlere göre çok daha ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Bununla birlikte kullanılacak olan elektroliz hücrelerinin performansı ve üretilen dezenfektanın kimyasal içeriği gerek elektroliz hücresinin tasarımına gerekse elektroliz edilecek deniz suyunun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin deniz suyunun elektroliz hücre içerisinde izleyeceği yol, anot ve katot bölmelerini ayırmak için kullanılacak membranın yapısı, elektrotların kaplaması için kullanılacak malzeme seçimi gibi hücre tasarımı ile ilgili değişkenler dezenfektan sıvı üretim hızı ve dezenfektanın kimyasal içeriğinin optimizasyonunda mutlaka göz önünde bulundurulması gereken değişkenlerdir. Bu doktora çalışmasında öncelikli olarak tasarımları farklı beş elektroliz hücresinin performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra deniz suyunun sıcaklığı, sertliği ve içerdiği amonyak derişimi gibi hücre dışı etmenlerin elektroliz hücre performansına etkisi belirlenmiştir. Ardından elektroliz hücreler ile üretilen dezenfektan anot sıvısının zamanla farklı koşullarda değişimi saptanmıştır. Son olarak da elektroliz hücreler ile üretilen dezenfektan anot sıvısının biyolojik etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik bazı deneyler gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarının sonuçları altıncı bölümde değerlendirilirken, bu sonuçlar ışığında BaWaPla projesi için tasarlanan elektroliz hücrelerinin de yer aldığı büyük

ölçekli BaWaPla pilot sistemi testlerine de bu bölümün sonunda yer verilmiştir. Söz konusu testler Ağustos 2009’da Blyth-İngiltere’de gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın yedinci bölümünde öncelikle doktora çalışması süresince elde edilen sonuçlar ve bilgiler kısaca özetlenmiştir. Daha sonra çalışma sonucunda hayata geçirilen elektrokimyasal hücrenin de yer aldığı BaWaPla sisteminde geline durum değerlendirilerek ileriye dönük öneriler yer almıştır.

2. BALAST SULARI İLE TAŞINAN YABANCI TÜRLER VE BUNLARIN ÖNLENMESİNE İLİŞKİN DÜZENLEMELER

2.1 Balast Suları ve Yabancı İstilacı Türler

Dünya ticaretinin yaklaşık %80'i gemilerle gerçekleşmektedir, bununla birlikte birçok durumda seyahatlerin yarısı kargo eksikliğini dengelemek için balast koşulunda geçmektedir. Ticari nedenlerle gemilerin maksimum yük ve minimum balast ile seyahat etmesi tercih edilir ancak bu her zaman mümkün olmamaktadır. Optimal balast durumu gemilerin güvenlik ve performans koşullarına bağlıdır. Gemilerin balast durumu, ne zaman ve ne kadar su alınacağı/boşaltılacağı dâhil olmak üzere, koşullara bağlı olarak gemi adamları tarafından belirlenir. Bu belirlemede gereken uygun trim ve stabilitenin sağlanabilmesi için gemiye has işletim ihtiyaçlarıyla birlikte ulusal ve uluslararası zorunluluklar belirleyicidir. Ancak balast suyu kapasitesi kargo kapasitesinin bir fonksiyonu olarak değişmektedir ve genellikle, söz konusu gemiye bağlı olarak, %25–40 DWT civarındadır (Endresen ve diğ., 2003).

Biyolojik istila, farklı bölgelere özgü olan bazı türlerin, bu bölgelerden herhangi bir şekilde başka yerlere taşınıp, bu yeni bölgede yerleşmeleri, çoğalmaları ve yerleştikleri bu yeni bölgeyi değiştirmeleri veya bozmaları olarak tanımlanabilir. Tüm dünyada birçok yabancı canlı türü insan aktiviteleri nedeni ile istemli veya istem dışı olarak yeni ortamlara girmektedir, ancak istilacı türler okyanuslar için insan kaynaklı en önemli tehditler arasındadır (Gollasch, 2006). Aslında yabancı türlerin yeni ortamlara girmesi 1800'lerden bu yana üstel bir artış göstermesine rağmen (Endresen ve diğ., 2004), 1980'lerde Avrupa kökenli zebra midyesinin Amerika'da Büyük Göller bölgesinde, Japonya kökenli zehirli bir deniz yosunu türü olan *dinoflagellate* in Avustralya'da, Amerika'nın doğu kıyılarından gelen etobur bir taraklı denizanası türü olan *Mnemiopsis leidyi*'nin Karadeniz'de bulunması ve bu türlerin yeni geldikleri bu bölgelerde son derece kritik ekonomi, sağlık ve ekoloji problemlerine yol açtığı keşfedilmesi ile bilim dünyasının, hükümetlerin ve kamuoyunun dikkati bu eski olgu üzerinde yoğunlaşmıştır (National Research

Council, 1996). Gemilerin güvenli olarak seyretmeleri için gerekli olan kuru balast veya balast sularının bu türlerin istem dışı taşınmalarına sebep olduğu 1970'lerden bu yana bilinmektedir (Medcof, 1975; Carlton, 1979). Bununla birlikte günümüzde kuru balast kullanımı yerini balast sularına bırakmıştır ve balast suları birçok araştırmacı tarafından istilacı türlerin taşınmasında en önemli vektör olarak kabul edilmektedir (Lavoie ve diğ., 1999; Olenin ve diğ.,2000; Occhipint-Ambrogi, 2003; Raaymakers, 2002a-2002b; Gollasch 2006). Avrupa'daki navigasyonel ve komşu sularda tespit edilen yabancı türlerin %38,8'inin (%22,3'ü balast suları ve % 16,5'i tekne yüzeyi ile (*fouling*) olmak üzere) gemicilik nedeni bu bölgelere geldiği belirlenmiştir ve balast sularının doğal göçün neden olduğu yer değiştirmenin (%24,5) ardından, bu sularda yabancı türlerin taşınmasında en önemli neden olduğu gözlemlenmiştir (Gollasch, 2006).

Dünya ticareti gereği her yıl yaklaşık olarak 12 milyar ton balast suyu yer değiştirirken (Bax ve diğ., 2003) sadece balast suları ile herhangi bir anda tüm dünyada biyo-coğrafik bölgeler arasında taşınan farklı tür sayısı 7000-10.000'i bulmakta, hatta geçebilmektedir (Raaymakers, 2002a). Bu türler bakteriler ve diğer mikroskobik canlıları, küçük omurgasızları, mikro-algleri, sporları, tohumları, çeşitli bitkilerin ve hayvanların kistlerini ve larvalarını içeren geniş bir yelpazede yer alan, balast suyu girişi ve pompadan geçebilecek kadar küçük her türlü canlıyı içermektedir (Raaymakers, 2002b). Bununla beraber bu türlerin çok az bir kısmı, ayrılmış balast tankları (SBT) kullanılıyor olmasına rağmen, tanklarda süren uzun yolculukların sonunda karanlık ve kötü tank koşullarında yaşamını sürdürebilmektedir. Bu türlerden dayanıklı olanları balast suyu gemilere alınırken veya gemilerden boşaltılırken ve de balast tankında seyahat süresince meydana çıkan fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak zor koşullara rağmen canlı kalıp yeni ortamlarda varlıklarını devam ettirebilmektedir (Raaymakers, 2002b; Bailey ve diğ., 2005; Lewis ve diğ.,2003) hatta nadiren de olsa bazı istilacı organizmaların sayısında balast seferi esnasında artış da olabilmektedir (Wonham ve diğ., 2001). Aslında girdikleri ortamda canlı kalıp devamlarını sağlayabilen tür sayısı, ortama taşınan toplam canlı tür sayısının sadece %3 gibi küçük bir oranı olmasına rağmen bir tek tür bile yeni ekosisteme ciddi zararlar verebilmektedir (IMO 1999). Canlıların yeni bir ortamda yerleşebilmesinde belirleyici olan faktörlerden en önemlileri, bu yeni bölgede doğal düşmanlarının olmaması veya azlığı, canlının geniş bir dağılım

yeteneğine sahip olması, uygun ve boş ekolojik nişlerin bulunmasıdır (Cirik ve Akçalı, 2002). Ayrıca bu türlerin yeni ortamda varlıklarını sürdürebilmesi büyük oranda verici ve alıcı bölgeler arasındaki fiziksel ve kimyasal farklılığa bağlıdır, bu farklılık ne kadar büyükse taşınan canlıların yaşamlarını sürdürme olasılığı düşüktür, ancak asla sıfır değildir (National Research Council, 1996). Yabancı türler girdikleri yeni ortamda varlıklarını devam ettirebildikleri takdirde gerek besin zincirini etkileyerek, gerekse buradaki bazı türleri beslenme için kullanarak çoğalmakta, buradaki yerli türlerin varlığını tehdit edip bu bölgeleri istila etmektedirler. Günümüzde balast tanklarının görece olarak daha temiz olması, gemi hızlarının artması ve varış limanlarındaki çevresel şartların iyileşmesi nedeni ile balast suları ile taşınan canlıların hem tank ortamında hem de boşaltma limanlarında varlıklarını sürdürebilme şansı ve buna bağlı olarak yeni ortamlara giren yabancı tür sayısı hızla artmaktadır.

Balast suları ile taşınan organizmalar son 30 yılda dünyanın farklı bölgelerinde farklı birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmaların sonuçları problemin küresel boyutunu ve önemini ortaya koymaktadır. Örneğin, Kuzey Amerika’da tespit edilmiş olan 300 farklı yabancı türün %80 gibi büyük bir oranının balast suyu ve tekne yüzeyine tutunarak gelen organizmalar olduğu düşünülmektedir (McGee ve diğ., 2006). Chu ve diğ. (1997) tarafından 5 konteyner gemisinden alınan balast suyu örnekleri, Hong Kong kıyılarındaki biyolojik istilanın en önemli sebebinin balast suları olduğunu göstermektedir. Baltık denizinde görülen yabancı türlerin buralar taşınmasında en önemli sebebin gemiler olduğu, balast sularını ile taşınan tür sayısının (105), tekne yüzeyi ile taşınan tür sayısından sonra ikinci sırada olduğu belirlenmiştir (119) (Leppäkoski ve Gollasch, 2006). Subba Rao (2005), Hindistan kıyılarında görülen bazı patojen türlerin ve alg patlamalarının balast suları ile ilişkilendirmektedir. A.B.D ve Kanada sınırındaki Büyük Göller Bölgesi’nde tespit edilen yüksek riskli türlerin 26’sının buraya kıtalar arası yolculuklarda balast suları ile gelmiş olduğu tahmin edilmektedir ve bu türlerin 10 tanesi bu bölgeyi istila etmiş durumdadır (Grigorovich ve diğ., 2003). Yabancı tür girişinin en çok görüldüğü bölgelerden biri olan A.B.D-San Francisco Körfezi’ne her 12-14 haftada yeni bir türün geldiği düşünülmektedir (Vitousek ve diğ., 1997; Falkner ve diğ., 2007). Bu Körfez’deki yabancı türler birçok çalışmaya konu olmuştur ve bu türlerin oldukça

önemli bir kısmının balast suları ve diğer gemi kökenli sebeplerle buraya geldiği belirlenmiştir (Cohen, 1996; Tzankova, 2007).

Türkiye coğrafi konumu nedeni ile balast sularıyla taşınan zararlı sucul organizmaların etkisine en açık ülkelerden birisidir. Türk deniz alanlarına yıllık ortalama 23 milyon ton balast suyu taşındığı tahmin edilmektedir ve bu taşınımın 10 milyonu sadece İstanbul Bölge Müdürlüğü altında yer alan limanlara gerçekleşmektedir (Olgun ve diğ., 2009). Göktürk (2005) İstanbul Haydarpaşa Limanına gelen 7 gemiden aldığı balast suyu örneklerinde 6 sınıfa ait 15 zooplankton ve 6 sınıfa ait 61 fitoplankton türü belirlemiştir. Bu fitoplankton türlerinin altısı zararlı ve toksik özelliğe sahip riskli türlerdir. Katil yosun olarak da bilinen *Caulerpa taxifolia*'ya Türkiye Kıyılarında ilk olarak İskenderun Körfezi'nde rastlanması bu türün de balast suları ile gelme olasılığını düşündürmektedir (Cevik ve diğ., 2007).

2.2 Balast Suları ve Balast Sedimanı ile Taşınan Yabancı Türlerin Etkileri

Denizel ortam içerisinde yabancı türler genellikle en fazla liman, marina ve akvakültür yapılan bölgelerde yani daha çok insan aktivitesinin yoğun olduğu alanlarda bulunurlar. Bu türler yeni habitatlarına yerleştikten sonra, çevre üzerinde potansiyel tehdit oluştururlar, orada yaşayan yerel türlerle rekabet ederek üstün gelebilirler ve bazen yeni çevrelerini tamamen ele geçirirler. Potansiyel istilacı türlerin balast suları ve sedimanı ile yeni ortamlara taşınması çevre, ekonomi ve insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu türlerin küresel ekonomiye maliyeti, balıkçılı bölgelerini bozup, sahil endüstrilerinde biyolojik çökelti (*fouling*) oluşturarak, kıyı ekonomilerine ve hatta halk sağlığını tehdit edebilecek hale gelmesiyle, yılda on milyarlarca Avro'yu (Raaymakers, 2002b- 2004) bulmaktadır. Buna ek olarak istila edilen bu bölgeler, istilacı türlerin yeni yerlere taşınmasında önemli bir merkez haline gelmektedir (Lavoie ve diğ., 1999; Falkner ve diğ., 2007).

Bir tür yeni bir bölgeye yerleştikten sonra istilacı hale gelirse bölge ekolojisinde önemli değişiklikler meydana gelir: bu türler yerel türlerle yaşam alanı ve yemek için mücadele ederler; yerel türleri besin kaynağı olarak kullanırlar; yerel türler üzerinde parazit olarak yaşayabilirler; yerel türlerin melezleşmesine neden olabilirler; habitatı değiştirirler; suyun berraklığı ve hidrolik rejim, kimyasal rejim gibi çevresel koşulları değiştirirler; ekosistemdeki besin ağını değiştirirler ve yerel türlerin yerini alarak doğal biyo-çeşitliliğin azalmasına neden olurlar (Nichols, 2001; Lee ve Gordon,

2006; Raaymakers, 2002b). Örneğin 1980'lerin başında Karadeniz'e NW Atlantik gemisinin balast suyu ile geldiği düşünülen taraklı denizanası türü olan *Mnemiopsis leidyi*, kuzeyde Azak Denizi'ne güneyde önce Marmara Denizi'ne ve oradan da Ege Denizi'ne yayılmış, 1999'da ise Hazar Denizi'ne ulaşmıştır (Occhipinti-Ambrogi ve Savini, 2003). Bu türün Karadeniz'deki yoğunluğu m^2 'de 1 kg biyokütleyle kadar yükselmiştir ve bunun sonucunda yerel plankton stoğunda büyük düşüş meydana gelmiştir (Raaymakers, 2002b). Sonuç olarak bu türün bu bölgeye gelmesi Karadeniz ve Azak Denizi'ndeki balıkçılığa büyük darbe vurmuştur (Raaymakers, 2002b; Bax ve diğ., 2003; Knowler, 2005; Occhipinti-Ambrogi ve Savini, 2003) ve hamsi sayısındaki azalma nedeni ile Türkiye'nin Karadeniz kıyıları bu türden en çok etkilenen bölge olmuştur (Knowler, 2005).

Balast suları ve sedimanları zararlı yosun patlamalarına (HAB-*Harmful algal bloom*) yol açacak bitkisel planktonların taşınmasında da önemli bir vektördür (Hallegraeff, 1998; Hamer ve diğ., 2000; Olenin ve diğ., 2000; Ma ve diğ., 2009). “Zararlı” terimi deniz kaynakları, ekosistem ve insanlar için olumsuz etki yaratabilecek alg türlerini ifade etmek için kullanılmaktadır (van den Berghl, 2002). Farklı yapı ve zehirlilik derecelerine sahip olan zararlı mikro-alg türleri, balık ve kabuklu deniz hayvanlarını doğrudan etkilerken bunları tüketen insanlarda da cilt alerjisi, solunum bozukluğu, sindirim sistemi rahatsızlıkları gibi birçok hastalığa neden olmaktadır. Bazı alg patlamalarının sebep olduğu renk bozuklukları nedeni ile deniz üzerindeki köpüklenme gibi estetik kayıplar ve meydana çıkan kötü koku nedeni ile turizm zarar görebilmektedir (van den Berghl, 2002).

Çevresel ve ekonomik zararlara neden olan istilacı türlerin yanı sıra, insan sağlığını tehdit eden *Vibrio cholerae* ve *E. coli* gibi birçok bakteriyel ve viral patojen de balast suları ile taşınabilmektedir (McCharty ve Khambaty, 1994; Souders ve Stone, 2000; Ramaiah ve diğ., 2004; Bax., 2003; Joachimsthal, 2004; Mimura ve diğ., 2005; Aguirre-Macedo ve diğ., 2008; Souders ve Stone, 2000). Örneğin, koleraya neden olan *Vibrio cholerae* bakterileri Asya'dan Latin Amerika kıyı sularına büyük bir olasılıkla balast suları ile ulaşmıştır (IMO, 1999).

2.3 Balast Suları ve Sedimanı ile Taşman Zararlıların Önlenmesi ile İlişkili Uluslararası Hareketler ve Düzenlemeler

Yabancı istilacı türler küresel bir sorundur ancak tüm dünyada petrol ve yağ gibi kirleticilerle mücadele için gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde birçok yasal düzenleme yapılmış olmasına rağmen, istilacı türlerin yayılmasını önlemek için henüz çok az şey yapılabilmektedir. Çoğu kirleticinin gözle görülen etkilerine rağmen çevreye verdiği zarar zaman ve mekân ile kısıtlıdır. Ancak istilacı yabancı türler için bu durum tam tersidir. Bu türlerin etkileri ve zararları, doğrudan gözle görülmemesine rağmen, geçen zamanla birlikte insan sağlığına yönelik potansiyel tehditleri de dâhil olmak üzere, artmakta ve geri dönülmez boyutlara doğru ilerlemektedir (Bax ve diğ., 2003). Sonuç olarak denizel istilanın sürdürülebilir gelişime olumsuz etkilerinin kamu ve hükümetler tarafından fark edilmesi, ulusal ve uluslararası ölçekte çeşitli düzenlemelerin geliştirilmesine yol açmıştır (Hewitt ve Campbell, 2007).

Balast suyu yönetimi uluslararası kuralların, gemi ile ilgili teknik çözümlerin ve çevresel faktörlerin bir arada bulunduğu çok yönlü bir meseledir. Ancak problemin boyutları düşünüldüğünde çözmek için küresel kararlılık gerektiği açıktır. Bununla birlikte herhangi bir konuda geniş katılımlı uluslararası bir hareketin oluşması, kuralların belirlenmesi ve bu kuralların uygulanmaya konulması oldukça uzun zaman alan süreçlerdir. Bu nedenle bölgesel ve ülkesel düzeyde gerçekleştirilen işbirlikleri ve alınan önlemlerin önemi yadsınamaz.

Yabancı türlerin transferinin engellenmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik uluslararası çalışmalar uzun senelerden beri devam etmekte, uluslararası politikaların belirlendiği toplantıların bir kısmı, doğrudan veya dolaylı olarak, bu konuyu ilgilendirmektedir. Doktora çalışmasının bu bölümünde etkinlik alanının genişliği nedeni ile uluslararası düzenlemeler ile ilgili olarak Birleşmiş Milletler bünyesinde gerçekleştirilen önemli toplantılara ve alınan kararlara değinilmiştir. Ancak balast suyu ve sedimanının neden olduğu bu problem, Birleşmiş Milletler'in yanı sıra, çeşitli bölgesel işbirlikleri ile de ele alınmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu; 7 Haziran 2006 Tarihinde “Birlik için bir Denizcilik Politikasına doğru: Okyanuslar ve Denizler için bir Avrupa vizyonu” başlığı altında bir “Yeşil Kitap” yayınlamıştır. Bu Yeşil Kitap'ta “Denizel Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı İçin

Deniz Çevresinin Önemi” başlıklı bölümünde balast suyu yönetimi programlarının desteklenmesi gerektiğinin altı çizilmiştir (Avrupa Birliği Komisyonu, 2006). Yeşil Kitap, Avrupa Birliği Komisyonu’nun bir “niyet göstergesi” olup mevcut politikalar açısından uyulması zorunlu bir belge değildir, ancak “Beyaz Kitap” haline dönüşmesi durumunda bağlayıcı olabilmektedir. Avrupa Birliği’nin gelecekteki politikaların oluşumuna basamak teşkil eden en önemli belge olan Yeşil Kitap sürecine balast suyu yönetimi programlarının desteklenmesi gerekliliğinin dâhil edilmesi, Avrupa Birliği Komisyonunun bu probleme verdiği önemin göstergesidir.

2.3.1 Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi

1982 senesinde gerçekleştirilen Üçüncü Deniz Hukuku Konferansı’nda Kabul edilen, ancak 1994’de yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi’nde (UNCLOS-*United Nations Convention on the Law of the Sea*) yer alan bazı maddeler doğrudan veya dolaylı olarak yabancı türlerin taşınmasına yönelik önlemleri gerektirmektedir. Sözleşme bu çalışmada BMDHS olarak anılacaktır.

Sözleşmeye göre taraf Devletler öncelikli olarak BMDHS’de genel yükümlülük altında deniz çevresinin korunması ve muhafazasından yükümlü tutulmuşlardır. Bu nedenle Sözleşme’de Madde 1(4) ile yapılan deniz kirlenmesi tanımı oldukça önemlidir:

1. İşbu Sözleşmenin amaçları uyarınca:...

4) "Deniz çevresinin kirlenmesi"nden, canlı kaynaklara ve deniz yaşamına zarar verme, insan sağlığı için tehlike oluşturma, balıkçılık ve denizlerin diğer yasal amaçlarla kullanımı da dâhil olmak üzere, denizcilik faaliyetlerini engelleme, deniz suyunun niteliğini değiştirme ve güzellikleri bozma gibi zararlı etkileri olan veya olabilecek maddelerin veya enerjinin, insan tarafından doğrudan doğruya veya dolaylı olarak, haliçler de dâhil olmak üzere, deniz çevresine dâhil edilmesi, anlaşılmaktadır (BM Enformasyon Merkezi, 2001; Url-1)

Balast suyu ve sedimanı ile taşınan istenmeyen organizmaların çevre, sağlık ve ekonomiye vermekte olduğu zararlara, bu Doktora çalışmasında Bölüm 2.2’de değinilmiştir. Bununla birlikte potansiyel olarak zararlı türlerin ve patojenlerin “madde” olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği tartışma konusu olmakla birlikte, bunların zararlı etkileri açıkça Madde1(4) ile belirtilen kategorilere girmektedir (McConnell, 2002). Ancak BMDHS, deniz çevresinin korunmasına yönelik hükümleri ile dolaylı olarak veya Madde 196 gibi hükümleri ile doğrudan yabancı türlerin transferiyle ilgili zorunluluklarda içermektedir (McConnell, 2002).

Madde 196 Teknolojilerin kullanımı veya yabancı ya da yeni türlerin taşınması

1. Devletler kendi yetki ve kontrol alanlarında teknoloji kullanımından kaynaklanan deniz çevresi kirliliğini veya belirgin etki ve zararlı değişikliklere sebep olacak yabancı ya da yeni türlerin belli bir deniz bölgesine maksatlı ya da kaza ile taşınmasını engellemek, azaltmak ve kontrol etmek için gereken her türlü önlemi almak zorundadır (Url-1).

Deniz ticaretinin doğası gereği gemilerin bağlı olduğu bayrak devletleri ile balast suyu ve sedimanı nedeni ile zarar gören kıyı ve limanlara sahip devletler farklıdır. Bununla birlikte BMDHS’de, Madde 194(2) ile taraf olan devletleri diğer devletlerin çevresini korumakla yükümlü kılmaktadır (Url-1):

Madde 194 Deniz çevresinin kirlenmesini engellemeye, azaltmaya ve kontrol etmeye yönelik önlemler:

(2) Bu Sözleşme’ye göre Devletler kendi yetki veya kontrol alanlarındaki aktivitelerini diğer Devletler’e ve bunların çevrelerine kirlenme nedeni ile zarar vermeyecek şekilde gerçekleştireceğini garanti almak ve yetki veya kontrol alanlarındaki olayların ve aktivitelerin sonucunda meydana gelen kirlenmenin kendi hükümlerine oldukları alanların dışına taşınmasını engellemek üzere gereken her türlü önlemi almak zorundadır.

BMDHS, yukarıda sözü edilen maddelerin yanı sıra çeşitli maddeler ile Devletleri küresel ve bölgesel düzeyde işbirliği yapmak, çeşitli kuralların düzenleme ve standartların oluşturulmasına katkıda bulunmakla zorunda kılarken deniz çevresinin korunmasına ilişkin uluslararası çevre standartlarını, kendi ulusal hukuk düzenlerine aktarmak, bu konuda gerekli yasal düzenlemeleri yapmak ve uygulama mecburiyeti de getirmektedir (Anlar Güneş, 2007)

Türkiye, BMDHS’ne şekil verilen Üçüncü Deniz Hukuku Konferansı’nın aktif katılımcılarından olmasına rağmen, karasularının genişliği ve deniz hukuku uyumsuzluklarında zorunlu yargı yetkisine ilişkin düzenlemeleri bakımından Sözleşme’ye taraf olmamıştır (Anlar Güneş, 2007). Diğer taraftan Türkiye, Sözleşme’nin deniz çevresinin korunmasına ilişkin düzenlemeleri konusunda olumsuz bir tutum içine girmeyerek, uygulamada deniz çevresinin korunmasına ilişkin bölgesel ve küresel bir dizi sözleşme ve programın içinde yer almış, bölgesel düzenlemelerin yanı sıra evrensel düzeyde kabul edilmiş olan bir ok esnek hukuk belgesi ve uluslararası antlaşmayı onaylayarak iç hukukuna aktarmıştır.

2.3.2 Rio Zirvesi, Rio Deklarasyonu, Gündem 21, Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi

Birleşmiş Milletler Genel Kurulu Üçüncü Deniz Hukuku Konferansı'ndan hareketle aldığı bir kararla 3–14 Haziran 1992'de Brezilya'nın Rio de Janerio kentinde Çevre ve Kalkınma Konferansı'nı toplamıştır. Konferansa 108'i devlet veya hükümet başkanı tarafından olmak üzere toplam 172 ülkenin temsilcisi katılmıştır (Url-2). Bu konferansın çalışmamız açısından önemli çıktıları Rio Deklarasyonu, Gündem 21 ve Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesidir.

Sürdürülebilir kalkınma ile ilgili temel belgeler arasında yer alan Rio Deklarasyonu, çevre ve kalkınma konusunda ülkelerin hak ve yükümlülüklerini kapsayan bir bildirgedir. Bu bildirge hukuki olarak bağlayıcı olmamakla birlikte, hükümetlere politik bir yükümlülük getiren bir ilkeler dizisidir. 27 ilkedен oluşan bildirge, konferansa katılan tüm devletler için ulusal ve uluslararası hukuk, karar alma ve faaliyetler açısından bir rehber niteliğindedir. Deklarasyon Türkiye'nin de içinde bulunduğu ülkelerin devlet ve hükümet başkanları tarafından onaylanmıştır. Bildirge'nin 15., 16. ve 17. ilkeleri en bilinen ilkelerdir ve bunlar sırası ile devletlerin çevreyi etkileyecek konularda karar vermelerinde ihtiyati yaklaşımına, kirleten öder prensibine ve çevresel etki değerlendirmesi ihtiyacına yönelik ilkelerdir (Url-3).

Gündem 21, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için hükümetlerin, kalkınma örgütlerinin, BM kuruluşlarının ve bağımsız sektörlerin 21.Yüzyıla girerken çevre ve ekonomiyi etkileyen tüm alanlarda yapması gereken faaliyetleri tanımlayan bir eylem planıdır. Uluslararası bir antlaşma olmadığı için tek başına bir bağlayıcılığı bulunmamakla birlikte, daha sonradan tüm sektörlerde yapılan, her seviyedeki yasal ve kurumsal gelişmeler üzerinde etkili olmuştur ve belge insan aktiviteleri ile ilgili sektörlerin hemen hepsinin çevresel etkilerini kapsamaktadır (McConnell, 2002). Gündem 21 belgesinin 17. Kısmı okyanusların, kapalı ve yarı-kapalı denizler de dâhil olmak üzere her türlü denizin ve kıyı alanların korunması ve bunların canlı kaynaklarının korunması, rasyonel kullanımı ve geliştirilmesi ile ilgilidir (Url-4). Gündemin bu kısmı özellikle kıyı devletlerinin denizel çeşitlilik ve habitatları korumasının, araştırmalar gerçekleştirmesinin, bilgi sağlamasının ve bilgi neşretmesinin, hassas veya özel koruma alanlarını belirlemesinin ve çevresel etki değerlendirmesi yapmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (McConnell, 2002). Gündem 21 dokümanı ayrıca devletleri var olan antlaşmaları uygulamaya ve IMO veya diğer kuruluşların deniz çevresini gemicilik kaynaklı kirlenmeden korumak için

yapacakları faaliyetleri desteklemeye davet etmektedir (McConnell, 2002). Doküman ayrıca balast suyu deşarjının yönetilmesine ve yabancı türlerin yayılmasının engellenmesine yönelik uluslararası kuralların geliştirilmesi için ülkelerin uluslararası, bölgesel ve ulusal sorumlulukları ile ilgili bir hükmü de içermektedir (Url-4):

Kısım 17.30:

IMO veya ilgili diğer alt bölgesel, bölgesel ya da küresel bir uluslararası kuruluş çatısı altında, tek başına, ikili, bölgesel ya da çoklu yapıda faaliyet gösteren devletler deniz çevresinin bozulmasına yönelik ek tedbirlerin alınması gereksinimini değerlendirmeye almalıdırlar:

a- Gemicilik kaynaklı:

vi. Yabancı türlerin yayılmasının engellenmesine yönelik uygun kuralların kanunlaştırılmasını değerlendirmeye alarak;

Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın çalışmamız açısından önemli olan üçüncü çıktısı olan Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'nin amacı biyolojik çeşitliliğin korunmasını, sürdürülebilir kullanımını ve uygun teknoloji transferi yoluyla, genetik kaynaklardan elde edilen faydaların adil ve eşit bir şekilde paylaşımını sağlamaktır.

21 Kasım 1996'da T.C. Bakanlar Kurulu tarafından Kabul edilen Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (Resmi Gazete, 1996), Amerika Birleşik Devletleri ve birkaç ülke dışında, evrensel olarak kabul görmüştür (Firestone ve Corbent, 2005). Sözleşmede biyolojik çeşitlilik şu şekilde tanımlanmaktadır (Resmi Gazete, 1996; Url-5):

Madde 2

"Biyolojik çeşitlilik", diğerlerinin yanı sıra kara, deniz ve diğer su ekosistemleri ile bu ekosistemlerin bir parçası olduğu ekolojik kompleksler de dahil olmak üzere tüm kaynaklardan canlı organizmalar arasındaki farklılaşma anlamındadır; türlerin kendi içindeki ve türler arasındaki çeşitlilik ve ekosistem çeşitliliği de buna dahildir.

"Ekosistem", bitki, hayvan ve mikro-organizma toplulukları ile bunların cansız çevrelerinin işlevsel bir birim olarak karşılıklı etkileşen dinamik bir kompleksi anlamındadır.

Sözleşme yabancı ya da yeni türlerin girişinin engellenmesine yönelik taraf devletlerin yükümlülüklerini *Madde 8* ile vurgulamaktadır (Resmi Gazete, 1996; Url-5):

Madde 8 "In-Situ" Koruma

Akit Tarafların her biri mümkün olduğu ölçüde ve uygun biçimde:

h-Ekosistemleri, yaşam ortamlarını veya türleri tehdit eden yabancı türlerin girişini engelleyecek, bu türleri denetim altına alacak veya yok edecektir

Sözleşme ile getirilen yükümlülükler sadece ilgili devletlerin bölgesinde gerçekleşen faaliyetleri değil ancak, her nerede olursa olsun bu devletlerin yetkisi altında gerçekleştirilen faaliyetleri de kapsamaktadır (Resmi Gazete, 1996; Url-5):

Madde 4 Yargı Yetkisi alanı

Bu Sözleşme hükümleri, diğer Devletlerin hakları saklı kalmak kaydıyla ve bu Sözleşmemde açıkça aksi öngörülmedikçe, her Akit Tarafla ilgili olarak:

(b) Kendi yargı yetkisi ya da kontrolü altında işlemekte olan süreçler ve faaliyetler bakımındansa, bunların etkileri nerede ortaya çıkarsa çıksın, o Akit Tarafın ulusal yargı yetkisinin sınırları içindeki ve dışındaki alanlarda geçerlidir

2-Akit Taraflar, deniz çevresi açısından bu Sözleşmeyi, Devletlerin deniz hukuku kapsamındaki hak ve yükümlülükleriyle tutarlı biçimde uygulayacaklardır.

1995 senesinde, Cakarta’da düzenlenen Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi’ne Taraf Devletler Konferansı’nda (CBD COP – *CBD Conference of Parties*), Deniz ve Kıyı Biyo çeşitliliği Üzerine Cakarta Direktifleri (*Jakarta Mandate on Marine and Coastal Biodiversity*) kabul edilmiştir. 2002 senesine gelindiğinde ise CBD COP, yabancı türlerin etkileri ile mücadele ve bu etkileri engellemek için temel prensipleri belirleyerek balast suyu konusunda uluslararası kuralları tamamlaması için IMO’yu teşvik etmiş, devletleri de kuralları uygulamaya davet etmiştir (Firestone ve Corbent, 2005; Url-6)

2.3.3 FAO Sorumlu Balıkçılık Uygulama Kuralları

Zararlı sucul organizmaların yeni ortamlara girişi nedeni ile en çok etkilenen sektörlerden birisi balıkçılıktır. Zararlı organizmaların transferi balıkçılığı biyolojik çeşitlilik yönünden etkilerken aynı zamanda yerel ekonomi ve gıda güvenliği üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir (McConnell, 2002). Bu nedenle Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO- *Food And Agriculture Organization of The United Nations*) 31 Ekim 1995 tarihinde FAO Konferansı’nda oy birliği ile Sorumlu Balıkçılık Uygulama Kurallarını kabul etmiştir (Url-7). Sorumlu Balıkçılık Kuralları’nın amacı çevre ile uyumlu olarak sucul canlı kaynakların sürdürülebilir kullanımını garanti altına alan ulusal ve uluslararası girişimleri belirleyen çerçeveyi oluşturmaktadır ve FAO, Sorumlu Balıkçılık kuralların uygulanabilmesi için özellikle gelişmekte olan ülkelere yol göstermekle görevlendirilmiştir (Bilgin, 2008).

Toplam 12 maddeden oluşan kurallar, sucul organizmaların uluslararası transferleri üzerine yoğunlaşmaktadır ve Devletlerin, sınırları dışındaki ekosistemlere organizma girişine neden olacaklarsa, öncesinde komşularına danışmalarını gerektirmektedir (McConnell, 2002; Url-7). Bununla birlikte FOA, Sorumlu Balıkçılık Teknik Rehberleri'nde, sucul organizmaların kasti olmayan taşınmalarına da dikkat çekmektedir. Balast sularının bu tip organizmaların taşınmasının en belirgin nedeni olduğunun altını çizen FAO, bu nedenle meydana gelen problemleri en aza indirmek için, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün 1994 senesinde yapmış olduğu düzenlemelere uyulması gerekliliğini vurgulamaktadır (McConnell, 2002).

2.3.4 Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün gemi balast suları ve sedimanının kontrolü için yaptığı düzenlemeler

Balast suyu ve sedimanı ile taşınan zararlı organizmaların transferinin engellenmesinde küresel boyutta sonuca ulaşabilmek zaman isteyen zor bir süreçtir. Ancak küresel sonuç için, denizcilik ile ilgili uluslararası düzenlemeleri en geniş ölçekte yapan ve Birleşmiş Milletler'e bağlı olan Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO-*International Maritime Organization*) şemsiyesi altında gerçekleştirilecek hareketler en önemli hareketler olacaktır.

IMO gemilerin balast tanklarında bulunan balast suları vasıtası ile taşınan zararlı organizma ve patojenlerin deniz çevresine ve dolayısı ile insanlığa verdiği zararları ve önlem alınması gerekliliğini uzun yıllardan beri gündeme getirmekte ve bu konuda bilimsel araştırma yapılmasını teşvik etmektedir (IMO, 1999).

1973 senesinden itibaren IMO'nun gündemine aldığı bu problem, ilk olarak 2 Kasım 1973'de IMCO tarafından düzenlenen konferansın ardından kabul edilen 73 de yer almıştır. MARPOL 73, salgın hastalık yapıcı bakterileri içeren sulardan alınan balast suyunun başka ülkelerde deşarj edildiği zaman salgın hastalığa neden olabileceğine dikkat çekerek IMO'yu ve Dünya Sağlık Örgütü'nü problemle ilgili çalışmaları başlatmaya davet etmiştir. Yabancı türlerle ilgili belirgin problemler yaşayan ülkeler arasında yer alan Kanada ve Avustralya 1980'lerin sonunda konuyu Deniz Çevresi Koruma Komitesi'nin. (MEPC-*Marine Environment Protection Committee*) gündemine taşımıştır. 1990 senesinde MEPC 31. oturumunda balast suyu ile taşınan yabancı türlerle ilgili rehberler hazırlamak üzere bir çalışma grubu kurmuş, 1991'de "İstenmeyen Organizmaların ve Patojenlerin Gemilerin Balast Suları ve Sediman

Deşarjları ile Girişinin Engellenmesi İçin Rehberler” kabul edilmiştir. Bu rehberlerle, hükümetlere ve liman devleti yetkililerine balast suyu ve sedimanı ile istenmeyen türlerin taşınmasının en aza indirilmesi için bilgi sağlanması hedeflenmiştir. Daha sonra 1997’ye gelindiğinde rehberlerde bazı değişiklikler yapılmış, söz konusu problemle başa çıkabilmek için riskin azaltılması ile ilgili bazı öneriler eklenerek yenilenmiştir. (IMO, 1998)

1998 senesinde MEPC, Balast Suyu Çalışma Grubu’nun balast suyu yönetimine yönelik düzenlemelerin taslağını oluşturacağı bir programı onaylamış ve bu taslağın bir konferansta MARPOL73/78’e yeni bir ek olarak taraf olan üyeler tarafından kabul edileceğini tasarlamıştır (IMO, 1998; Firestone ve Corbent, 2005). Ancak bu yaklaşım çeşitli sebeplerle reddedilmiştir. Tek başına sadece balast suyu ile ilgili bir konferansın biyolojik çeşitliliğin korunmasına dair düzenlemeler yapmak üzere IMO’ya daha geniş bir ufuk açacağı görüşü ve yürürlüğe girme koşulları ayrı bir konferansı gerektirmiştir (Firestone ve Corbent, 2005).

Firestone ve Corbent (2005) yürürlüğe girme koşulları ile ilgili olarak önemli bazı noktalara değinmişlerdir: MARPOL’ün yürürlüğe girmesi için dünya ticaret filosunun %50’sini temsil eden 15 ülkenin onayı gerekmektedir Ancak dünya ticaret filosunun büyük bir kısmı Panama ve Liberya gibi ülkelerin bayrağını taşıdığı için bu ülkeler %50 şartının sağlanmasını her an engelleyebilecek durumdadırlar. Bu durum gemi sahibi ülkeler ile önemli kıyı ve limanlara sahip ve bu problemten olumsuz etkilenmeye açık ülkeler arasında gerekli dengeyi oluşturamamaktadır. Bu nedenle %50 oranının düşürülmesi gerekmiştir. Minimum ülke sayısı açısından bakıldığında da MARPOL onaylandığında Birleşmiş milletlere bağlı 135 ülke varken günümüzde bu sayı 192 ülkeyi bulunmaktadır, bu nedenle 15 ülkenin onayı temsiliyet için yeterli olmadığından ülke sayısı arttırılmıştır.

Nihayetinde, 14 Şubat 2004 tarihinde IMO bünyesinde düzenlenen bir Diplomatik Konferans ile “Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi” (*International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments*) isimli uluslararası sözleşme tamamlanmış ve üye ülkeleri imzasına açılmıştır. Sözleşme dünya ticaret filosunun % 35’ini temsil eden 30 ülkenin onayından 12 ay sonra yürürlüğe girecektir (IMO, 2004), güncel durum IMO’nun resmi internet sayfasından (www.imo.org) takip edilebilir. Sözleşme çalışmamızda kısaca BSY Sözleşmesi olarak anılacaktır.

BSY Sözleşmesi'nin yürürlüğe girmesiyle gemiler, yaş ve balast suyu kapasitelerine bağlı olarak farklı senelerde, sözleşmede yer alan Balast Suyu Performans Standartlarını sağlamak durumunda kalacaktır (IMO, 2004). Gemilerin sağlaması gereken ve sözleşmede yer alan standartlar senelere bağlı olarak Çizelge 2.1 ile özetlenmektedir. Bununla birlikte Balast arıtımı için gereken teknolojilerin geliştirilme ve onaylanma süreçlerine bağlı olarak sözleşmenin uygulama takviminde iki kez değişiklik yapılmıştır. İlk değişiklik IMO Genel Kurulunun 19-30 Kasım 2007 tarihlerinde gerçekleştirilen 25. toplantısında, D-2 standardını sağlayarak tip onayı sertifikası almış yeterli teknolojinin henüz bulunmaması nedeni gerçekleştirilmiştir. Genel kurulun bu toplantısında “2009 yılında inşa edilen gemiler 31 Aralık 2011’den geç olmamak üzere 2. yıllık sürveylerine kadar balast arıtım cihazı ile donatılacaktır” kararı alınmıştır (MEPC, 2010).

Çizelge 2.1 : Balast Suyu Yönetmeliği, Pazouki ve diğ. (2008) den uyarlanmıştır.

	İnşa tarihi	Balast Suyu Kapasitesi	Uygulanacak Kural	Uygulama Tarihi
Yeni Gemiler	2009 ve sonrası	$Kap. < 1500 m^3$	D-2	2009 ve sonrası
		$1500 m^3 \leq Kap. \leq 5000 m^3$	D-2	2009 ve sonrası
	2012 ve sonrası	$Kap. > 5000 m^3$	D-2	2012 ve sonrası
Mevcut Gemiler	2009’dan önce	$Kap. < 1500 m^3$	D-1 veya D-2	2016’ya kadar
		$1500 m^3 \leq Kap. \leq 5000 m^3$	D-1 veya D-2	2014’e kadar
	2012’den önce	$Kap. > 5000 m^3$	D-1 veya D-2	2016’ya kadar

İkinci değişiklik ise çeşitli balast arıtım sistemlerinin tip onayı almasından sonra yapılmıştır ve MEPC tarafından 24 Mart 2010 tarihinde, “2009’da inşa edilen gemiler için yukarıda bahsedilen kararın değişmesine ihtiyaç olmadığı ancak 2010 da inşa edilen gemiler için de balast arıtım cihazı ile donatılması gerekliliğinin bununla birlikte bu gerekliliğin ancak BSY sözleşmesi yürürlüğe girdikten sonra aranabileceği”nin kararı verilmiştir (MEPC, 2010).

Gemilerin yaş ve balast suyu kapasitelerine göre uymaları gereken ve Çizelge 2.1 ile belirtilen IMO kuralları aşağıda açıklanmıştır (IMO, 2004):

Kural D-1: Balast suyu değişimi standardı

1. Balast Suyu değişimi icra eden gemiler, bu kurala uygun olarak, Balast Suyu değişimini hacimsel olarak %95 verimlilikle yerine getirmelidir.
2. Pompalama metoduyla balast suyu değişimi yapan gemiler için, pompalama birinci paragraftaki standartları karşılayacak şekilde her bir balast tankının hacminin üç katı olarak

yapılacaktır. Geminin en az hacimsel oranda %95'ini değiştirildiğini göstermesi halinde üç kattan az pompalama kabul edilebilir.

Kural D-2: Balast suyu performans standardı

1. Bu kurala uygun olarak Balast Suyu Yönetimi uygulayan gemiler, m³ başına 10 yaşayabilir organizmadan az (viable organism), boyca 50 µm den büyük ve mililitre başına 10 yaşayabilir organizmadan az, 50 µm den küçük ve boyca 10µm den büyük yaşayabilir organizma(lar)ı boşaltabilir; ve 2.paragrafta tanımlanan belirleyici mikroorganizma (indicator microbe) boşaltımı özellikle belirtilmiş olan konsantrasyonu aşmamalıdır.

2. Bir insan sağlığı standardı olarak, belirleyici mikroorganizmalar şunları içermelidir:

.1 Zehirli Vibrio kolera (toxigenic vibrio cholera), 100 ml(mililitre) başına (01 ve 0139) ile < 1 cfu (colony forming unit: koloni oluşturma birimi) 1 gram başına(ıslak ağırlık) <1 cfu zooplankton örnekleri

.2 100 ml. başına 250 cfu Escherichia Coli

.3 100 ml. başına 100 cfu Intestinal Enterococci

D-2 standardına göre deşarj edilebilecek balast suyu ile ilgili limitler Çizelge 2.2 ile özetlenmektedir

Çizelge 2.2 : Kural D-2, Bilgin Güney ve Yonsel (2008) den uyarlanmıştır.

Organizma		Birim Hacimdeki İzin Verilen Yaşayabilir Organizma Miktarı
Organizma boyu ≥50 µm		<10 adet / m ³
50 µm> Organizma boyu ≥10 µm		<10 adet / ml
İnsan sağlığı ile ilgili standartlar	Toxigenic Vibrio Chlorae (Serotip O1 ve O 139)	<1 *cfu/100ml (zooplankton örneklerinde ıslak ağırlık olarak 1 cfu/g'dan az)
	Escherichia coli	<250 *CFU/100 mL
	Intestinal Enterococci	<250 *CFU/100 mL

* colony forming unit: koloni oluşturma birimi

BSY Sözleşmesi'nin uygulaması ile ilgili hükümler Sözleşme'de Madde 3 ile belirtilmektedir. Bu madde uygulama konusunda taraf devletlerin yanı sıra, taraf olmayan devletler ile ilgili olarak da bağlayıcı hükümler içermektedir:

Madde 3

1 – Sözleşmede açıkça başka bir şekilde belirtilmedikçe, bu sözleşme;

- (a) Bir tarafın bayrağını taşıyan gemilere, ve
 - (b) Bir tarafın bayrağını taşımayan ancak bir tarafın otoritesi altında faaliyet gösteren gemilere,
- Uygulanır.

...

3 – Bu sözleşmeye taraf olmayan devletlerle ilgili olarak, taraflar, bu devletlerin gemilerine bu sözleşmenin gereklerinden daha az etkin olmayan muamelede bulunacaklardır.

Bu madde ayrıca kuralları uygulama konusunda bazı gemilere istisnalar tanımaktadır. Bu istisnalar Madde 2'nin 2. bendinde verilmektedir (IMO, 2004).

Balast suyu ile ilgili standartların yanı sıra BSY Sözleşmesi, mevcut teknolojilerin balast suyu arıtımı konusunda yetersizliğine dikkat çekerek, "ilgili bilgi ve teknolojilerin" geliştirilmesini de teşvik etmektedir (IMO, 2004). Zaten bu nedenle balast suyu yönetimi için ilk başta balast suyu değişimi önerilmekte, zamanla balast suyu değişiminin balast suyu yönetimi teknolojileri ile yer değiştirmesi hedeflenmektedir (Hewitt ve Campbell, 2007). Ancak Minton ve diğ. (2005), A.B.D. sularına giren ve açık denizde balast suyu değişimi yapmış gemilerin balast tanklarından aldıkları örnekleri değerlendirdiklerinde, bu gemilerin ancak %17.2'sinin BSY Sözleşmesi D-2 standardını sağladığını, bununla birlikte sözleşmenin yürürlüğe girmesinin yeni istila risklerinde önemli düşüş sağlayacağını belirlemişlerdir.

Sözleşmenin yürürlüğe girmesi istilacı türlerin yayılmasının engellenmesi için uluslararası bir önem arz etmektedir. Söz konusu sözleşmenin uygulamasını desteklemek amacı ile IMO bünyesinde çeşitli rehberler hazırlanmaktadır (Url-8), bu rehberler Çizelge 2.3 ' de yer almaktadır.

Rehberlerden ikisi balast suyu arıtımı sistemlerinin onaylanması ile ilgili süreçler için hazırlanmıştır. Bunlardan G8 olarak numaralandırılan ilki, BSY Sözleşmesinde yer alan balast suyu yönetimi sistemlerinin onayına yönelik standartların yeknesak yorumlanması ve etkin şekilde uygulanması için esasların çatısını oluşturmaktadır. G9 olarak numaralandırılan ikincisi ise aktif madde kullanan balast suyu yönetimi sistemlerinin onayı için süreçleri belirleyen rehberdir. G8 rehberinin esas amaçlarını Gollasch ve diğ. (2007) şu şekilde özetlemektedir: Balast suyu yönetimi sistemlerinin onaylanması için test ve performans gereklerinin belirlemek; uygun tasarım, inşa ve işletim parametrelerinin belirlenmesinde idarecilere yardımcı olmak; BSY sözleşmesinde yer alan D-3 düzenlemesi (balast suyu yönetim sistemi için onaylama gereklilikleri) için gerekenlerin doğru ve yeknesak yorumlanmasını sağlamak; ekipman üreticilerine ve gemi sahiplerine ekipmanların Sözleşme koşullarına uygunluğunun belirlenmesinde yol göstermek; İdareciler tarafından onaylanan balast suyu arıtma sistemlerinin D-2 düzenlemesine uygunluğunu kontrol etmek.

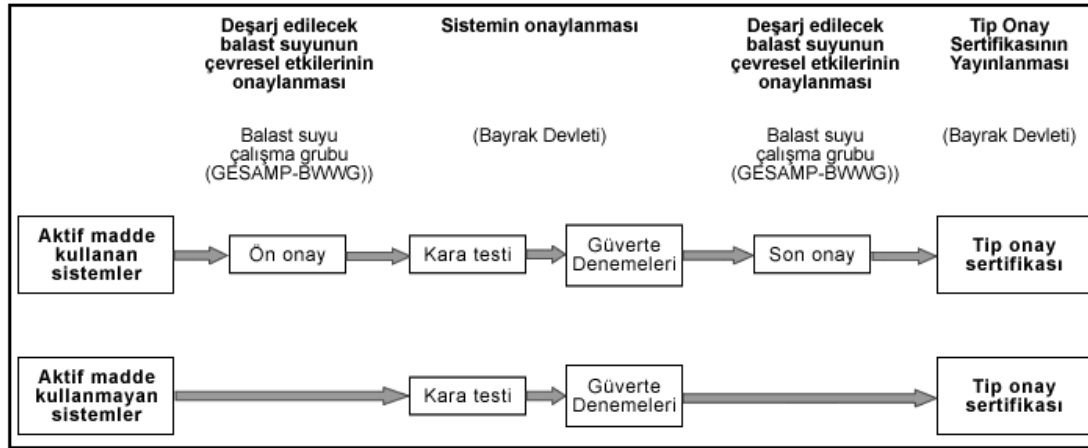
Çizelge 2.3 : IMO rehberleri ve bu rehberlerin dayalı olduğu kararlar.

Kılavuzun Kısa Adı	Kılavuzun Adı	Kılavuz Başlığının Türkçe Karşılığı	Kılavuzun Dayalı Olduğu Karar
G1	<i>Guidelines for sediment reception facilities</i>	Sediman kabul tesisleri ile ilgili rehberler	MEPC.152(55)
G2	<i>Guidelines for ballast water sampling</i>	Balast suyu örnekleme ile ilgili rehberler	MEPC.173(58)
G3	<i>Guidelines for ballast water management equivalent compliance</i>	Balast suyu yönetiminin eşdeğer uyumu ile ilgili rehberler	MEPC.123(53)
G4	<i>Guidelines for ballast water management and development of ballast water management plans</i>	Balast suyu yönetimi ve balast suyu yönetim planlarının oluşturulması ile ilgili rehberler	MEPC.127(53)
G5	<i>Guidelines for ballast water reception facilities</i>	Balast suyu kabul tesisleri ile ilgili rehberler	MEPC.153(55)
G6	<i>Guidelines for ballast water exchange</i>	Balast suyu değişimi ile ilgili rehberler	MEPC.124(53)
G7	<i>Guidelines for risk assessment under regulation A-4 of the BWM convention</i>	BSY Sözleşmesinin A-4 düzenlemesi altında risk değerlendirmesi ile ilgili rehberler	MEPC.162(56)
G8	<i>Guidelines for approval of ballast water management systems</i>	Balast suyu yönetimi sistemlerinin onayı ile ilgili rehberler	MEPC.174(58)
G9	<i>Procedure for approval of ballast water management systems that make use of active substances</i>	Aktif madde kullanan balast suyu yönetimi sistemlerinin onayı için süreçler	MEPC.169(57)
G10	<i>Guidelines for approval and oversight of prototype ballast water treatment technology programmes</i>	Prototip balast suyu arıtma teknoloji programlarının onaylaması ve gözetimi ile ilgili rehberler	MEPC.140(54)
G11	<i>Guidelines for ballast water exchange design and construction standards</i>	Balast suyu değişimi tasarımı ve inşaat standartları ile ilgili rehberler	MEPC.149(55)
G12	<i>Guidelines on design and construction to facilitate sediment control on ships</i>	Gemi üzerinde sediman kontrolünün sağlanmasına yönelik tasarım ve inşaat standartları ile ilgili rehberler	MEPC.150(55)
G13	<i>Guidelines for additional measures regarding ballast water management including emergency situations</i>	Acil durumları kapsayan ilave tedbirler ile ilgili rehberler	MEPC.161(56)
G14	<i>Guidelines on designation of areas for ballast water exchange</i>	Balast suyu değişim alanlarının tahsisi ile ilgili rehberler	MEPC.151(55)

G9 rehberinin amacı ise balast suyu yönetiminde aktif madde kullanan sistemlerde kullanılan aktif maddelerin, bunların hazırlanma aşamalarının ve bu aktif maddelerin uygulanmasının güvenlik, insan sağlığı ve çevre açısından uygunluğunun değerlendirilmesini sağlamaktır (Kim ve diğ., 2008). Ancak G9 rehberindeki süreç aktif maddenin etkinliğinin değerlendirilmesi ile ilgili değildir, balast suyu yönetimi sistemlerinin verimi G8 rehberinde yer alan süreçlerle değerlendirilmektedir (MEPC,

2008a). Bu noktada aktif madde tanımı oldukça önemlidir. Akif madde G8 ve G9 rehberinde “zararlı sucul organizmalara ve patojenlere karşı genel veya belirli bir etkisi olan, virüs ve mantarlarında dâhil olduğu, her türlü madde ve organizma” olarak tanımlanmaktadır (MEPC, 2008a ve MEPC, 2008b).

BSY Sözleşmesi’nde Kural D-3 ile belirtilen balast suyu yönetim sistemi için onaylama gerekliliklerine göre, bu sözleşmeye uyum için kullanılan balast suyu yönetim sistemleri IMO tarafından geliştirilmiş rehberler (G8) dikkate alınarak taraf devlet idareleri tarafından onaylanmalıdır. Bu onay “Tip Onayı” (*Type Approval*) olarak adlandırılmaktadır. Bir sistemin Tip Onayı alabilmesi için karasal tesiste ve gemi üzerinde test edilerek BSY Sözleşmesinde yer alan D-2 standartlarını sağladığı ispat edilmelidir. Bu onay için gereken teknik ayrıntılar ve sertifikalandırma süreçleri G8 rehberlerinde anlatılmaktadır.



Şekil 2.1 : Balast suyu arıtma sistemlerinin onay süreci, Olgun ve diğ.(2009) dan uyarlanmıştır.

Sistem aktif madde kullanmıyorsa IMO tarafından onaylanmasına gerek yoktur, yukarıda belirtilen şekilde taraf devlet idaresi tarafından Tip Onayı alması yeterlidir. Eğer sistem aktif madde kullanıyorsa Tip Onayı’ndan önce G9 rehberlerinde belirtilen iki aşamalı onay sürecinden geçerek önce “Ön Onay” (*Basic Approval*) almalı daha sonra “Son Onay” (*Final Approval*) almalıdır. Bu iki aşamalı onay sürecinin amacı sistemin çevreye, insan sağlığına, bölgeye ve kaynaklara zarar vermesinin engellenmesidir (IMO, 2008). Bu sistemlerin incelenmesi ve değerlendirilmesi IMO çatısı altında çalışmakta olan GESAMP- Balast Suyu Çalışma Grubu tarafından yapılmaktadır. Aktif madde kullanan sistemler ancak bu iki aşamalı onay sürecini geçtikten sonra taraf devlet idaresi tarafından Tip Onayı alabilir.

3. GEMİ ÜZERİNDE BALAST SUYU YÖNETİMİ İÇİN MEVCUT YAKLAŞIMLAR

Balast suyu arıtımının temel hedefi balast suyu ile taşınan organizmaların giderilmesi veya etkisizleştirilmesidir. Günümüzde özellikle atık su arıtımında kaydedilen ilerleme nedeni ile balast suyu arıtımı ilk anda çözülmesi kolay bir problem olarak düşünülmektedir. Ancak balast suyu arıtımı için uygun teknoloji geliştirilmesinde ve uygulamasında atık su veya içme suyu arıtımında karşılaşılmayan birçok zorlukla karşılaşmaktadır. Bunların başında deniz suyunun bölgelere göre tuzluluk, sıcaklık, organik madde, askıda katı madde vb. çeşitli kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından farklılıklar göstermesi gelmektedir. Bunlara ek olarak balast suyu ile taşınan organizmaların virüsler, mikroskobik bakteriler, yüzen planktonlar gibi geniş bir yelpazede bulunması; balast suyunun alındığı bölgelere göre öncelikli organizmaların farklılık göstermesi; değişen balast suyu pompalama debileri ile büyük hacimlerdeki balast sularının tanklardaki farklı bekleme sürelerinde arıtılması gibi değişen işletim koşulları altında çalışma gerekliliği balast suyu arıtımını zorlaştıran diğer önemli etmenlerdir. Ayrıca arıtım işleminin ardından yükleme limanında tekrar deniz ortamına bırakılacak olan balast suyunun, bu yeni ortama zarar vermemesi, kurulumunun ve kullanımının ekonomik olma gerekliliği yine teknoloji seçiminde karşılaşılan diğer zorluklar arasındadır.

Balast suyu yönetiminde kullanılmak üzere yeni yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla birçok ülkede çeşitli bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Balast suyu alınması ve boşaltılması arasındaki süreçte yabancı türlerin engellenmesi için yapılabilecek işlemler balast suyu alımı esnasında, seyir sırasında, balast suyu boşaltılırken ve balast suyu bir depolama sistemine boşaltıldıktan sonra olmak üzere farklı noktalarda gerçekleştirilebilir (Mackey ve diğ., 2000). Ancak depolama sistemine boşaltıldıktan sonra gerçekleştirilecek arıtım, farklı coğrafik bölgelerden gelecek olan gemilerin balast sularında yer alan birçok farklı organizmanın arıtılmasının güçlüğü nedeni ile çok uygun değildir. Örneğin Niimi (2000) dört Kuzey Amerika Limanını kapsayan çalışmada, bu limanlara gelen gemilerin ancak %45-70'inin gözlem yapılan 3-9

yıllık zaman zarfında bu limanlara tekrar geldiğini ve %20'sinden azının yıllık zaman bazında düzenli olarak limanlara giriş yaptığını belirlemiştir. Bu nedenle balast suyu arıtımı çalışmalarının çoğu gemi üzerinde arıtım üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Geleneksel olarak dezenfeksiyon hastalık yapıcı organizmaların yok edilmesi veya etkisiz hale getirilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Tünay, 1996; Rajeshwar ve İbanez, 1997; Weber, 1972). Bu çalışma kapsamında ise, dezenfeksiyon kavramı geleneksel anlamının yanı sıra, balast suyu ile taşınan istenmeyen sucul organizmaların yok edilmesi veya etkisiz hale getirilmesi işlemi için de kullanılacaktır.

Dezenfeksiyon birçok farklı fizikokimyasal yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Fiziksel yöntemler ısı, ışık ve akustik (ultrasonik dalgalar) dezenfeksiyonlarını içerirken, filtrasyon ve çöktürme başlıca mekanik dezenfeksiyon yöntemleridir (Tünay 1996). Ancak kimyasal dezenfeksiyon, günümüzde su dezenfeksiyonu için kullanılan en yaygın yöntemdir (Weber, 1972).

Dezenfeksiyon verimliliğine etki eden birçok faktör mevcuttur. Söz konusu organizmaların cinsi, yaşı, sayısı; dezenfeksiyon ajanının doğası ve derişimi; taşıyıcı sıvının karakteri, sıcaklığı, dezenfektanın temas süresi ve pH bu faktörler arasında sıralanabilir (Tünay, 1996; Rajeshwar ve Ibanez, 1997; Weber, 1972).

Balast suyu arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar tüm dünyada yaygın olarak halen devam ederken şu an için balast suyu ile taşınan yabancı zararlı organizmaların önlenmesinde birçok ülke tarafından kabul edilen ve IMO tarafından da önerilen tek geçerli yöntem, Bölüm 2'de de ifade edildiği gibi, “balast suyu değişimi”dir.

Doktora çalışmasının bu bölümünde balast suyu yönetimi mevcut olan yaklaşımlar detaylı olarak ele alınmıştır.

3.1 Balast Suyu Değişimi

Balast suyu değişimi yöntemi, gemi üzerinde arıtım yapabilecek tam ölçekli balast suyu arıtım sistemlerinin eksikliği nedeni ile zararlı organizmalarla mücadelede en yaygın olarak kullanılan yöntemdir ve IMO'ya bağlı Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC) tarafından da önerilmektedir. IMO tarafından imzaya açılan “Gemi Balast Sularının ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Sözleşmesi”

yürürlüğe girdikten bir süre sonra gemiler balast suyu arıtma standartlarını sağlamak durumunda kalacaklardır, ancak sözleşme gemilerin söz konusu standartları sağlamaları için geçecek sürede balast suyu değişimi uygulamalarını zorunlu kılmaktadır (IMO, 2004). Sözleşme, balast suyu değişiminin karadan 200 deniz mili uzaklıkta, 200 m derinlikte olan yerlerde, bu koşulun uygulanamayacağı hallerde karadan 50 deniz mili uzaklıkta yine 200 m derinliği olan yerlerde gerçekleştirilmesini gerektirmektedir (IMO, 2004). Bu yönteminin ardındaki ana düşünce, balast suyu ile alınan çok sayıdaki kıyı organizmalarının açık denizde deşarj edildiğinde yaşama şansının düşük olması ve değişim esnasında alınan az sayıdaki açık deniz organizmalarının kıyı bölgelerine bırakılmasının ardından buralarda yaşayamayacağıdır.

Balast suyu değişimi, balast tanklarının tamamen boşaltılıp tekrar doldurulması şeklinde sıralı olabileceği gibi pompalama yöntemi aynı anda yeni su alınırken tanklardaki fazla suyun taşmasının sağlanması suretiyle balast suyunun seyreltilmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Ancak açık deniz ve limandaki gerek dalga gerekse rüzgâr koşullarının farklı oluşu balast suyu değişimi yapacak gemilerin güvenliğini tehdit edebilir (Woodward ve diğ., 1994; Endresen ve diğ., 2002) bu nedenle gemilerin bu işlemi yapısal bütünlüğüne zarar vermeyecek şekilde gerçekleştirmesi gerekmektedir. Sıralı yöntemde karşılaşılabilecek gemi mukavemeti, dinamik yüklerin sebep olacağı sorunlar, gemi pervanesinin manevra kabiliyetini geçici olarak yitirecek şekilde su dışında kalması gibi güvenlik problemleri (Karaminas, 2000) nedeni ile gemilerin bir kısmı tanklarının tamamını boşaltıp tekrar doldurmak yerine pompalama yöntemini uygulamaktadır. Bununla birlikte sıralı yöntem ile hacimsel olarak sağlanan balast suyu değişim miktarı yapılan çalışmalarda %95 ile %100 arasında tespit edilmişken pompalama yöntemi ile %95 başarı elde edilmesi için tankların hacminin üç katı kadar suyun pompalanarak tanklardan taşmasına izin verilmesi gerekmektedir (Rigby ve Taylor, 2001). Ancak her ne kadar sıralı yöntem pompalama metoduna göre daha başarılı olsa da, her iki yöntem sonunda da tanklarda organizmalar kalmakta ve bu organizmalar yabancı türlerin taşınması açısından risk oluşturmaktadır (Cordell ve diğ., 2009; Rigby ve Taylor, 2001).

Gollasch ve diğ. (2007), balast suyu değişimi yönteminin verimliliğinin yanı sıra değerlendirilmesi gereken diğer bazı önemli noktaları da vurgulamışlardır. Örneğin balast suyu değişimi için gereken toplam zaman büyük gemilerde 1–3 günü

sürebilmektedir bu da ekonomik açıdan mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca sürenin yanı sıra balast suyu değişiminin gerçekleştirileceği konumun da, bazı gemi rotalarının kriterlerde belirtilen kıydan uzaklık ve derinlik koşullarını sağlayamayabileceği için, sorun olabilecektir (Gollasch ve diğ., 2007). Bunlara ek olarak bazı gemilerin güvenlik nedeni ile sadece belirli hava koşullarında balast suyu değişimi gerçekleştirebileceği veya hiç gerçekleştiremeyebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Gollasch ve diğ., 2007).

IMO (2004) ölçütlerine göre balast suyu değişimi icra edilecek gemilerde mevcut balast sularının hacimsel olarak en az %95'lik verimle değiştirilmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi hacimsel olarak %95 balast suyu değişiminin sağlanabilmesi için pompalama yöntemi kullanacak gemilerin, toplam balast hacminin üç katı kadar suyu tanklara pompalaması gerekmektedir. Ancak IMO ölçütlerine göre (2004) balast suyunun %95'in değiştiğinin gösterilmesi halinde üç kattan daha az pompalama kabul edilebilir. Biyolojik verimlilik ise balast suyu değişiminde göz önünde bulundurulması gereken asıl husustur. Örneğin balast suyunda hacimsel olarak %95 değişim gerçekleşse bile biyolojik açıdan aynı verimin sağlanamayabileceği (Wonham ve diğ., 2001; Levings ve diğ., 2004; Ruiz ve diğ., 2005) hatta bazı durumlarda toplam canlı sayısı azalsa bile taksonlarda artış olabileceği (Ruiz ve diğ., 2005, McCollin ve diğ., 2008) çeşitli çalışmalar ile ortaya konmuştur. Ruiz ve diğ. (2005) artış gösteren bu organizmaların genellikle bentik kominitelere ait olan organizmalar, hızlı yüzenler ve larva döneminin geç aşamasındaki organizmalar olduğunu belirlemişlerdir. Balast suyu değişimi yapılan gemilerde, bu yöntemin başarısını tehdit eden en önemli faktörlerden birisi değişim esnasında deşarj edilemeyerek tank diplerinde kalan su ve sedimandır (Dickman ve Zang, 1999; Zang ve Dickman, 1999; Bailey, 2004; Bailey ve diğ., 2005; Wonham ve diğ., 2005). Deşarj edilemeyerek tank diplerinde kalan su ve sediman miktarını belirleyen faktörler ise hidrolojik koşullar, gemi tasarımı ve deniz durumudur (Dickman ve Zang, 1999; Armstrong, 2003; Rigby ve Taylor, 2001). Özellikle sedimanda kalan çift duraklama evrelerindeki organizmaların kuluçkalaması, balast suyu değişimi yapılmasına rağmen, istilacı türlerin yer değiştirme riskini arttırmaktadır (Bailey, 2004; Bailey ve diğ., 2005; Wonham ve diğ., 2005; Gray, 2007). Sedimanda kalan organizmaların yanı sıra balast suyu değişimi metodunun zararlı bitkisel plankton olan diatomların ve dinoflagellatların giderilmesinde yeterli

olmadığı belirlenmiştir (Zang ve Dickman, 1999). Bunların yanı sıra, balast suyu değişiminin veriminde mevsimsel faktörler de önemlidir. Zang ve Dickman (1999) değişen mevsimsel koşullarla birlikte balast suyunda artış gösteren organizma çeşidinin de değiştiğini belirlemişlerdir

Balast suyu değişimi sonucunda organizmaların etkisizleştirilmesinde rol alan önemli mekanizmalar, yer değiştiren canlılarda tuzluluk farkı nedeni ile ortaya çıkan ozmotik stres ve sıcaklık farkıdır (Zang ve Dickman, 1999; Hülsmann ve Galil, 2001 ; Bailey ve diğ., 2006). Ancak bazı organizmalar tuzluluk farkını tolere edebilmekte ve yaşamlarının sürdürebilmektedirler. Örneğin, Hülsmann ve Galil (2001), mikrobiyal besin ağında önemli bir yeri olan deniz protistlerinin tatlı suda 4 haftaya kadar yaşayabildiğini belirlemişlerdir. Bu da balast suyundaki mevcut besin miktarının daha uzun süre destekleneceği anlamına geldiği için diğer organizmaların yaşam koşullarını kolaylaştırmaktadır.

Balast suyu değişimi metodu ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir kısmı okyanus seferi yapan gemiler üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak bölgesel sığ sularda seyreden gemilerin balast suları ile ilgili çalışmalarda oldukça önemlidir. McCollin ve diğ. (2008) bölgesel sularda balast suyu değişimini değerlendirmek üzere, M/V Yeoman Bank gemisi ile Kuzey Denizi, İrlanda Denizi, İngiliz Kanalı ve Biskay Körfezinde on seyir esnasında yaptıkları balast suyu değişimi çalışmalarında zooplanktonların toplam sayısı daima düşerken, bu seyirlerin sekizinde biyolojik çeşitlilikte artış belirlenmiştir. Bu sonuçlar balast suyu değişiminin istilacı türlerle bölgesel sularda uygun bir mücadele yöntemi olmadığını ortaya koymaktadır.

Oemcke ve van Leeuwen (2003) okyanus suyu ile yapılan balast suyu değişiminin verimliliğini tespit etmek üzere, Avustralya da Queensland'in Kuzey limanlarına gelen gemilerin balast sularının ve sedimanlarının bazı kimyasal ve fiziksel parametrelerini analiz ederek çarpıcı sonuçlara ulaşmışlardır. Balast tanklarından alınan örneklerin analiz sonuçlarının okyanus suyu için beklenen sonuçlarla karşılaştırılması ile elde edilen bulgulara göre açık denizde balast suyu değişimi yaptığını bildiren gemilerin önemli bir kısmında yöntemin verimsiz olduğu belirlenmiştir. Yöntemin verimsizliği değişim için okyanustan alınan suyun tanklarda kalan sediman ve balast suyu ile tekrar kirlenmesi, değişimin yetersiz kalması veya hiç değişim yapılmamasından kaynaklanmaktadır.

Balast suyu değişimi metodu, her türlü güvenlik ve biyolojik verimlilik ile ilgili probleme rağmen, balast suyu arıtım yöntemlerinin geliştirilme aşamasında uygulaması vazgeçilemez bir yöntemdir. Ancak gemilerin balast suyu değişimini icra edip etmediğini takip etmek için kullanılan en genel yöntem gemiyi işletenler tarafından tutulan balast suyu değişim raporu bazen gerçekleri yansıtmamaktadır (Oemcke ve van Leeuwen, 2003; Cordell ve diğ., 2009). Daha yüksek başarı elde edilebilmesi için Cordell ve diğ. (2009) tarafından da önerildiği gibi bu yöntemin uygulamalarının düzenli hale getirilmesi ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

3.2 Mekanik Yöntemler

Mekanik arıtım yöntemleri, genellikle balast alımı esnasında, tanklara girecek olan organizma sayısını ve sediman miktarını azaltmak için kullanılmaktadırlar. Bu yöntemlerin çalışma prensibi büyük ve orta boyutlu partiküllerin yakalanarak uzaklaştırılması şeklindeyir (Dobroski ve diğ., 2009). Daha çok ön arıtma da kullanılan mekanik yöntemler arasında filtre sistemleri ve hidrosiklonlar  nde gelmektedir. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla birçok organizma ve sediman henüz balast tankına alınmadan, balast suyu alınan limana geri bırakılmaktadır. Bu yöntemlerle balast tankına alınacak istilacı türlerin sayısındaki düşüşün yanı sıra, balast tanklarında çökelti oluşturacak sedimanın azaltılmasının da önemli faydaları vardır. Bu sayede tank diplerinde biriken sedimanın ağırlığı düşürülerek daha fazla kargo taşıma imk nının sağlanması yanı sıra, sedimanın balast tanklarında korozyon etkisi de en aza düşürülecektir (Cluskey ve Hold ; 2009). Ayrıca birincil arıtım tasarlanırken, ikincil arıtma ünitelerinin büyük maddelerin zararlı etkilerinden korunması; gerek büyük organizmaların giderilmesi, gerekse biyolojik olmayan ancak ikincil arıtmada kullanılacak yönteme göre UV radyasyonunu bloke edecek veya kimyasal tüketecek unsurların uzaklaştırılarak ikincil arıtmanın veriminin arttırılması; ikincil arıtma engel olabilecek bulanıklığın giderilmesi gibi hususlarda gözetilmelidir (Parsons, 2003).

3.2.1 Filtre sistemleri

Filtre sistemlerinin çalışma prensibi, balast suyunda mevcut ve belirli büyüklüğün üzerindeki organizmaların, balast suyunun filtre sisteminden geçirilmesiyle balast suyundan uzaklaştırılmasına dayanmaktadır.

Filtre sistemleri süzgeçlerden, perdelerden, membranlardan, disklerden ve kum-çakıl gibi taneciklerden hazırlanmış ortamlardan oluşabilir (Mackey ve diğ., 2000; Mamlook ve diğ., 2008; Dobroski ve diğ., 2009). Filtrasyon sistemlerinin kullanımında karşılaşılan en önemli sıkıntılardan birisi tıkanma problemleridir. Filtrasyon tabanlı birçok sistemde geri yıkama işlemi ile bu problem aşılakta (Dobroski ve diğ., 2009), basınç farkını belirleyen algılayıcılardan faydalanılarak gerçekleşen kısa süreli otomatik geri yıkama sayesinde filtrelerin temizliği sağlanabilmektedir (Matheickal ve diğ., 2003; Cluskey ve diğ., 2005).

Deniz suyunun bulanıklığı ve partiküllerin büyüklük dağılımı perde filtrelerin performansı üzerinde oldukça etkilidir (Matheickal ve diğ., 2003). Perde filtrelerde akış perdeden geçerken, filtre parçacıkları tutmakta ve bu esnada perdenin üzerinde bir tabaka oluşmaktadır bu da filtrelerin temizlenmesini gerektirmektedir (Parsons ve Harkins, 2002). Disk veya kum çakıl gibi ortamlardan oluşan filtrasyon sistemleri ise derin filtre (*depth filter*) sistemleridir ve derin filtrelerde akış perde sistemlerindeki gibi bir tek yüzeyden geçmek yerine, filtre aralığı veya ortamından oluşan belirli bir mesafeyi kat etmektedir (Parsons ve Harkins, 2002). Bu tip filtreler, temizlenme gereksiniminden önce daha çok suyu filtre edebildiği için daha az geri yıkama gerektirmekte, bu da perde filtrelerle göre daha yüksek net balast debisi sağlayabilmektedir (Parsons ve Harkins, 2002).

Filtreler tarafından tutulan organizmaların büyüklükleri, kullanılacak filtrenin aralık boyutuna veya filtrasyon ortamının içindeki boşluklara göre değişmektedir, bununla birlikte filtre sisteminin verimi sadece bu boyutlara değil aynı zamanda sistemden geçirilecek olan balast suyu debisine ve sistemin geri yıkama sıklığına da bağlıdır (Dobroski ve diğ., 2009).

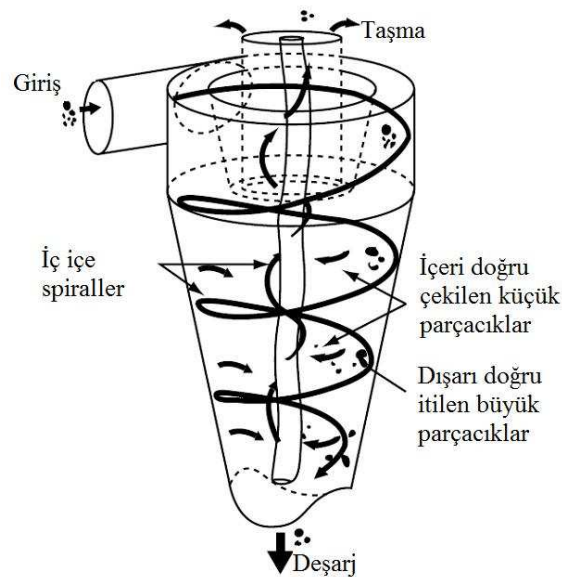
Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada ortak projesi olan Büyük Göller Balast Teknolojisi Demonstrasyon Projesi (*The Great Lakes Ballast Technology Demonstration Project*) 1996 senesinden başlayarak balast suyu arıtımı konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir (Cangelosi ve diğ., 2003; Parsons ve Harkins,

2000; Parsons ve Harkins, 2002; Parsons, 2003). Bu proje kapsamında ilk etapta 25µm, 50 µm, 100µm ve 150 µm aralıklı perde filtreler ile çalışılmış daha sonra bu çalışmaların sonuçları ışığında geliştirilen 40 µm'lik perde filtre de test edilmiştir (Cangelosi ve diğ., 2003; Parsons ve Harkins, 2000; Parsons ve Harkins, 2002). Yine aynı proje kapsamında disk filtrasyon sistemi de denenmiş, gerek kullanılan perde filtrenin gerekse disk tipi filtrenin, filtre tipinin gerektirdiği organizma boyutlarında, %90 oranında başarı gösterdiği belirlenmiştir (Parsons ve Harkins, 2003). Waite ve diğerlerinin (2003), 50 µm'lik perde filtre ile yaptıkları çalışma da, bu tip filtrelerin zooplanktonları oldukça yüksek bir verimlilikle giderebileceğini ortaya koymuştur. Ancak Parsons ve Harkins (2003), disk tipi filtrenin daha az otomatik geri yıkama gerektirmesi nedeni ile daha büyük bir net filtrasyon çıkışı sağlayarak perde tipi filtreye göre daha avantajlı olduğunu vurgulamaktadır.

Tang ve diğ. (2006a ve 2006b) filtrasyon ortamı olarak atık lastik kırıntılarının kullanıldığı yeni bir yöntem üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntem, lastik kırıntılarının elastik yapısı sayesinde, kum ve antrasit gibi geleneksel granüler ortamların kullanıldığı filtrelere göre daha uzun sürede daha yüksek filtrasyon oranı sağlamaktadır (Tang ve diğ., 2006a). Tang ve diğ. (2006a ve 2006b) çeşitli parametrelerin kullandıkları yöntemin verimi üzerindeki etkilerini araştırmış, kullanılan parçacıkların boyutunun küçülmesi ile filtrasyon veriminin arttığını; bununla birlikte filtre derinliğinin, sıcaklığın, su bulanıklığının ve çalışma süresinin arıtma verimi üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Ancak Tang ve arkadaşlarının elde ettikleri sonuçlar IMO tarafından önerilen arıtma verimini sağlamakta yeterli olamamıştır ve araştırmacıları bu yöntemi geliştirecek yeni çalışmalara yöneltmiştir (Tang ve diğ., 2009). Tang ve diğ. (2009), lastik kırıntıları ile hazırladıkları filtrasyon sisteminin verimini arttırmak için koagülan (pıhtılaştırıcı madde) kullanımını, yüksek basınçlı filtrasyonu ve ikili ortam (lastik parçacıkları ve kum) filtrasyonunu test etmişlerdir. Bu üç yöntemde filtrasyon verimini arttırmış olmasına rağmen IMO ölçütlerini sağlamada yetersiz kalmıştır. Bu nedenle Tang ve diğ. (2009), lastik kırıntıları ile gerçekleştirilen filtrasyon yönteminin birincil arıtım olarak kullanılmasını önermektedir.

3.2.2 .Hidrosiklonlar

Hidrosiklonlar, tasarım olarak hareketli parçalar içermeyen sistemlerdir ve bu sistemlerde geri yıkama işlemine ihtiyaç yoktur (Cluskey ve Holdø; 2009). Hidrosiklonlarda, Şekil 3.1 ile gösterildiği gibi, akışkan sisteme teğet bir biçimde girmekte ve silindirik bölme sayesinde akışın spiral olması sağlanmaktadır (Cluskey ve Holdø; 2009). Bu şekilde gerçekleşen rotasyonel akış ve akışkan üzerindeki merkezkaç kuvvet yüksek yoğunluklu katı parçacıkların seperatör duvarına doğru itilerek dışarı atılmasını sağlamaktadır (Zhou ve diğ., 2005a; Cluskey ve Holdø; 2009). Merkezdeki basınç düşmesi sonucu oluşan vakum, merkezde ters tarafa dönen ikinci bir akışın oluşmasına ve yoğunluğu atılan parçacıklardan daha düşük olan suyun taşma çıkışından çıkmasını sağlamaktadır (Zhou ve diğ., 2005a). Hidrosiklon seperatörler herhangi bir mekanizma içermedikleri için ağır partiküllerin oluşan ilk siklonda kalış süresi ve ikinci siklonun yeri ve gücü seperatörün geometrisine bağlıdır (Zhou ve diğ., 2005b).



Şekil 3.1 : Hidrosiklon seperatör, Cluskey ve Holdø (2009) dan uyarlanmıştır.

Çalışmanın daha önce filtreler ile ilgili kısmında da söz edilen Büyük Göller Balast Teknolojisi Demonstrasyon Projesi kapsamında perde ve disk filtre sistemleri ile birlikte hidrosiklon sistemi de test edilmiştir ancak bu projede sistemden alınan verim oldukça düşük (%30) olmuştur (Cangelosi ve diğ., 2003; Parsons ve Harkins, 2002). Benzer şekilde Waite ve diğ. (2003) de UV arıtımı öncesinde birincil arıtım için birincisi 50µm'lik perde filtre, ikincisi ise hidrosiklon sistemi olmak üzere iki tip mekanik yöntemi test etmişlerdir. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar da

hidrosiklonun ön arıtmada filtrasyon kadar verimli olmadığını ortaya koymuştur. Hidrosiklonlar özellikle yoğunluğu su yoğunluğuna yakın olan organizmaların giderilmesinde yetersiz kalmaktadır (Cluskey ve Holdø; 2009). Zhou ve diğ. (2005b) TREWABA projesi kapsamında ön arıtmada hidrosiklon ikincil arıtmada da UV kullanımını önerdikleri çalışma Cluskey ve Holdø'yu doğrular niteliktedir. Söz konusu çalışmada Zhou ve diğ. (2005b) 50 µm'lik kum tanelerinin deniz suyundan hidrosiklonla ayrılmasında %89 verim elde ederken, düşük yoğunluklu ve silindirik şekilli olmayan planktonik organizmalarda başarısız kalmışlar ve bu tip organizmaların giderilmesinin ikincil arıtmada kullanacakları UV dezenfeksiyonuna bırakılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte Parsons ve Harkins (2002) balast suyu arıtımında hedef alınan organizmaların çoğunun yüzücü olması nedeni ile su kolonunda rahatça hareket edebildiklerine vurgu yaparak sadece yoğunluk farkına göre fiziksel ayırma yapan bu yöntemin balast suyu arıtımı için uygun olmayacağını altını çizmektedir.

3.3 Fiziksel Yöntemler

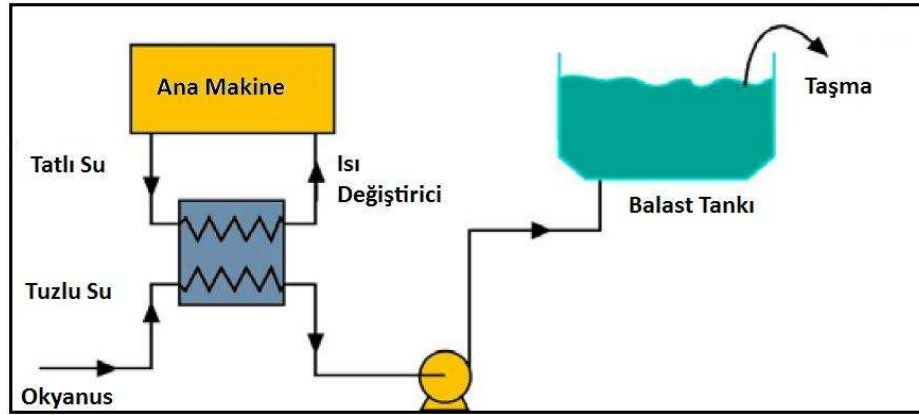
Balast suyunda fiziksel arıtma yöntemleri, organizmaları kimyasal bir işlem kullanmadan etkisizleştirmek veya öldürmek için kullanılan birçok işlemi kapsamaktadır. Fiziksel yöntemler balast suyu alımı esnasında, seyir sırasında veya balast suyu boşaltımı esnasında kullanılabilir. Üzerinde en çok çalışılan fiziksel yöntemler ısı enerjisi, uv (ultraviyole, mor ötesi) radyasyonu ve ultrasonik (ses ötesi, insan kulağının duyamayacağı ses dalgaları) enerji kullanımıdır.

3.3.1 Isı ile arıtma

Her organizmanın belirli bir ısı eşiği vardır. Bu ısı eşiğinin aşılması organizmaların hücresel proteinlerinin doğasının değişmesine veya canlının metabolik faaliyetlerinin devam ettirilemeyecek kadar hızlanması sonucu canlının ölümüne neden olmaktadır (Thornton ve Chapman, 2004). Bu durum, balast suyunun ısıtılarak arıtılması düşüncesinin önünü açmıştır. Örneğin, oldukça dayanıklı organizmalar olan zehirli dinoflagellatlar ve bunların kistleri ile yapılan çalışmalar ısı ile yapılan dezenfeksiyonun denenilen diğer balast suyu arıtım yöntemlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir (Hallegraeff ve diğ., 1997).

Balast suyunun ısıtılarak arıtılması balast suyunun ısısının organizmaların tamamının ısı eşiğinin üzerine çıkartılması ile mümkün olacaktır. Her organizma için öldürücü sıcaklık değişmekle birlikte balast suyunda hedef alınan birçok organizma için 40-45 °C yeterli bir sıcaklıktır (Rigby ve diğ., 2004). Ancak balast suyunun bu sıcaklığa çıkmasını sağlamak için gereken enerji oldukça yüksektir. Sıcaklık düşürüldükçe verim alınabilmesi için bekleme süresinin uzaması gerekmektedir. Örneğin balast suyunda mevcut organizmaları etkisizleştirmek için 46 °C ve üzeri sıcaklıklarda 10 dakikadan daha az bir süre yeterliyken (Oemcke ve Mountfort, 2001) 35 °C’ de verim alınabilmesi için balast suyunun bu ısıda 20 saat süre ile tutulması gerekmektedir (Quilez-Badia ve diğ., 2008).

Isı ile arıtmanın uygulanabilirliği seyir esnasında balast suyunu ısıtacak miktarda enerjinin teminine bağlıdır. Rigby ve diğ. (1999 ve 2004) bu problemin çözümü için gemi makinelerinin atık ısısından faydalanmayı önermiştir. Bu yöntemi ilk olarak Iron Whyalla adlı gemide test eden Rigby ve diğ. (1999), normalde geminin arka tarafından denize boşaltılan ana makine soğutma suyunu, test için ayrılan balast tankına nakletmişler daha sonra, tankın içine dolan suyun fazlasının güvertedeki hava firar borusundan taşmasına izin vererek balast tankındaki suyun ısıtılmasını sağlamışlardır.



Şekil 3.2 : Isı ile arıtma, Rigby ve diğ. (1999) dan uyarlanmıştır.

Bu denemenin sonunda gemi üzerinde önemli bir değişiklik yapılmadan balast suyu sıcaklığının, tanklarda her yerde eşit bir şekilde 40 °C’ ye ulaşmasının mümkün olmadığını, var olan enerji ile ancak 35-38 °C’ye 24-30 saatte ulaşılabildiğini Japonya-Avustralya arasındaki seyir esnasında belirlemişlerdir (Rigby ve diğ., 1999). Bununla birlikte bu seyir esnasında, balast tankının alt kısımlarında, tüm tankın ortalamasının üzerinde bir ısınma gerçekleşmiştir bu da, tank dibindeki sedimanda

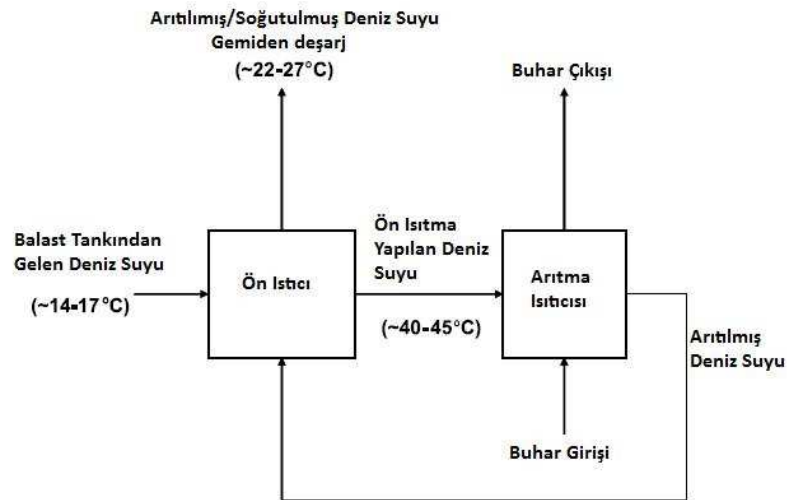
mevcut olan kistler gibi giderilmesi zor olan organizmaların daha yüksek bir arıtma ısısına maruz kalmasını sağlamıştır (Rigby ve diğ., 2004). Ayrıca, Rigby ve diğ. (2003) tarafından önerilen bu yöntemle, ısı ile arıtmanın yanı sıra balast suyu değişimi de gerçekleştirilmekte, orijinal balast suyundaki planktonların %90-99'u taşan su ile uzaklaştırılmaktadır.

Rigby ve diğ. (1999) tarafından gerçekleştirilen ilk saha denemelerinin ardından ana makine, yardımcı makineler ve gemi üzerindeki diğer ısı kaynaklarından sağlanacak ısı enerjisi ile farklı gemi tipleri için uygulanabilecek alternatif sistemler çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiştir (Radan ve Lovric, 2002; Mountfort ve diğ., 2003; Rigby ve diğ., 2004; Stocks ve diğ., 2004a). Bu sistemlerle düşük sıcaklıkta(<45°C) genellikle 30-80 saat kadar sürecek uzun süreli arıtmalar hedeflenmiştir ancak uzun arıtma süresi sistemlerin verimini sınırlandıran etmenlerden birisidir (Mesbahi ve diğ., 2007). Ayrıca ısıtılan balast suyunun tekrar deşarj edilmeden önce soğuması zaman alacaktır. Bu nedenlerle bu yöntemle balast suyunun ısıtılması özellikle kısa süreli seyir yapan gemiler için çok uygun değildir. Bu yöntemde ayrıca göz önünde bulundurulması gereken önemli bir konu da ısıtılacak balast suyun başlangıç ısısıdır. Örneğin başlangıçta sıcaklığı 15–20°C'nin altında olan deniz suyunu ısıtarak arıtmak çok verimli olmayabilir ve bu suyu ısıtmak için gerekecek süre seyahat süresini aşabilir (Radan ve Lovric, 2002). Ayrıca ısıtılan tanklarda her bölgede gerekli sıcaklığın sağlanabilmesi için suyun karıştırılmasının sağlanması da önemli bir konudur (Oemcke ve Mountfort, 2001). Bunların yanı sıra, ısıtılmış olan büyük hacimlerdeki balast suyunun, gemi üzerinde yaratacağı ısısal gerilmeler ve korozyon potansiyelini arttıracak da (Mesbahi ve diğ., 2007) gemi güvenliği açısından değerlendirilmesi gereken önemli konulardır. Dragsund ve diğ. (2004), yükselen ısının korozyonu arttırabileceğini değinirken, aynı zamanda oksijen seviyesinde düşmeye sebep olacağının da altını çizmiş, bunun korozyon oranında belki de bir düşüş ile sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir. Ancak yine de ölen organizmaların bakteriyel bozunmasının da bakteriyel korozyonu arttırabileceğini bu nedenle ısı ile arıtımın korozyon etkisinin araştırılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

Isıtılmış olan büyük hacimlerdeki balast suyunun seyahat süresince ısıtılması esnasında karşılaşılabilecek fiziksel sorunlar, söz konusu miktarlarda suyu yüksek ısıya çıkartmak için gerekecek olan enerjinin sağlanması, sıcak balast suyunun tekrar denize bırakılmasının sebep olabileceği çevresel sorunlar gibi problemler, balast

suyunu, pastörizasyon işleminde olduğu gibi, kısa süreli yüksek ısılara çıkaracak yöntemler araştırılmasına yol açmıştır (Vourdachas ve Mesbahi, 2002; Thornton ve Chapman, 2004; Quilez-Badia ve diğ., 2008).

Quilez-Badia ve diğ. (2008) tarafından önerilen sistemde balast suyunun deşarj öncesinde yüksek ısıya çıkartılması gemi üzerinde ayrılan balast tanklarında test edilmiştir. Balast suyunun alım esnasında değil de deşarj öncesinde ısıtılması, tankların ısınmasının neden olacağı problemlerin ve seyahat esnasında tanklarda büyüyen organizmaların da etkisizleştirilmesini sağlayacaktır (Mesbahi ve diğ., 2007). Söz konusu sistemde iki ısı değiştiricisi kullanılmaktadır, önce ön ısıtıcıda 40-45 °C' ye kadar ısıtılan su daha sonra ikinci ısıtıcıda gemi kazanından gelen buhar ile istenilen test sıcaklığına getirilmektedir (55-80 °C). İstenilen sıcaklığa gelen balast suyu tekrar ön ısıtıcıya gönderilip gelen balast suyu akımındaki suyun ön ısıtması için enerjisi kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ön ısıtıcının arıtma sonrası suyu ısı kaynağı olarak kullanması buhar ısıtıcısının enerji ihtiyacını en aza indirirken deşarj edilecek balast suyunun sıcaklığının çevresel açıdan zararsız düzeylere inmesini sağlayacaktır (Mesbahi ve diğ., 2007).



Şekil 3.3 : Isı ile arıtma, Quilez-Badia ve diğ. (2008) den uyarlanmıştır.

Quilez-Badia ve diğ. (2008) tarafından yapılan bu çalışma kısa süreli yüksek sıcaklık uygulamasının, bazı organizmalarda önceki çalışmalarda uzun süreli düşük sıcaklık uygulamaları ile yakalanan ölüm oranlarının yakalandığını göstermektedir. Ancak Quilez-Badia ve diğ. (2008) sistemin verimliliğinin değerlendirilebilmesi ve biyolojik verilerin istikrarının sağlanabilmesi için gemi üzerinde uzun süreli testler yapılması gerekliliğini vurgulamıştır. Ayrıca sistemin var olan veya yeni inşa

edilecek gemilere uygulanması için ekonomikliğinin değerlendirilirken, anapara olarak ısı değiştiricisi ve balast suyu pompalarının maliyetinin yanı sıra, buhar oluşturmak için gerekecek enerji ihtiyacı da yakıt giderinin hesaplanmasında işletme maliyeti olarak göz önünde bulundurulmalıdır (Mesbahi ve diğ., 2007).

Boldor ve diğ. (2008) balast suyunun ısıtılması için alternatif olarak mikrodalga sistemini önermektedir. Önerdikleri sistemi laboratuvar koşullarında mikroalg (*Nannochloropsis oculata*), zooplankton (yetişkin ve yeni kuluçkadan çıkmış olmak üzere iki farklı yaşam evresindeki karides *Artemia nauplii*) ve istiridyel larvası üzerinde test eden Sistemin organizmaları sadece mikrodalga tarafından sağlanan ısı etkisi ile değil, aynı zamanda mikrodalganın ısı ile ilgisi olmayan diğer etkileri ile etkisizleştirdiği düşünülmektedir (Boldor ve diğ., 2008). Sürekli akış halindeki balast suyunu arıtacak şekilde tasarlanan sistem, balast suyunun deşarj sırasında kısa zamanda istenilen sıcaklığa erişmesini sağlayarak tanklarda meydana gelecek korozyon gibi diğer problemleri de ortadan kaldıracaktır (Salvi ve diğ., 2008). Önerilen mikrodalga sistemi ile sürekli akış halindeki balast suyunun ısıtılacak olması, diğer ısıtma sistemlerinde karşılaşılan tanklarda her yerde eşit ısınma sağlanamaması problemini de ortadan kaldıracaktır (Salvi ve diğ., 2008). Mikrodalga teknolojisinin, günümüz koşullarında balast suyu arıtımında uygulanması oldukça yüksek maliyetli olacaktır, (yaklaşık 2,55 \$/m³), ancak sürdürülecek araştırma çalışmaları ve teknolojik gelişmelerle maliyetin kabul edilebilir düzeylere düşürülebileceği takdirde balast suyu arıtımında bir alternatif olabilir (Boldor ve diğ., 2008).

3.3.2 UV radyasyonu ile arıtma

UV dezenfeksiyonu, UV-C bandında yer alan kısa dalga boylu mor ötesi ışımının kullanıldığı bir yöntemdir (EPA, 1999; Mackey ve diğ., 2000; Nilsen ve diğ., 2003). UV ışınması, organizmalarda DNA yapısını tahrip etmek gibi fotokimyasal tepkimelere neden olarak organizmaların etkisizleştirilmesini sağlar (EPA 1999; Mackey ve Wright 2002, Mesbahi, 2004; Hijnen ve diğ., 2006; Hess-Erga ve diğ., 2008). UV'nin etkisi organizmalar üzerinde ölüm, üremede düşüş veya aktivitelerinde azalma şeklinde görülebilir (Cluskey ve diğ., 2005) ancak bu etki organizmaların UV'ye dayanıklılığı ve tamir mekanizmalarına göre geçici veya ölümcül olabilmektedir (Hess-Erga ve diğ., 2008).

Birçok organizma UV kaynaklı hasarlara karşı tamir mekanizmasına sahiptir (Tosa ve Hirata, 1999; Jungfer ve diğ., 2007; Hess-Erga ve diğ., 2008; Guo ve diğ., 2009;). Bu mekanizma ışığa bağlı ise fotoreaktivasyon, ışıktan bağımsız ise karanlıkta tamir olarak adlandırılır (Guo ve diğ., 2009). Fotoreaktivasyonda mikroorganizmalar UV dezenfeksiyonunun hemen ardından görünür ışığa maruz kaldıklarında, bu ışığın enerjisi ile hasar görmüş DNA tekrar iyileşebilmektedir (Tosa ve Hirata, 1999). Karanlıkta tamir mekanizması ise eksizyon, yani hasar görmüş kısımların organizmadan kesilip çıkarılması şeklinde gerçekleşir (Hess-Erga ve diğ., 2008).

Halen açık denizde petrol üretim tesislerinde deniz suyu enjeksiyonu uygulamalarında; balık çiftliklerinde; gemi üzerinde içme suyu ve pis su arıtımında kullanılmakta olan UV, balast suyu arıtımında da öne çıkan fiziksel yöntemlerden birisidir (Mackey ve diğ., 2000). UV sistemlerinin başarısı suyun berraklığı ve bulanıklığı ile doğrudan ilişkili olduğu için mutlaka verimli bir ön arıtma gerektirmekte ve ancak ikincil arıtım yöntemi olarak kullanılmaktadır (Mackey ve Wright, 2002; Mesbahi, 2004; Zhou ve diğ., 2005a; Wright ve Mackey ve 2006). Aksi taktirde deniz suyunda mevcut partiküller UV radyasyonunu perdeleyerek, soğurarak, dağıtarak veya engelleyerek dezenfeksiyon verimini düşürebilir (Hess-Erga ve diğ., 2008). Bununla birlikte fiziksel arıtma ile giderilebilecek askıda kalmış partiküller ve bulanıklığın yanı sıra suda çözünmüş olan organik maddelerin varlığının da UV sistemlerinin performansı üzerinde bir takım etkileri olduğu belirlenmiştir (EPA 1999; Mackey ve Wright 2002; Nilsen ve diğ., 2003). Hess-Erga ve diğ. (2008) biyotik partiküller (rotatorlar) ve abiyotik partiküllerin (seramik kili), heterotrofik (organik karbon kullanan) bakterilerin UV ile dezenfeksiyonuna etkisini araştırdıkları çalışmada, her iki tip faktörün de mikroorganizmaları UV'ye karşı koruduğunu yani dezenfeksiyon verimini düşürdüğünü, ancak biyotik faktörlerin az da olsa daha fazla koruma etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

UV dozu $mWsn/cm^2$ birimi ile ifade edilmektedir ve güç, etki alanı, akış oranı ve UV kaynağına olan mesafeye bağlı olarak değişmektedir (Mackey ve Wright 2002; Wright ve diğ., 2004). Etkinliği kullanılacak organizmaya ve UV dozuna bağlı olarak değişen bu yöntemle, uygun doz kullanıldığında bakteri ve virüslerden alglere kadar birçok farklı organizma etkisizleştirilebilmektedir (Mackey ve diğ., 2000; Azar Daryany ve diğ; 2008; Hijnen ve diğ., 2006). Bununla birlikte yapılan çalışmalar organizmaların dış dokularının nitelik ve niceliğinin UV radyasyonuna karşı

duyarlılığını etkilediğini, yüksek yaşam formlarının ve kabuklu organizmaların UV tabanlı arıtma dirençli olabileceğini göstermektedir (Sutherland ve diğ., 2003; Kriesel ve diğ., 2004; Wright ve diğ., 2004). Oemcke ve diğ. (2004) tarafından mikro boyutlarda ve dayanıklı deniz organizmaları ile yapılan çalışmalar UV dezenfeksiyonunun bakterilerde, eşeysiz üreyen mikro-alglerde, hareketli makro-alg türlerinde başarılı olabileceğini ancak dinoflagellata kistlerinde etkili olamayacağını göstermiştir. Kullandıkları doz aralığının mikro-boyutlardaki dayanıklı organizmalar ve makro-boyuttaki balast suyu canlıları üzerinde etkisiz olduğunu vurgulayan Oemcke ve diğ. (2004), bu canlıların giderilmesi için etkili birincil arıtımı önermektedir. Sutherland ve diğ. (2001) UV dezenfeksiyonunun, siklonik birincil arıtımın ardından geldiği bir entegre sistemin deniz planktonlarının doğal popülasyonu üzerinde etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlar değişken olmakla birlikte entegre sistemde yer alan UV basamağının deniz suyu kaynağındaki doğal organizma popülasyonlarını sayı ve büyüme karakteristiği açısından olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Waite ve diğ. (2003) de UV dezenfeksiyonunun ikincil arıtım olarak verimini incelemişler ve yaptıkları çalışmalarda, UV radyasyonunun tüm koliformlar (toplam ve *Echeria coli*) başta olmak üzere, bakterilerin popülasyonlarının belirgin bir şekilde düşmesine sebep olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte Waite ve diğ., bu etkinin kısa süreli olduğunu, 18 saatlik bekleme süresinin ardından bakterilerin tekrar büyüdüğünü belirlemişlerdir. Waite ve diğ. (2003) bu durumu iki olası nedenle açıklamaktadırlar. Birinci olasılık bakterilerin genetik olarak onarım yeteneği olabileceği ve bu bekleme süresinde iyileşme gösterebilecekleri, ikinci olasılık ise %100 ölüm sağlanamadığı için kalan bakterilerin tekrar üreyerek çoğalabileceğidir. Waite ve diğ. (2003), çalıştıkları 60 mJ/cm^2 UV dozunun kopepodlar üzerinde tesiri olmadığını belirlerken Viitasalo ve diğ. (2005), 800 l/saat ve 200 l/saat debi için sırası ile 141 ve 562 mJ/cm^2 kullanarak kopepodlar üzerinde belirgin bir başarı elde etmişlerdir. Ancak artan debi ile birlikte arıtma veriminin düştüğünü belirleyen Viitasalo ve diğ. (2005), tam ölçekli balast suyu arıtımında (örn: $5000 \text{ m}^3/\text{saat}$) oldukça yüksek bir UV çıkışına ihtiyaç olacağını, bununda maliyetleri yükselteceğini vurgulamaktadır.

Sutherland ve diğ. (2001) çalışmaları da ışığın DNA tamirini ve aktivasyonunu hızlandıracağı konusundaki bulguları desteklemiştir ve UV ile dezenfekte edilen balast suyunun karanlıkta bekletilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

UV sistemler genellikle içinde UV lambaları ile UV performansını kontrol eden bir algılayıcının yer aldığı ve içinden akışın geçtiği haznelardan oluşmaktadır (Mackey ve diğ., 2000; Waite ve diğ.2003; Zhou ve diğ., 2005a;). Balast suyunun UV ile dezenfeksiyonu daha çok balast alımı esnasında veya balast suyu boşaltımı sırasında önerilmektedir. Ancak Mackey ve diğ. (2000) UV sisteminin doğru tasarlanması halinde, balast suyunun yolculuk esnasında, hazneden sürekli bir çevrim ile geçirilerek arıtılmasını önermekte, bu şekilde balast alımı veya boşaltımı esnasında yapılacak UV arıtımının gerektirebileceği debi düşürme ihtiyacının ortadan kalkacağını ifade etmektedir.

3.3.3 Ultrason teknolojisi kullanarak arıtma

Ultrason teknolojisi kullanılarak yapılan arıtımda, yüksek frekanslı enerjinin sıvı içinde neden olduğu titreşimlerin fiziksel ve kimyasal bazı etkilerinden faydalanılmaktadır (Sassi ve diğ., 2002; Joyce ve diğ., 2003;). Bu teknolojiye ultrason (20 kHz-10 MHz), mekanik enerji veya elektrik enerjisinin değiştiriciler aracılığı ile akustik enerjiye çevrilmesi ile üretilmekte daha sonra bu enerji sıvı içinde yüksek frekanslı titreşimlere dönüştürülmektedir (Sassi ve diğ., 2002; Mesbahi, 2004; Viitasalo ve diğ., 2005). Ortaya çıkan bu titreşimler, söz konusu sıvıda mikroskobik gaz baloncukları oluşmasına ve patlamasına neden olmaktadır (Viitasalo ve diğ., 2005). Sassi ve diğ. (2002) belirttiği üzere gaz baloncuklarının boşluğunda ve patlamalarından önce hemen civarındaki bulunan enerji sıvı içerisinde bazı fiziksel ve kimyasal etkilere neden olmaktadır. Fiziksel etkiler kavitasyonun hücre duvarını parçalayacak, partiküllerin ve organizmaların çarpışma ya da parçalanma sonucu ayrılarak tahrip olmasına neden olacak kadar güçlü olması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Sassi ve arkadaşları bu çalışmada kimyasal etkilerin ise kavitasyon balonunun patlamasından hemen sonra oluşan koşulların aşırı yüksek enerji ile tutuşma ve yanma koşullarına benzemesi nedeni ile oluştuğunu ifade etmektedir. Bu uç değer koşullar mikro saniye düzeyinde kısa sürdüğü için söz konusu sıvıda ısınmaya neden olamamakta ancak bölgesel ısı ve basınç değişiklikleri kimyasal tepkimeleri, polimer parçalanmalarını ve serbest radikal oluşumunu arttırmaya yeterli olmaktadır (Sassi ve diğ., 2002). Bu teknolojinin etkisi kavitasyondan kaynaklanmakta, kavitasyon ise frekansa, güç yoğunluğuna, etki süresine ve söz konusu suyun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Sassi ve diğ., 2002; Viitasalo ve diğ., 2005). Söz konusu suda bulunan askıda inorganik ve organik

maddeler, parçacıklar ve organizmalar arasında çarpışmayı ve sürtünmeyi arttırarak, UV teknolojisinin aksine, ultrason enerjisinin veriminin artmasına neden olacaktır (Viitasalo ve diğ., 2005).

Ultrasonun zooplanktonlar ve fitoplanktonlar üzerinde etkisini MARTOB araştırma projesi çerçevesinde araştıran araştırmacılar, zooplanktonlar üzerinde yapılan tüm testlerde en fazla %40'ın altında düşüş sağlandığını (Sassi ve diğ., 2002, Mesbahi, 2004), *klorofil a* miktarında ise % 71 başarı sağladığını belirlemişlerdir (Mesbahi, 2004). Ancak Cluskey ve diğ. (2005) zooplanktonlarda elde edilen bu düşük ölüm oranını, kavitasyonun sağlanmasında yetersiz kalınmış olunabileceğine bağlamaktadır. Yapılan testlerde suyun statik tanklara laminar koşullarda aktığı ancak balast tanklarına su akışının türbülanslı koşullarda gerçekleşeceği (Cluskey ve diğ., 2005) ve türbülanslı akışın ultrasonun etkisini arttıracığı (Mesbahi, 2004, Cluskey ve diğ., 2005) göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle Mesbahi (2009) testlerin türbülanslı akış altında da tekrarlanmasının gerektiğini vurgulamaktadır. Ultrason teknolojisi korozyon açısından derlendirildiğinde ise, Sassi ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmalarda ultrasonun korozyonda bir artışa neden olmadığını belirlemişlerdir (Sassi ve diğ., 2002).

Bu sonuçların yanı sıra Mesbahi (2004) ultrason teknolojisinin balast suyu hacmine düşen maliyetinin oldukça yüksek olduğunun altını çizerken, Joyce ve diğ. (2003) de büyük ölçekli sularda mikrobiyolojik dezenfeksiyon da ultrason teknolojisi ile %100 ölüm oranı elde edilebilmesi için yüksek yoğunlukta ultrason enerjisi gerektiğini, bununla oldukça yüksek maliyetli olacağını vurgulamıştır.

Viitasalo ve diğ. (2005) Acomarin Engineering Ltd. Tarafından Finlandiya'da üretilen ve MARTOB projesinde de benzeri kullanılan (Sassi ve diğ., 2002) ultrason cihazının verimini farklı debilerde (200–800 l/saat) dört farklı genlikte test etmişlerdir. Viitasalo ve diğ. (2005) tarafından çeşitli mezozooplanktonlar üzerinde yapılan bu çalışmada, debideki düşüşün ve ultrason genliğindeki artışın ölüm oranında artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Gavand ve diğ. (2007), ultrason teknolojisini tek hücreli alg (*Dunaliella tertiolecta*) ve çeşitli yaşam evrelerindeki (kist, larva ve yetişkin) tuzlu su karidesi *Artemia salina* üzerinde denemişlerdir. Yaptıkları çalışmada ultrason teknolojisinin yanı sıra hidrojen peroksit ve ozon ile de testler yapan Gavand ve diğ. (2007), ultrasonun kısa

vadede (5–10 dak.) tek hücreli algler üzerinde nispeten yüksek ölüm oranı sağlarken, daha uzun arıtma süresinde (15–20 dak.) bu üç teknoloji arasında en düşük etkiyi gösterdiğini belirlemiştir. Ancak ultrason, tuzlu su karidesinin farklı yaşam evrelerinde belirgin şekilde yüksek ölüm oranları sağlamıştır (Gavand ve diğ., 2007). Kist evresindeki *A.salina* üzerinde ultrason ile %52’lik bir ölüm oranı sağlanırken, hidrojen peroksit %53, ozon ile %34’lük ölüm oranları sağlanmıştır (Gavand ve diğ., 2007). Aynı çalışmada gerek yetişkin dönemde gerekse larva döneminde olan *A. salina*’larda elde edilen ölüm oranı ise hidrojen peroksit ile kıyasla sırasıyla 1-1,5 kat, ozona kıyasla 4 kat daha yüksektir; 20. dakikanın sonunda ultrason ile *A. salina* larvalarında %100 lük bir ölüm oranına erişilmiştir.

Holm ve diğ. (2008) çeşitli bakteriler, fitoplanktonlar ve zooplanktonlar ile yaptıkları çalışmada, ultrason teknolojisinin etkisinin organizmanın büyüklüğüne bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Bu çalışmaya göre zooplanktonlarda %90 azalma sağlanması için 6-19 j/mL ultrason enerjisinin 3-9 saniye süresince uygulanması gerekirken, bakteri ve fitoplankton sayısında düzey bazında düşüş sağlanması için gereken enerji yoğunluğu 31-1240 j/mL olarak değişmekte, gereken süre ise 1-22 dakikayı bulabilmektedir (Holm ve diğ., 2008). Bu grubun çalışmalarının bir diğer sonucu ise ultrasonun tek başına ancak 100 µm’den daha büyük planktonik organizmaların giderimi için yeterli olacaktır.

Ultrason teknolojisinin balast suyuna uygulanması için yapılan çalışmalar, genelde ultrasonun tek başına yeterli olmayacağını, ancak bir başka sistemle kombinasyonu sonucunda verimli olabileceğini ortaya koymuştur (Viitasalo ve diğ., 2005; Gavand ve diğ., 2007; Holm ve diğ., 2008)

Ultrason teknolojisinin balast suyu arıtma amacı ile kullanılmasındaki olası dezavantajlardan birisi de okyanuslarda neden olacağı gürültü problemidir (Cluskey ve diğ., 2005). Cluskey ve diğ. (2005) dünya filusunda mevcut 85.000 teknenin balast suyu arıtımında ultrason kullanmasının, okyanuslardaki gürültüyü on katına çıkaracağını vurgulamaktadır. Okyanuslardaki yaşamı olumsuz etkileyen gürültünün azaltılması için yapılan yasal düzenlemeleri göz önünde bulunduran Cluskey ve diğ. (2005), ultrasonun standart balast suyu arıtımı teknolojisi olarak önerilmesinin sakıncasına değinmiştir.

3.4 Kimyasal Yöntemler

Dezenfektan etkisi olan birçok kimyasal madde mevcuttur, ancak gerek çevresel açıdan uygulanabilirliği, gerekse uygulama kolaylığı ve ekonomikliği açısından bu maddelerin sayısı sınırlıdır. Bu koşulları sağlayan kimyasal dezenfektanlara klor ve klor bileşikleri, brom, iyot, ozon, hidrojen peroksit, ağır metaller örnek olarak verilebilir (Tünay, 1996; Rajeshwar ve Ibanez, 1997; Weber, 1972).

Dezenfektanlar mikroorganizmaların hücre zarlarını tahrip edip hücre duvarının geçirgenliğini bozarlar, protoplazmanın yapısında ve nükleik asitte değişikliğe neden olurlar, protein sentezinde aksaklığa yol açarlar, anormal redoks proseslerine sebep olurlar ve enzimatik aktiviteyi engellerler (Raseshwar ve Ibanez, 1997). Balast suyu arıtımında kimyasal biyosit kullanımı ise IMO'nun balast suyu deşarj standartlarının kapsamına mikrobiyal organizmaları da dâhil etmesi sonucunda önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir ve ticari ürünlerin de içinde bulunduğu çeşitli kimyasal maddelerin hedef bazı türler üzerindeki etkilerinin araştırılması hız kazanmıştır. Bu kimyasallar, etki şekline ve süresine bağlı olarak, balast suyu alımı esnasında, seyir sırasında veya balast suyu boşaltımı esnasında kullanılabilir.

Biyosit kullanımında, diğer sistemlerde olduğu gibi en önemli hedef balast suyu arıtımı sağlanırken çevresel etkilerin en aza düşürülmesidir. Bu nedenle biyosit kullanımı ile ilgili çevresel kaygıların başında ortama bırakılacak olan arıtılmış balast suyunun içereceği kimyasalların miktarı ve dezenfeksiyon yan ürünleri gelmektedir. Dobroski ve diğ. (2007) tarafından da vurgulandığı gibi biyositlerin etkin kullanımında organizmaları etkisizleştirmek için gereken süre ile kullanılan biyotitin bozunarak veya atıkların tekrar iyileştirilerek çevresel açıdan kabul edilebilir değerlere ulaşması için gereken süre arasında bir denge kurulması gerekmektedir. Söz konusu her iki sürede balast suyunun içerdiği besin ve sediman yükünün fonksiyonu olarak değişmektedir (Dobroski ve diğ., 2007).

Balast suyu arıtımı için kimyasal kullanımında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir parametre ise gerek tatlı su gerekse tuzlu suda yaşayan organizmaları etkisizleştirmek için gereken olan öldürücü kimyasal derişiminin belirgin şekilde farklı oluşudur. Örneğin deniz bakterilerinden olan *V. Fischeri* klor için çok düşük tolerans gösterirken (LC₉₉ değeri 0,15 mg/L:), bir karides türü olan *A. Salina* kisti

klora karşı oldukça yüksek tolerans göstermektedir (LC₉₉ değeri ~486 mg/L) (Stocks ve diğ., 2004b).

Balast suyu arıtımında kullanılacak olan kimyasallar genel olarak “oksitleyici biyositler” ve “oksitleyici olmayan biyositler” olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

3.4.1 Oksitleyici biyositler

Hücre zarı ve diğer organik yapıları tahrip ederek çalışan bu tip biyositler genellikle atık su arıtımında da kullanılmaktadır (Kazumi, 2007; Dobroski ve diğ., 2007). Klor, klordioksit, brom, hidrojen peroksit, perasetik asit ve ozon oksitleyici biyositlerin başında gelmektedir.

Oksitleyici biyositlerden ozon ve klorlu bileşikler içme suyu ve atık su arıtımında yoğun olarak kullanılmakta ve balast suyu arıtımı için de üzerinde en çok çalışılan kimyasallar arasında yer almaktadır. Ancak tatlı su ve deniz suyu arasındaki farklılıklar balast suyu arıtım üzerinde önemli etkiye sahiptir. Örneğin deniz suyu gibi yüksek bromür (Br⁻) derişimine sahip sularda, ozon bromürü yükseltgeyerek daha zayıf ancak daha kararlı dezenfektan olan hipobromik asit (HOBr) ve hipobromit iyonu (OBr⁻) oluşmasını sağlar (Oemcke ve van Leeuwen, 2005; Perrins ve diğ., 2006a; Kornmueller, 2007). Bu tepkimelere bağlı olarak ozonun yarılanma ömrü 6 saniyeden az bir sürede tamamlanır ve deniz suyunun ozon ile dezenfeksiyonu, birincil olarak kararsız bir oksidan olan ozonu, ikincil olarak da daha kararlı olan bromu içerir (Oemcke ve van Leeuwen, 2005; Perrins ve diğ., 2006a).

Perrins ve diğ. (2006b) ozon dezenfeksiyonunun A.B.D.’nin kuzey batı kıyılarında yer alan *Puget Sound*’dan topladıkları bakteriler, fitoplanktonlar ve mezozooplanktonlar üzerinde Br₂ cinsinden 2–3 mg/L toplam bakiye oksidan derişiminde, etkili olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte, dayanıklı mikroorganizma türü olan *B. Subtilis* sporlarını ve dayanıklı bir tek hücreli deniz yosunu türü olan *Amhidinum sp.* türünü belirgin bir şekilde dezenfekte etmek için oldukça yüksek ozon derişimine ihtiyaç olduğunu belirleyen Oemcke ve van Leeuwen (2004 ve 2005), yüksek derişimde ozon dezenfeksiyonun tanklarında sebep olacağı korozyon sebebiyle bu tip balast suyu organizmalarının etkisizleştirilmesi için uygun olmadığını vurgulamaktadır. Mesbahi (2004) de ozon kullanımının

Redoks potansiyelinde sebep olduğu belirgin yükselmeyi işaret ederek olası korozyon etkilerine dikkat çekmektedir. Özellikle organizmaların ve çelik tankların ozona maruz kalma süreleri dezenfeksiyon verimi ve korozyon açısından göz önünde bulundurulmalıdır (Dragsund ve diğ., 2003).

Ozon kullanımında karşılaşılabilecek bir diğer sorunsal, kullanılacak olan ozon derişiminin belirlenmesidir. Ozonlamanın ardından oluşacak olan ikincil dezenfektanlar üzerinde deniz suyu karakteristiğı çok önemli bir rol oynamaktadır. Perrins ve diğ. (2006a) tarafından yapılan çalışma, farklı liman ve konumlardan alınan balast suyunun arıtımı için başlangıçta aynı toplam bakiye oksidan derişimini sağlamak amacı ile farklı miktarlarda ozon kullanımı gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu nedenle farklı özelliklere sahip balast sularının verimli arıtımı için gereken ozon miktarı deniz suyunun kimyasal özelliklerine bağılı olarak değişecektir. Vitaasalo ve diğ. (2005) ozonun etkili olması için gereken sürenin düşük dozlarda belirgin şekilde uzadığına dikkat çekmekte; bu nedenle ozonlama tekniğinden faydalanılacaksa bunun balast suyu boşaltımı esnasında yapılmasındansa, birden fazla balast tankının enjeksiyon ekipmanları ile donatılarak diğer tankların dezenfeksiyonunun seyahat süresince gerçekleştirilmesini önermektedir.

Ozonun su içerisindeki yarılanma ömrü oldukça düşüktür, 20°C’de 30 saniyeden daha az bir sürede oksijene dönüşür (Sassi ve diğ., 2002). Bu nedenle balast suyu dezenfeksiyonu için kullanılacak ozonun gemi üzerinde üretilmesi gerekmektedir, bu da yüksek frekanslı elektrik deşarjının havadan geçirilmesi ile sağlanır (Cluskey ve diğ., 2005). Kısa ömrü nedeni ile çevresel açıdan ozonun kendisi tehlike arz etmemekle birlikte oldukça zehirli olduğu ve zor belirlendiğı için gemi üzerinde mürettebat için ekstra güvenlik önlemleri gerektirmektedir (Cluskey ve diğ., 2005). Ayrıca ozon dezenfeksiyonunda oluşan yan ürünler (örn: bromat) denizel organizmalar üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğı için, ozonlamanın ardından brom artıklarının kalış süresi göz önünde bulundurulmalıdır (Viitasalo ve diğ., 2005).

Klor gerek su dezenfeksiyonunda kullanılan en eski ve en genel yöntem olması, gerekse büyük hacimlerdeki atık sularda mevcut organizmaları gidermede de kullanılabilmesi nedeniyle balast suyu dezenfeksiyonu için önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Zhang ve diğ., 2004). Balast suyu dezenfeksiyonunda klorun diğer kullanım şekillerine göre daha düşük miktarlarda yeterli olması nedeni ile sodyum hipoklorit (NaClO), üzerinde en çok durulan klorlu bileşiklerdendir (Stocks, 2004b;

Zhang ve diğ., 2004). Klor dezenfeksiyonunda yer alan mekanizmalar 4. bölümde detaylı olarak ele alınacaktır. Bu bölümde ise klorun balast suyu dezenfeksiyonundaki uygulamalarına değinilecektir.

Zhang ve diğ. (2004) tarafından sodyum hipoklorit ile yapılan çalışmalar, 5 mg/L aktif klor sağlandığında % 98.85 oranında anaerobik bakteri, %100 oranında vibrio ve %85,2 oranında E.coli ölümünün gerçekleştiğini göstermektedir. Bu çalışmalar ayrıca 20 mg/L ve üzerinde hazır klor sağlandığında ise bakterilerin tamamına yakınının öldürülebileceğini ortaya koymuştur. Aynı çalışma planktonlar ve bentik omurgasızlar için gereken derişimin 5 mg/L ile 100 mg/L arasında değiştiğini göstermektedir. Bu organizmaların etkisizleştirilmesi için gereken temas süresine bakılmaksızın belirlenen sodyum hipoklorit derişimleri organizma türüne ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte Zhang ve diğ. (2004) balast suyu arıtımı için maksimum hazır klor ihtiyacının 20-60 mg/L arasında belirtmekte ancak yüksek derişimlerde aktif klor kullanımının balast tanklarında korozyona yol açacağını vurgulamaktadır.

ABD Büyük Göller Bölgesi'nde Michigan Eyalet Senatosu'na Michigan'da deşarj edilecek tüm balast sularının sterilize edilmesini öneren bir düzenleme sunulmuş ve bunun ardından kurulan "Balast Suyu Çalışma Grubu"nun pratik ve mevcut yöntemler üzerinde bir çalışma yapması istenmiştir (Stocks ve diğ., 2004b). Bunun üzerine Michigan Çevre Bilim Heyeti (*Michigan Environmental Science Board-MESB*) tarafından seçilen iki biyosit (bakır iyonları ve sodyum hipoklorit) ile hem laboratuvar koşullarında hem de gemi üzerinde bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir (MESB, 2002; Stocks ve diğ., 2004b). MESB tarafından laboratuvar şartlarında balast tanklarındaki ortama benzer koşullarda gerek denizel gerekse tatlı suda yaşayan balıklar, omurgasızlar, algler ve bakteriler ile gerçekleştirilen sodyum hipoklorit (NaOH) deneyleri, toplam bakiye klorun 10 ppm'in altında olduğu hallerde dahi test organizmalarının %99'unun öldüğünü göstermiştir (MESB, 2002; Stocks ve diğ., 2004b). Yine aynı çalışma kist halindeki yaşam evrelerinin etkisizleştirilmesi için daha yüksek sodyum hipoklorit derişimlerine ihtiyaç olduğu ortaya koymuştur (MESB, 2002; Stocks ve diğ., 2004b). MESB tarafından yapılan laboratuvar testlerinin yanı sıra gemi üzerinde biri tatlı su diğeri tuzlu su seferi olmak üzere iki farklı seyahat esnasında gerçekleştirilen çalışmalar da yine 10 ppm'in iki saat içinde

kontrol deneylerine göre %90 daha fazla ölüme yol açtığını göstermektedir (MESB, 2002; Stocks ve diğ., 2004b).

MESB tarafından yapılan çalışmalar pelajik bölgede yaşayan (yüzücü) organizmalar üzerinde gerçekleştirilmiştir, bentik (deniz tabanında yaşayan) organizmalar ile ilgili bir veri içermemektedir (MESB, 2002). Ancak Derek ve diğ. (2006) tarafından sedimanda mevcut çift duraklama (*diapausing*) evresindeki deniz omurgasızlarının yumurtaları ile yapılan çalışmalar, ortamda yüksek organik yükü olsa dahi, 1000 mg/L ve üzerinde sodyum hipokloritin başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bununla birlikte embriyoların yumurtadan çıkmasında %90 ve üzerinde düşüş elde edilmesi için balast tanklarında 24 saat süre ile 1000 mg/L sodyum hipoklorit sağlanması için gereken toplam sodyum hipoklorit miktarı oldukça büyüktür. Bu nedenle tank diplerindeki sedimanda mevcut olan omurgasızların dinlenme evresindeki yumurtalarını etkisizleştirmesi için sodyum hipokloritin ancak balast suyu taşımadığını deklare eden gemilerde (NOBOB-*No Balast Onboard*), verimli olarak kullanılabileceği önerilmektedir (Derek ve diğ., 2006).

Balast suyu arıtımı için üzerinde çalışılan kimyasallardan bir diğeri de hidrojen peroksittir (H_2O_2). Yüksüz bir molekül olan hidrojen peroksit hücre zarından difüzyon ile rahatça geçebilmekte, hücre içine ulaştıca reaktif hidroksil radikalleri (OH^*) serbest bırakabilmektedir (Smit ve diğ., 2008). Hidrojen peroksitin elektrokimyasal olarak üretilebilmesi, gemi üzerinde üretilerek güvenli bir şekilde kullanımına olanak sağlayacağı düşünülmektedir (Kuzirian ve diğ., 2001). Kuzirian ve diğ. (2001) ABD'nin Massachusetts Eyaletinde Woods Hole'dan aldıkları yerel planktonlarla yaptıkları çalışmalar balast suyu arıtımında hidrojen peroksit kullanımı için umut vermektedir. Bu çalışmada hidrojen peroksitin bölgeden alınan yerel planktonlar üzerinde üç farklı derişimde (1, 3 ve 10 ppm) etkili olduğu belirlenmiştir. Kullanılan hidrojen peroksit derişimine bağılı olarak %100 ölüm için gereken süre 5-35 dakika arasında değişmektedir (Kuzirian ve diğ., 2001). Deney yapılan plankton topluluğu içinde bulunan ve aynı zamanda Karadeniz'e Kuzey Amerika kıyılarından ulaşan taraklı medüz türü *Mnemiopsis leidyi* için 10 ppm peroksit 1 dakikadan daha çabuk ölümlerle netice vermiştir (Kuzirian ve diğ., 2001). Ancak Smit ve diğ. (2008) test protokollerine uygun olarak seçtikleri, üç farklı sınıfa (alg, kabuklu ve rotator) ait denizel test organizmaları ile gerçekleştirdiği laboratuvar çalışmaları hidrojen

peroksitin bu türler üzerinde görece olarak yüksek derişimlerde ve uzun temas sürelerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Bai ve diğ. (2005) bir başka yöntem olarak gemi üzerinde 20 t/sa balast suyu kapasitesine uygun bir sistem geliştirerek, kuvvetli iyonizasyon yöntemi ile ürettikleri hidroksil radikallerin (OH^*) balast suyu dezenfeksiyonunda kullanımını önermektedir. Yaptıkları çalışmada balast suyundaki organizmaları öldürmek için gereken derişim 0,63 m/l olarak tespit edilmiş; tek hücreli algleri, bakterileri ve protozaları öldürmek için gereken temas süresi 2,67 s. olarak belirlenmiştir (Bai ve diğ., 2005). Bu yöntem, dezenfeksiyonun yanı sıra, hidroksil radikallerin kullanımı balast suyunu iyileştirerek kimyasal oksijen ihtiyacını, nitrit ve amonyak içeriklerini 2,67 s’de sırasıyla %100, %98,3 ve %99,5 düşürmüş; çözünmüş oksijen derişimini %70 arttırmıştır.

Piyasada balast suyu arıtımı için satışa sunulan ve sıvı halde ticari bir ürün olan Peraclean® Ocean, aktif maddesi perasetik asit (PAA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) olan hızlı bir oksitleyicidir (Fuchs ve diğ., 2003; Fuchs ve de Wilde, 2004; de Lafontaine ve diğ., 2008). Peraclean® Ocean, gerek gemi üzerinde gerekse laboratuvarda yapılan çalışmalarda bitkisel mikroalgler, dinoflagellat kistleri, protozalar, midyeler, yetişkin ve larva evresindeki kopepodlar üzerinde 50 ila 400 ppm arasında 24 veya 48 saatte %100 öldürücü etki sağlamıştır (Fuchs ve diğ., 2003; Fuchs ve de Wilde, 2004; Gregg ve Hallegraeff, 2008). Çeşitli çevresel koşullarda etkili olan Peraclean® Ocean, en yüksek etkiye pH 5-7 aralığında ulaşmakta, buna rağmen pH 9 değerinde dahi etkili olabilmektedir (Fuchs ve diğ., 2003; Fuchs ve de Wilde, 2004). de Lafontaine ve diğ. (2008) yaptıkları laboratuvar çalışmasında bu ürünün çok farklı sıcaklık ve tuzluluk koşullarında balast suyu arıtımında etkili olacağını belirlemiştir. Ancak de Lafontaine ve diğ. (2008) aynı çalışmada, Peraclean® Ocean’ın yarılanma ömrünün tuzlu suda 24 saatten az iken tatlı suda 100–170 saati geçtiğini, bu nedenle Peraclean® Ocean’ın zararsız maddelere indirgenmesi için tuzluluğun gerekliliğini tespit etmiş, bu ürünle dezenfekte edilecek tatlı balast suyunun yine tatlı su içeren bir limana deşarjının ekolojik açıdan tehlikeli olabileceğine değinmiştir. de Lafontaine ve diğ. (2009) gemi üzerinde gerçek balast tankı ve tatlı su ile yaptıkları çalışma, başlangıçta kullanılacak 100 ppm Peraclean® Ocean’ın indirgenebilmesi için balast tankında 15–20 gün bekletilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle oldukça etkili bir biyosit olan Peraclean® Ocean ile

dezenfekte edilecek suların, çevresel etkilerin en aza indirilmesi için uygun bir biçimde yönetilmesi gerekmektedir (de Lafontaine ve diğ., 2009). Ayrıca Wright diğ. (2004) Peraclean® Ocean ile plastik deney tanklarında gerçekleştirdikleri deneylerde 100ppm ve altındaki dozlarda zooplanktonlar oldukça yüksek verim ile giderilirken, metal balast tanklarında daha düşük verim elde edildiği belirlenmiştir.

Söz edilen kimyasallara ek olarak, MESB daha önce sözü edilen çalışmada sodyum hipokloritin yanı sıra bakır iyonlarının (Cu^{2+}) balast suyu arıtımında kullanılabilirliğini incelemiş ancak bakır iyonlarının çevresel açıdan uygun dozlarda kullanıldığında başarılı sonuç vermeyeceğini belirlemiştir (MESB, 2002; Stocks ve diğ., 2004b).

Balast suyu dezenfeksiyonunda, dezenfeksiyon kapasitesinin yanında göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli bir konu ise dezenfeksiyon yan ürün oluşumudur. Dezenfeksiyon için kullanılan kimyasalın deniz suyunda mevcut olan diğer kimyasal maddelerle zararlı yan ürün oluşturması, oluşacak bu yan ürünlerin dezenfeksiyonun sağlayacağı yararın üstünde çevresel zarar getirmesi istenmeyen bir durumdur. Deniz sularında gerek ozonun gerekse klorun oksidasyonunda bromür oldukça etkilidir bu nedenle deniz suyunda ozon ve klor kullanımında yan ürün olarak kanserojen bromat ve bromoform oluşumuna dikkat edilmesi gerekmektedir (Kornmueller., 2007). Klor ayrıca su içerisindeki organik maddelerle birleşerek kanserojen olarak sınıflandırılan trihalometanların oluşmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle Vianna da Silva ve da Costa Fernandez (2004) tarafından, özellikle ötrofik (besin açısından zengin su alanları) bölgelerde 3 ppm üzerinde doğrudan klor kullanımı yerine klor dioksit (ClO_2) önerilmektedir.

Korozyon balast suyu dezenfeksiyonunda biyosit kullanımında dikkat edilmesi gereken bir başka noktadır. Özellikle oksitleyici biyositlerin, oksidasyon potansiyelini arttırması ile korozyonda artış gerçekleşebilir (Dragsund ve diğ., 2004; Kornmueller., 2007). Örneğin klorlu bileşiklerin dezenfeksiyon mekanizmasında önemli bir rolü olan hipokloröz asit (HOCl) 1 ppm ve üzeri derişime ulaşınca balast tanklarındaki boyanın performansının düşmesine neden olabilecektir (MESB, 2002). Ayrıca oksitleyici biyositlerin balast suyuna giriş yaptığı yerlerde hızlı ve şiddetli korozyon a sebep olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Dragsund ve diğ., 2004). Kullanılacak biyositin korozyona neden olmasının diğer bir sonucunda

korozyonun dezenfeksiyon verimini düşüreceğidir (Oemcke ve van Leeuwen, 2004; Kornmueller., 2007).

3.4.2 Oksitleyici olmayan biyositler

Oksitleyici olmayan biyositler organizmaların üreme ve sinir sistemlerini tahrip ederek veya metabolik işlevlerine müdahale ederek organizmaların etkisizleştirilmesini sağlamaktadırlar. (Kazumi, 2007).

Oksitleyici biyositlerin balast tanklarında korozyona neden olma olasılığı nedeni ile Wright ve diğ. (2007) alternatif bulmak amacı ile düşük molekül ağırlıklı 18 kuinon (birçok biyolojik molekülün ortak yapıtaşı, örn. K1 vitamini) bileşiğini test etmiş, bunlardan dördünün (juglon, plumbagin, menadion ve naftahazarin) 1,0 mg/L' nin altındaki derişimlerde bile birçok planktonik organizma üzerinde etkili olduğunu belirlemiştir. Bu dört bileşikten juglon bakteriler üzerinde 0,05 mg/L derişimde kullanıldığında %95 verimlilik göstermiş hatta 0,005 mg/L gibi düşük derişimlerde kullanıldığında dahi bakterisit etkisi olduğu belirlenmiştir (Wright ve diğ., 2007). Suda serbest hareket eden fitoplanktonlar üzerinde yapılan deneyler, gerek juglonun gerekse menadionun 1,0 mg/L derişimde bu türler için toksik olduğunu göstermiştir (Wright ve diğ. 2007). Klinik amaçlı üretilen sentetik vitamin K olması nedeni ile hâlihazırda yüksek miktarlarda üretilen, juglon ve plumbaginden %2 daha ucuza mal olan menadion, planktonik organizmalar üzerindeki yüksek potansiyeli ve bakteriler üzerindeki düşük derişimlerde dahi gösterdiği makul etkisi nedeni ile balast suyu arıtımı için alternatif olmaktadır. (Wright ve diğ. 2007). Etken maddesi menadion olan ve SeaKleen® markası ile pazarlan ticari ürün yine bu isim altında çeşitli çalışmalarda test edilmiştir (Wright ve Dawson, 2003; Cutler ve diğ., 2004; Wright ve diğ., 2004; Raikow ve diğ., 2006; Wright ve Mackey, 2006; Gregg ve Hallegraeff, 2007).

Cutler ve diğ. (2004) SeaKleen® ile yaptığı çalışmalar bu ürünün 1 ppm ve daha az derişimlerde dahi tatlı su ve tuzlu su organizmaları üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte kullanılacak SeaKleen® derişimi ve zehirlilik arasında bir korelasyon olduğu, birçok sucul organizma için aktif bileşenin zehirlilik derişiminin 0,5–1,5 ppm arasında olduğu belirlenmiştir. (Cutler ve diğ., 2004). Bu çalışmada, tipik balast tankı koşullarında SeaKleen®'in balast tankındaki organizmaları giderebilecek kadar uzun süre dayandığı, bu organizmalar sayesinde

de SeaKleen®'in normal bir kargo gemisinin seyahat süresi kadar bir zamanda zehirli olmayan derişimlere düştüğü bu süre içinde ayrıca SeaKleen®'in indirgenerek zararsız maddeler dönüştüğü belirlenmiştir. Arıtma teknolojilerini farklı kombinasyonlarda test eden Wright ve Mackey (2006), biyosit kullanılmayan testlerde zooplanktonlarda ölüm oranını %95 olarak tespit ederken 0.5 mg/L gibi düşük derişimlerde dahi SeaKleen®'in eklenmesinin bu oranı %100'e çıkarttığını belirlemişlerdir.

Ancak Gregg ve Hallegraeff (2007) ise, yaptıkları çalışmalarda, SeaKleen®'i bakteriler üzerinde biyosit olarak yetersiz olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanı sıra Gregg ve Hallegraeff'in çalışmalarına göre (2007) sedimanın SeaKleen®'in degradasyonu üzerinde etkisi bulunmamaktadır ve SeaKleen®'in bozunmasının 15 gün sonunda dahi minimal düzeydedir. Bu nedenle Gregg ve Hallegraeff (2007) , SeaKleen® kullanımının balast suyu arıtıldıktan sonra bırakılacağı alıcı ortam üzerindeki olası olumsuz etkilerini vurgulamışlardır.

Balast tanklarında kullanımının verimliliğini değerlendirmek için Raikow ve diğ. (2006) SeaKleen®'i bazı zooplanktonların (deniz rotatoru *Brachionus plicatilis*, tatlı su kopepodu *Daphnia mendotae* ve deniz karidesi *Artemia sp.*) dinlenen yumurtaları üzerinde test etmişlerdir. SeaKleen® bu organizmaların tamamı üzerinde zehirli etki göstermiş, bunlardan *Daphnia mendotae* dinlenen yumurtaları 24 saatte 8,7 mg/L LC₉₀ değeri ile en yüksek dayanıklılığı gösterirken en az dayanıklıları 24 saatte 2,6 mg/L LC₉₀ değeri ile *Brachionus plicatilis* kistleri olmuştur (Raikow ve diğ., 2006). Ancak aynı çalışmada Raikow ve diğ. (2006), SeaKleen®'in sedimanda verimliliğinin düşürdüğünü belirlemiştir, bu durum SeaKleen®'in gemi balast tanklarında sedimana gömülü dinlenen yumurtalar üzerinde etkisi konusunda şüpheyne neden olmaktadır.

Benzer bir bileşik olan ve suda yüksek çözünürlüğe sahip menadion nikotinamid bisülfid (MNB) ile çalışmalar yapan Faimali ve diğ. (2006), MNB'in bakterileri, fitoplanktonları ve zooplanktonları kapsayan geniş bir yelpazedeki deniz organizmalarının üzerinde, gerek aktif evrelerinde gerekse dinlenen evrelerinde, belirgin derecede zehirlilik gösterdiğini belirlemiştir. MNB'nin söz konusu canlılar üzerinde LC₅₀ değeri 0,11–7,62 mg/L arasında değişirken, ışık altında kolayca parçalanabilen bu bileşiğin yarılanma ömrünün ise 6 saatten daha düşük olduğu belirlenmiştir (Faimali ve diğ. 2006).

Pankela ve diğ. (2004), gerek laboratuvarıda gerekse gemi üzerinde bir başka bileşik olan akrolein ile yaptıkları çalışmalarda bu bileşiğin çeşitli avantajlarını vurgulamışlardır. Bu grubun laboratuvar çalışmaları akroleinin bakterilerin yanı sıra algler, yumuşakçalar, kabuklular, balıklar ve sucul bitkiler üzerinde etkili bir potansiyel biyosit olabileceğini; aynı zamanda 8-24 saat arası bir yarılanma ömrüne sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmalarda akrolein 1-3 ppm arasında oldukça başarılı sonuçlar vermiş, 10 ve 3 ppm arasında uygulandığında test edilen deniz mikroorganizmalarının sayısı sırası ile %99,999 ve %99,99'dan daha büyük oranlarda düşmüştür. Bununla birlikte laboratuvar şartlarında etkili olduğu tespit edilen 1-3 ppm gibi düşük derişimler, balast tanklarına uygulandığında kısa sürede tespit edilemeyen düzeylere düşmüştür. Bu nedenle balast tanklarında daha yüksek derişimlerde akroleine ihtiyaç duyulmuştur. Bu grubun Venezuela-Florida arasında 5 günlük seyahat esnasında 8000 DWT'luk konteyner gemisinde balast tanklarında yaptıkları akrolein uygulaması, 9 ppm akroleinin mikroorganizmalar üzerinde 2 günde %99,99, 15 ppm akroleinin ise 3 günde %99,9999 oranında kontrol tanklarına kıyasla daha etkili olduğunu göstermiştir. Ancak 15 ppm kullandıklarında 72 saat sonunda akrolein derişimi 0,5 ppm'in altına düştüğü için mikroorganizma sayısında yeniden bir artış belirleyen Pankela ve arkadaşları gemi üzerinde daha yüksek derişimlerle (15–50 ppm) yeni çalışmalar yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

3.5 Diğer Yöntemler

3.5.1 Oksijensizleştirme

Balast suyunun oksijensizleştirilmesi tanklardaki korozyon problemi ile baş etmenin yanı sıra istilacı türlerle mücadele için de çalışılan yöntemlerden birisidir. Oksijenin su içerisinde çözünürlüğü ısı ve tuzluktaki azalmayla artmaktadır. Deniz suyunda ‰35 tuzluluk ve 25 °C sıcaklıkta, çözülmüş oksijen doygunluk derişimi 6,8 mg/L'dir ve bu değer 2,9 mg/L'nin altına düştüğü zaman deniz suyu hipoksik olurken hiç oksijen içermeyiği durumlarda ise anoksiktir (Josefsen ve Markussen, 2002). Organizmaların anoksik veya hipoksik koşullara karşı toleransları değişmekle birlikte birçok organizma hipoksik koşullarda ancak bir kaç saat yaşamını sürdürebilirken, çok azı bir kaç gün dayanabilmektedir (Josefsen ve Markussen, 2002; Tamburri ve diğ., 2002; Tamburri ve diğ., 2004). Bununla birlikte

oksijensizleştirme bakteriler, virüsler, mantarlar ve canlıların dinlenen evrelerinde (kistler, sporlar vs.) etkili olmayacaktır (Josefsen ve Markussen, 2002).

Oksijenin su içerisindeki çözünürlüğü az olmasına rağmen balast tanklarında gerçekleşen metabolik aktivitenin düşük olması sebebi ile normal koşullarda balast tanklarında haftalarca anoksik koşullar gerçekleşmez (Josefsen ve Markussen, 2002). Bu nedenle balast tanklarında hipoksik veya anoksik koşullar elde edilmesi için oksijensizleştirme işlemi, oksijenin mekanik yöntemlerle (Browning ve diğ., 2004) veya nitrojen (Tamburri ve diğ., 2002; Tamburri ve diğ., 2004) ve karbondioksit (Husain ve diğ., 2004) gibi inert gazların eklenmesi ile yer değiştirmesinin sağlanması şeklinde olabileceği gibi, bakteriyel büyümenin teşvik edilmesi için balast suyuna besin maddesi eklenmesi (Josefsen ve Markussen, 2002; McCollin ve diğ., 2007) gibi biyolojik yöntemlerle de gerçekleştirilebilir.

Browning ve diğ. (2004) üzerinde çalıştıkları patentli bir mekanik sistem olan AquaHabiStat, balast suyunun alınması sırasında oksijensizleştirmeyi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu sistemde, balast suyunun gemide var olan balast pompalarının yardımı ile özel bir çelik tanka alınması, bu tankta vakum pompaları yardımı ile vakum uygulanması ve daha sonra bu balast suyunun santrifüj pompaları ile balast tanklarına gönderilmesi tasarlanmaktadır (Browning ve diğ., 2004). Sistemin tam ölçekli modeli ile yapılan testler, yöntemin zooplanktonlar üzerinde oldukça başarılı olduğunu gösterirken fitoplanktonlar üzerindeki etkisi belirsizdir (Browning ve Browning, 2003; Browning ve diğ., 2004).

Oksijensizleştirme için üzerinde çalışılan diğer bir diğer yöntem ise balast tanklarındaki korozyonun önlenmesi için bir Japon firması tarafından geliştirilen özel bir sistemi temel almaktadır. Bu sistemle balast tankları doldurulduktan sonra sudaki çözünmüş oksijenin bir inert gaz ile yer değiştirilmesi sağlanmaktadır (Tamburi ve diğ. 2002; Tamburi ve diğ., 2004). Bu yöntemden yola çıkarak balast suyu gemiye alındığı esnada bir inert gaz ile karıştırılarak oksijenin giderilmesini sağlayacak bir venturi sistem geliştirmiştir. Sistemde kullanılan inert gaz, tankerlerde kullanılan inert gaz jeneratörüne benzer bir cihazla düşük sülfürlü motorinin yakılması sonucunda büyük miktarda açığa çıkan nitrojen gazıdır, nitrojenin yanı sıra yanma sonucunda düşük miktarda karbon dioksit ve eser miktarda oksijen de açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan karbondioksit gazının da suda karbonik ve karboksil asit oluşturması pH düşüşüne neden olmaktadır. Sistemi test eden Tamburri ve diğ.

(2004) çözünmüş oksijen derişimi ve pH değeriinde elde edilen düşüş sayesinde zooplanktonlarda %99'un üzerinde ölüm oranı elde etmişlerdir. Husain ve diğ. (2004) oksijensizleştirme için laboratuvar koşullarında üçlü bir karışım kullanmışlar (%2 oksijen, %12 CO₂ ve %84 nitrojen) ve hipoksik koşulların yanı sıra karbondioksit seviyesinde artış sağlanmasının denizel fitoplanktonlar, zooplanktonlar, makroalgler ve omurgasızlar üzerinde %95 başarı sağlayabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Balast suyunun biyolojik yöntemle oksijensizleştirilmesi, balast suyuna besin maddesi eklenerek suda mevcut olan mikroorganizmaların büyümesinin hızlandırılması sonucu balast suyunun oksijeninin tükenmesi ve aerobik organizmalar için elverişsiz ortam yaratılmasına dayanmaktadır (Josefsen ve Markussen, 2002; McCollin ve diğ., 2007). McCollin ve diğ. (2007), bu yöntemi İngiltere-Panama arasında araba ve kamyon taşıyan MV Don Quijote gemisi üzerinde test etmişlerdir ve elde ettikleri sonuçlar biyolojik yöntemle oksijensizleştirmenin, zooplanktonların giderilmesinde etkili olduğunu göstermiştir, ancak bu yöntemin etkisi fitoplanktonlar yeterince açık değildir. Josefsen ve Markussen (2002) bu yöntemle balast suyunda anoksik koşullar sağlanabilmesi için 1–3 güne ihtiyaç duyulacağını, anoksik koşullara karşı hassas olan organizma türlerinin bir kısmının ölmesi için bu koşulların 2-3 gün devam etmesi gerektiğine değinmektedir. McCollin ve diğ. (2007) elde ettiği sonuçlar da Josefsen ve Markussen'i desteklemekte, test edilen zooplanktonlar ile IMO standartlarının sağlanabilmesi için 5–7 güne ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu nedenle biyolojik oksijensizleştirme yöntemi seyir süresi uzun olan gemilerde kullanılabilecek bir yöntemdir.

3.5.2 Elektrokimyasal yöntemler

Elektrokimyasal yöntemlerin temel prensipleri ile ilgili detaylı bilgi 4. bölümde verilecektir. Bu bölümde ise elektrokimyasal yöntemlerin balast suyu arıtımına yönelik kullanılması ile ilgili yapılmış olan bazı çalışmalara değinilecektir. Bu çalışmalar iki temel prensibe ayrılmaktadır. Çalışmaların bir kısmında balast suyunun tamamı elektroliz edilirken (Dang ve diğ., 2004; Kim ve diğ., 2006), bir kısmında balast suyunun belli bir miktarı elektroliz edilerek dezenfektan üretilmekte ve bu üretilen dezenfektan ana balast suyu akımına karıştırılmaktadır (Aliotta ve diğ.,

2003; Lefler ve diğ., 2004; Matousek ve diğ., 2006). Her iki yöntemde de deniz suyuna herhangi bir aktif madde ilave edilmemekle birlikte, elektroliz esnasında aktif maddeler açığa çıkmaktadır.

Balast suyunun tamamını elektroliz edecek bir sistem üzerinde çalışan Dang ve diğ. (2004) hem doğal deniz suyunu hem de balast suyu arıtımında hedef olan türlerden *Artemia Salina* eklenerek zenginleştirilen deniz suyunu doğrudan elektroliz etmişlerdir. Dang ve diğ. (2004) doğal deniz suyunun elektrolizi ile başlangıçta 4,0 ppm klor derişimi sağladıklarında fitoplanktonlarda toplam %72'ye varan ölüm oranı elde ederlerken bakterilerde bu oran %99.99'a çıkmıştır. Ancak 5,0 ppm'in altındaki klor derişimlerinde zooplanktonlarda herhangi bir ölüm elde edemeyen Dang ve diğ. (2004), klor derişimini 8,0 ppm'e çıkarttıklarında zooplanktonlar üzerinde 24 saatte %95 ölüm sağlarken, 15,0 ppm'e çıkarttıklarında ise 12 saatte % 99,99 ölüm oranı elde etmişlerdir.

Benzer şekilde, Tsolaki ve diğ. (2010) da balast suyunun tamamının elektroliz hücrelerinden geçirerek dezenfeksiyonunu sağlayacak bir sistemi, laboratuvar ölçeğinde test etmişlerdir. Bu çalışmada farklı bakiye klor derişimlerinin 0-45 dakika arasındaki temas sürelerindeki etkinliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda *A.salina* ölüm oranının artan bakiye klor derişimi ve temas süresi ile arttığı belirlenmiştir. bu sonuçlara göre %75 ve üzeri ölüm oranı sağlanabilmesi için 200 mg/L bakiye klor derişimi ve 15 dakikanın üzerinde temas süresine ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 400 mg/L bakiye klor sağlandığında 1 dakikalık temasinde *Artemia Salina* üzerinde %100 ölüm oranına ulaşılmıştır.

Kim ve diğ. (2006), bir elektrokimyasal dezenfeksiyon sistemi olan Electro-CleanTM'in balast suyuna uygulanmasına yönelik bir takım testler gerçekleştirmişlerdir. Balast suyu arıtım sistemlerinin karasal pilot tesislerinde uygulanması için 53. MEPC konferansında belirlenen standartlara uygun deniz suyunu, Electro-CleanTM sisteminden geçirerek elektrolizini sağlayan Kim ve diğ. (2006), bakterilerin fitoplanktonların ve yerel zooplanktonların arıtımın hemen ardından öldüğünü tespit ederlerken, *Artemia* da başarı elde edilmesi için ancak 24 saat boyunca başlangıç derişimlerdeki toplam klora karanlıkta temas gerektiğini belirlemişlerdir.

Elektrokimyasal yöntemlerin bir başka uygulaması olan deniz suyundan dezenfektan elde etmek amacı ile elektrokimyasal hücrelerden faydalanılmaktadır. Deniz suyunun elektrokimyasal hücrelerde anot (pozitif kutup) ve katot (negatif kutup) arasından geçirilerek elektroliz edilmesi sonucunda anotta açığa çıkan klor, sulu ortamlarda çok kısa bir sürede hipokloröz asit ve hipoklorit iyonunun oluşmasını sağlayan tepkimelere girmekte ve bu şekilde dezenfektan içeren bir çözelti elde edilmektedir

Elektrokimyasal yöntemlerle deniz suyundan yerinde sodyum hipoklorit üretimi uzun yıllardır petrokimyasal enerji tesislerinde, açık deniz sondajında ve çeşitli deniz uygulamalarında kullanılmaktadır. Aliotta ve diğ. (2003), deniz suyundaki mikrobik organizmaları (prokaryot ve ökaryot) arıtmak üzere, karasal tesislerin tatlı su atıkları için kullanılmakta olan EIMSTM (*Electro-Ionization Magnetik Separation*) teknolojisinin, elektro-iyonizasyon bileşeninin ilk deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu elektro-iyonizasyon teknolojisi, atmosferden havayı çekerek iyonize oksijen ve nitrojenin çeşitli türlerini üreten NI-OX/LTM gaz jeneratörü ile ClO_x⁻ (klorit) içeren gazlar üreten CLORINTM gaz jeneratöründen oluşmaktadır. CLORINTM, elektroliz işlemi ile doymuş tuzlu sudan reaktif klor, oksijen ve hidrojenin açığa çıkmasını sağlamaktadır, klor miktarı ise kullanılan tuzlu suyun seyreltilmesi ile ayarlanmaktadır. Aliotta ve diğ. (2003) sistem geliştirme esnasında her iki bileşeni ayrı ayrı ve birlikte CLORINOXYL^R modülü olarak optimize etmişlerdir. Deniz suyu içeren bir tank üretilen reaktif gazlarla beslenmiş ve arıtma verimi kontrol edilmiştir. İlk deneyler ışığında geliştirilen pilot sistem Leffler ve diğ. (2004) tarafından 2002 ilkbaharında seyahat gemisi M.V. Elation üzerinde Kaliforniya- Meksika arasında 7 günlük bir seyir esnasında denenmiştir. Pilot sistem hava iyonizasyonu modülü ve deniz suyu elektrolizi jeneratörü içeren elektro-iyonizasyon teknolojisinden oluşmaktadır. İyonize edilen hava ve elektrolize olan deniz suyu bir karıştırma manifoldu aracılığı ile balast suyu akımına verilmiştir. Sürekli devridaim sistemi kullanılarak ilk 20 saatin sonunda bakteri ve protistlerde %95 ölüm oranı elde edilmiş, ancak ikinci 20 saatin sonunda tanklardaki biyota sayısında artış gerçekleşmiş ve yeniden başlangıç koşullarına dönmüştür (Lefler ve diğ., 2004). Biyota sayısındaki iyileşmenin devridaim sistemindeki zorunlu duraklamalardan kaynaklanabileceğini düşünen Lefler ve diğ. (2004) arıtımın balast suyu boşaltılırken tek geçiş sistemi ile yapılmasının daha uygun olacağına karar vermişler ve 1/20 ölçeğinde tek geçişli bir model kumuşlardır. Bu çalışmaların

sonunda Lefler ve diğ. (2004) kronik zehirlenme sonucu %95 ölüm oranı elde ederken, yeniden iyileşme ve üreme gözlemlenmemişlerdir. Arıtılmış balast suyunun tekrar deşarjı esnasında yapılan ilk testler, bu suyun ekolojik açıdan da zehirli olmadığını göstermiştir.

Matousek ve diğ. (2006) Elektroklorinasyon Balast Suyu Arıtımı Sistemi (BalPure, Severn Trent DeNora, ABD) için bir pilot tesis kurarak sistemi test etmişlerdir. Bu sistemde deniz suyu önce 50µm'lik filtreden geçirilmekte, daha sonra bu suyun bir kısmı küçük bir kola ayrılarak elektroliz hücresinden geçirilerek oksitleyiciler üretilmekte ve ardından ana akıma karıştırılmaktadır. Testler sonucunda bakteriler, fitoplanktonlar ve zooplanktonlar üzerinde elde edilen ölüm oranları IMO standartlarını sağlamak açısından umut vermektedir (Matousek ve diğ.; 2006). Ayrıca deşarj öncesinde deklorinasyon uygulanan suyun test bölgesi olan Puget Sound organizmaları için zehirli olmaması ve testler esnasında oluşan dezenfektan yan ürünleri içme suyu için verilen değerlerin altında olması da elde edilen iki önemli sonuçtur (Matousek ve diğ.; 2006).

3.6 Karma Sistemler

Son 10-15 yılda balast suyu arıtımı için birçok seçenek göz önünde bulundurulmuştur. Ancak balast suyu arıtımı için uygulanabilecek çeşitli yöntemler, arıtma yöntemine ve balast suyunda yer alan organizmalara bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir (Rigby ve Taylor, 2001). Sonuç olarak günümüzde gemi üzerinde balast suyu arıtımı konusunda yapılan çalışmaların çoğu birden fazla yöntemin bir arada kullanıldığı karma sistemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu sistemler genel olarak iki farklı basamakta gerçekleşecek şekilde oluşturulmaktadır. Birincil arıtım balast suyunda mevcut partikül ve büyük organizmaların mekanik yöntemlerle tutularak balast suyunun ikincil arıtıma hazırlanması şeklinde gerçekleşmektedir; ikincil arıtımda ise birincil arıtımın ardından balast suyunda kalan organizmaların tamamen dezenfeksiyonunu amaçlayan bir veya birden fazla kimyasal ve fiziksel yöntem tek başlarına ya da bir arada yer alabilmektedir (Andruschenko ve diğ., 2004; Hesse ve diğ., 2004; Mackey ve diğ., 2000; Röpell ve Mann, 2004; Wright ve diğ., 2004). Bu sistemlerde yer alan her bir bileşen, farklı organizmaları hedef alarak sistemin verimliliğini arttırmaktadır. Bu şekilde bir kaç

basamaktan oluşacak kombine sistemlerle, balast suyu arıtım sisteminin esnekliği artırılırken hedef alınan organizma yelpazesinin genişletilmesi amaçlanmaktadır.

3.7 Balast suyu arıtım sistemlerinde güncel durum

Bu bölümde balast suyu arıtımı için üzerinde en çok çalışılan yöntemler ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu yöntemlerden her biri balast suyunda yer alan çeşitli organizmalar üzerinde farklı etki göstermektedir. Bu nedenle biyolojik çeşitliliğin çok olması, gemi tip ve balast sularının değişkenliği, gemi rotalarına bağlı olarak öncelikli olarak giderilmesi gereken organizmaların farklılık göstermesi gibi sebepler tek tip standart bir yöntemin kullanılmasını imkânsızlaştırmaktadır. Bu nedenle daha çok karma sistemler üzerinde durulmaktadır. Sistem verimliliğinin yanı sıra seçilecek sistemin maliyeti, gemi üzerinde işgal edeceği alan, işletim masrafları, güç tüketimi, bakım gereklilikleri, gemiye yapısal etkisi, mürettebat sağlığı ve güvenliği gibi göz önünde bulundurulması gereken daha bir çok parametre bulunmaktadır. Tüm bunlar gemi üzerinde balast suyu arıtımı yapabilecek sistemlerin tasarlanmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte IMO resmi internet sitesinde Ekim 2010'da güncellenen listeye göre 10 farklı balast suyu arıtım sistemi (Çizelge 3.1), karasal tesiste ve gemi üzerinde test edilerek BSY Sözleşmesinde yer alan D-2 standartlarını sağladığı ispat ederek Tip Onayı almıştır (Url-8). Bu onay için gereken teknik ayrıntılar ve sertifikalandırma süreçleri G8 rehberlerinde anlatılmaktadır.

Çizelge 3.1 : Tip Onayı almış Balast suyu arıtım sistemleri.

	Üretici	Sistem	Yöntem	Aktif madde
1	Alfa Laval, İsveç	Pure Ballast	Filtre, UV, TiO ₂	var
2	Hamann, Almanya	SEDNA®	Filtre, hidrosiklon, per-asetik asit, hidrojen peroksit, asetik asit	var
3	Techcross, Kore	Electro-Cleen™	Filtre, elektroliz (hipoklorit, elektrik potansiyeli, OH radikalleri)	var
4	Metafil/OceanSaver, Norway	OceanSaver®	Filtre, hidrodinamik kavitasyon, electrodiyaliz, aşırı nitrojen doygunluğu	var
5	NK Co., Ltd, ABD/Kore	NK-O3 Blue Ballast System	Ozon	var
6	Panasia Co. Ltd, Kore	GloEn-Patrol	Filtre, orta basınçlı yüksek şiddetli UV	var
7	Hitachi, Japonya	Clear Ballast	Filtre, koagülasyon, ileri flokülasyon	var
8	NEI Treatment System LLC, ABD	NEI Treatment System VOS,	Venturi oksijen sıyırma (oksijensizleştirme)	yok
9	Hyde Marine, ABD	Hyde Guardian™	Filtre, UV	yok
10	Optimarin,	Optimarin,	Filtre, UV	yok

Bu sistemlerin yedisi aktif madde içerirken üçünde aktif madde yer almamaktadır. Aktif madde kullanan sistemler Tip Onayından önce IMO çatısı altındaki GESAMP ve Balast Suyu Çalışma Grubu tarafından test edilerek, G9 rehberlerinde belirtilen, ikili onay aşamasından (Ön Onay ve Son Onay) geçmişlerdir.

G9 rehberinin amacı balast suyu yönetiminde aktif madde kullanan sistemlerde kullanılan aktif maddelerin, bunların hazırlanma aşamalarının ve bu aktif maddelerin uygulanmasının güvenlik, insan sağlığı ve çevre açısından uygunluğunun değerlendirilmesini sağlamaktır.

Yukarıdaki çizelgede yer alan sistemlerin yanı sıra aktif madde kullanan 11 sistem (Çizelge 3.2) daha ikili onay sistemini geçerek Tip Onayı aşamasına gelirken, bunların dışında 9 sistem de (Çizelge 3.3), Ön Onay olarak Son Onay aşamasına gelmiştir (Url-8).

Çizelge 3.2 : Son Onay olarak Tip Onayı aşamasına gelen arıtım sistemleri.

	Sistemin Adı ve Teklif Eden Ülke	Üretici	Son Onay Tarihi
1	Ballast Water Management System (CleanBallast), Almanya	RWO GmbH Marine Water Technology, Almanya	17 Temmuz 2009
2	Greenship Sedinox Ballast Water Management System, Hollanda	Greenship Ltd	17 Temmuz 2009
3	Resource Ballast Technologies System, Güney Afrika	Resource Ballast Technologies (Pty) Ltd	26 Mart 2010
4	JFE Ballast Water Management System, Japonya	JFE Engineering Corporation	26 Mart 2010
5	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (HHI) Ballast Water Management System (EcoBallast), Kore Cumhuriyeti	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Kore Cumhuriyeti	26 Mart 2010
6	Special Pipe Hybrid Ballast Water Management System combined with Ozone treatment version (SP-Hybrid BWMS Ozone version), Japonya	Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd	1 Ekim 2010
7	"ARA Ballast" Ballast Water Management System, Kore Cumhuriyeti	21st Century Shipbuilding Co., Ltd.	1 Ekim 2010
8	BalClor Ballast Water Management System, Çin	Qingdao Sunrui Corrosion and Fouling Control Company	1 Ekim 2010
9	OceanGuard™ Ballast Water Management System, Norveç	Qingdao Headway Technology Co., Ltd.	1 Ekim 2010
10	Ecochlor® Ballast Water Management System, Almanya	Ecochlor, INC, Acton, ABD	1 Ekim 2010
11	Severn Trent De Nora BalPure® Ballast Water Management System, Almanya	Severn Trent De Nora (STDN), LLC	1 Ekim 2010

Çizelge 3.3 : Ön Onay olarak Son Onay aşamasına gelen arıtım sistemleri.

	Sistemin Adı ve Teklif Eden Ülke	Üretici	Son Onay Tarihi
1	Blue Ocean Shield Ballast Water Management System, Çin	China Ocean Shipping (Group) Company (COSCO	17 Temmuz 2009
2	AquaTriComb™ Ballast Water Treatment System, Almanya	Aquaworx ATC GmbH	17 Temmuz 2009
3	SiCURE™ Ballast Water Management System, Almanya	Siemens Water Technologies	26 Mart 2010
4	DESMI Ocean Guard Ballast Water Management System, Danimarka	DESMI Ocean Guard A/S	26 Mart 2010
5	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (HHI) Ballast Water Management System (HiBallast), Kore Cumhuriyeti	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Kore Cumhuriyeti	26 Mart 2010
6	Kwang San Co., Ltd. (KS) Ballast Water Management System "EnBallast", Kore Cumhuriyeti	Kwang San Co., Ltd.	26 Mart 2010
7	Techwin Eco Co., Ltd. (TWEKO) Ballast Water Management System (Purimar), Kore Cumhuriyeti	Techwin Eco Co., Ltd.	1 Ekim 2010
8	AquaStar Ballast Water Management System, Kore Cumhuriyeti	AQUA Eng. Co., Ltd.	1 Ekim 2010
9	Kuraray Ballast Water Management System, Japonya	Kuraray Co., Ltd.	1 Ekim 2010

4. BALAST SUYU ARITIMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASININ TEMELLERİ

Elektrokimyasal yöntemler son birkaç on yılda içme suyu dezenfeksiyonu (Okochi ve diğ., 1997; Kerwick ve diğ., 2005); tıbbi ortamlarda mikroorganizmaların yok edilmesi, halka açık tesislerin temizliği, tarım, bahçecilik ve su kültürü uygulamaları (Jorquera ve diğ. 2002); atık su arıtımı (Panizza ve Cerisola, 2004; Saracco ve diğ., 2000); soğutma suyu olarak deniz suyu kullanılan bazı boru sistemlerinde ve kimi deniz yapılarında organizmaların yapışmasını engellemek (*antifouling*) (Matsunaga ve diğ., 1998; Wake ve diğ., 2006) gibi birçok farklı problemle mücadele için kullanılmaktadır.

Elektrokimyasal yöntemlerin dezenfeksiyona yönelik kullanımlarında bu yöntemin farklı mekanizmalarından yararlanılmaktadır. Elektrokimyasal sistemlerle üretilen elektriksel alanın öldürücü etkisinin yanı sıra (Feng ve diğ. 2004; Delaedt ve diğ. 2008; Drees ve diğ. 2003) bu sistemler serbest klor, klor dioksit, ozon, hidrojen peroksit gibi dezenfektanların üretimi için de kullanılabilir (Jorquera ve diğ. 2002; Kraft ve diğ. 1999a; Kraft ve diğ. 1999b; Kraft ve diğ. 2002). Ancak elektriksel alanın öldürücü gücünden faydalanılırken, klor başta olmak üzere (Kerwick ve diğ., 2005), açığa çıkan antimikrobiyal maddeler de elektriksel alanla sinerji oluşturarak dezenfektan verimini arttırabilmektedir (Drees, 2003; Li ve diğ. 2002; Feng ve diğ., 2004). Elektrokimyasal sistemlerle oluşturulan elektriksel alan doğrudan organizmaların hücre zarlarına zarar verebildiği gibi kimi durumlarda hücre zarlarını etkilemeden hücre yapılarındaki maddelerin oksidasyonunu sağlayarak mikroorganizmaların ölmesine neden olabilmektedir (Drees, 2003). Bu şekilde gerçekleştirilen elektrokimyasal su ve atık su dezenfeksiyonunda, virüsten bakteri ve yosuna kadar çok geniş bir yelpazede başarılı sonuç elde edilebilmektedir ve bu işlem özellikle tuz içeren sularda oldukça etkindir (Li ve diğ. 2002).

Elektrokimyasal yöntemlerin diğer bir mekanizması olan dezenfektan madde üretimi oldukça geniş ve detaylı bir konudur. Özellikle güçlü oksidasyon aracı olan hipokloröz asidin (HOCl) farklı koşullarda elektroliz ile elde edilmesi konusunda

birçok çalışma yapılmıştır (Kraft ve diğ. 1999a, Kraft ve diğ. 1999b; Kraft ve diğ. 2002; Khelifa ve diğ. 2004; Vijayaraghavan ve diğ. 1999; Jorquera ve diğ. 2002). Klor dezenfeksiyonunda önemli bir rol alan serbest klor gibi dezenfektanların elektrolitik olarak üretiminin gaz halindeki klor ve konsantre hipoklorit çözeltisi kullanımına göre güçlü avantajları mevcuttur. Özellikle deniz suyu gibi tuz ihtiva eden suların dezenfeksiyonunda dışarıdan kimyasal eklenmesine ihtiyaç duyulmayacak olmasının yanı sıra bu tip kimyasalların taşınması ve kullanılması esnasında karşılaşılabilecek zararlardan kaçınılmış olunur (Kraft ve diğ., 1999a; Kerwick ve diğ., 2005). Güçlü oksidasyon aracı olan hipokloröz asidin biyosit ve *antifouling* maddesi olarak kullanımı oldukça yaygındır ve normalde arıtılacak suya kalsiyum ve ya sodyum hipoklorit eklenmesi ile sağlanmaktadır (Jonnalagadda ve Nadupalli, 2004). Ancak Jonnalagadda ve Nadupalli'nin (2004) vurguladığı gibi deniz suyunun klor kaynağı olarak kullanılarak farklı koşullarda yerinde (*in situ*) hipoklorit elde edilmesi oldukça önemli bir alandır.

4.1 Bir Çözelti Olarak Deniz Suyu

Berkem ve Baykut (1980) çözeltiyi iki yada daha fazla cismin bir tek faz oluşturmak üzere meydana getirdikleri homojen karışımlar olarak tanımlamaktadır. Deniz suyu ise içerisinde birçok farklı maddenin çözündüğü bir çözeltidir ve deniz suyunun tuzluluğu 1 kg suda çözülmüş olarak bulunan toplam katı madde miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Kimyasal anlamda tuz, bir asidin hidrojen iyonunun (H^+) herhangi bir pozitif yüklü iyonla yer değiştirmesi ile oluşan bileşiktir ve okyanuslarda bulunan tuzun büyük bir kısmı hidroklorik asitte bulunan (HCl) hidrojen iyonunun (H^+) sodyum (Na^+) ile yer değiştirmesi sonucunda oluşan sodyum klorürdür ($NaCl$) (Thurman, 1997). Dünya okyanuslarının ortalama tuzluluğu ‰35'tir ancak sığ sular ve yerel koşullar göz önüne alındığında ‰25'den daha düşük tuzluluğa sahip acı su (*brackish water*) ve ‰40'ın üzerinde tuzluluğa sahip hipersalin sularda mevcuttur (Bearman, 1989). Kıyı suları ve açık denizler arasındaki en önemli farklılık derinliktir. Kıyı sularının derinliğinin düşük olması nedeni ile bu sular karasal etkiye oldukça açıktır. Bu bölgelerde tuzluluk karadan denize dökülen akarsular ve açık deniz rüzgârları gibi yerel koşullara göre mevsimsel olarak büyük değişkenlik göstermektedir (Thurman, 1997).

Çizelge 4.1 : Deniz suyunda bulunan başlıca iyonlar, Riley ve Skirrow (1975) dan uyarlanmıştır.

İyon	Sembol	g/kg (‰)	Ağırlıkça Yüzde
Klorür	Cl ⁻	19.35	55.07
Sodyum	Na ⁺	10.76	30.62
Sülfat	SO ₄ ²⁻	2.71	7.72
Magnezyum	Mg ²⁺	1.29	3.68
Kalsiyum	Ca ²⁺	0.41	1.17
Potasyum	K ⁺	0.39	1.10
Bikarbonat	HCO ₃ ⁻	0.14	0.40
Bromür	Br ⁻	0.067	0.19
Stronsiyum	Sr ²⁺	0.008	0.02
Boron	B ³⁺	0.004	0.01
Florür	F ⁻	0.001	0.01
Toplam		~35.00	99.99

Deniz sularının toplam tuzluluğu bölgeden bölgeye veya mevsime göre değişmekle birlikte tuzluluğu oluşturan iyonların birbirine oranı yaklaşık olarak sabittir (Bearman, 1989; Thurman 1997). Deniz suyunda bulunan başlıca iyonlar Çizelge 4.1 ile verilmektedir.

Bilinen elementlerin hemen hemen tümü deniz suyunda çözünmüş halde bulunmaktadır. Deniz suyunda, derişimi 100 ppm'in üzerindeki esas maddelerin yanı sıra derişimi 1–100 ppm arasında olan ikincil maddeler ve 1 ppm'den daha düşük olan eser elementler de mevcuttur (Bearman, 1989; Thurman 1997). Tuzluluğu oluşturan esas maddelerin oranları yukarıda da vurgulandığı gibi sabit kalırken ikincil ve eser maddelerin deniz suyunda bulunma oranları değişkendir ve biyolojik ve kimyasal süreçlerden etkilenmektedir (Bearman, 1989).

Su içinde çözünmüş Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺, Fe²⁺, ve Mn²⁺ iyonlarının derişimi suyun sertliğini meydana getirir (Samsunlu, 2005). Bununla birlikte doğal suların sertliğinin tamamına yakını Ca²⁺, ve Mg²⁺ iyonları meydana getirirken, Sr²⁺, Fe²⁺ ve Mn²⁺ iyonları doğal sularda bulundukları derişimlerde sertlik açısından önem taşımazlar (Tünay, O., 1996; Samsunlu, A., 2005).

4.2 Elektrokimyasal Temeller

4.2.1 Redoks tepkimeleri ve elektrokimyasal hücreler

Kimyasal yükseltgenme yani oksidasyon, serbest veya bileşik yapısında bulunan bir elementin değerliğinin yani oksidasyon düzeyinin yükseltilmesi işlemidir. Kimyasal

indirgenme yani redüksiyon ise oksidasyonun tersine, elementlerin değerliğinin düşürülmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Daha basitçe ele alınacak olursa oksidasyon-redüksiyon tepkimeleri atomlar arası elektron değişiminin gerçekleştiği tepkimelerdir ve kısaca redoks tepkimeleri olarak adlandırılırlar. Bir redoks tepkimesi biri “oksidasyon tepkimesi” diğeri redüksiyon tepkimesi olmak üzere iki yarı tepkimeden oluşur ve bu iki yarı tepkime mutlaka aynı anda gerçekleşirler (Tünay ve Kabdaşlı, 1996). Basit inorganik redoks tepkimelerinde elektron kaybeden atom oksitlenirken yani yükseltgenirken, elektron alan atom ise indirgenmektedir. Ancak tepkimelerin karmaşıklığı, elektron alışverişinin ve oksidasyon düzeylerinin tam olarak belirlenememesi nedeni ile organik maddelerin oksidasyon tanımı bu kadar basit değildir. Bunun için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur ancak bizim çalışmamız açısından önemli olan yaklaşım ise “oksidasyonun iyonik formlar dışında; klor atomu, Cl; Hidrojen atomu, H⁰; oksijen atomu, O; gibi formlar ve hidroksil radikali OH⁻ gibi radikallerin transferi ile gerçekleştiği” şeklindedir (Tünay ve Kabdaşlı, 1996).

Elektrokimyasal piller, redoks tepkimeleri ile akım oluşturan; iki elektrot, bir dış devre ve iç devreyi oluşturan elektrolit olmak üzere dört temel elemandan meydana gelen düzeneklerdir ve elektrokimyasal pillerde, bir redoks tepkime yükseltgenme ve indirgenme şeklinde iki yarı tepkimeden oluşmaktadır (Weber, 1972; Berkem ve Baykut, 1980; Sawyer ve diğ., 1994). Bu düzenekleri adlandırmada pil terimi kullanılmakla birlikte, en temel elektrokimyasal birime hücre adı verilir (Linden, 1995). Bu doktora çalışmasında da İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’nde tamamlanmış olan doktora çalışmalarında da tercih edilmiş olması nedeni ile, elektroliz işleminin gerçekleşeceği birimi tanımlamak için “hücre” terimi kullanılacaktır.

Elektriksel iletkenliğe sahip olan her maddeye iletken denir. Elektrolit, elektriği ileten çözeltilere verilen addır ve çözeltilerde elektrik elektronlarla değil de iyonlarla iletilir (Tünay ve Kabdaşlı, 1996). Eğer iletkende hareket eden elektrik yükler sadece elektronlarsa bu tip iletkenler birinci sınıf iletkenlerdir ve elektronik iletken olarak adlandırılır, eğer hareket eden elektrik yükler iyonlarsa bu tip iletkenler de ikinci sınıf iletkenlerdir ve iyonik iletken olarak adlandırılırlar (Berkem ve Baykut, 1980). Bir elektrokimyasal hücrede hem elektronik yükler hem de iyonik yüklerin hareketi söz konusudur (Rajeshwar ve Ibanez, 1996). Basit anlamda elektrokimyasal hücre birinci sınıftan iki iletken (elektrot) ile bu iletkenlerin arasına yerleştirilmiş ikinci sınıftan

olan en az bir iletken (elektrolit) meydana gelen düzenlerdir. Eğer söz konusu hücredeki tepkime dışarıdan gönderilen akım sayesinde gerçekleşiyorsa hücre elektroliz birimi olarak çalışır, yani elektrik akımının geçişi sayesinde kimyasal tepkime gerçekleşir ve bu tip hücreler elektrolitik hücre olarak adlandırılır (Berkem ve Baykut, 1980; Rajeshwar ve Ibanez, 1996; Tünay ve Kabdaşlı, 1996; Johnson, 2001;). Elektrolizde elektrik geçişi kimyasal değişikliğe neden olmaktadır (Rajeshwar ve Ibanez, 1996), elektroliz esnasında çözeltideki iyonlar, elektrotlarda element olarak açığa çıkmaktadır ve elektroliz ile ilgili temel esaslar Faraday tarafından iki kanunla tanımlanmıştır (Tünay ve Kabdaşlı, 1996):

Birinci Faraday kanununa göre, elektrotlarda çözünen veya açığa çıkan madde miktarı geçen elektrik miktarı ile orantılıdır. Elektrik miktarı Q ile ifade edildiğinde madde miktarı, m aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$m = kQ \quad (4.1)$$

Yukarıdaki ifadede k orantı sabitidir. I akım şiddeti, t ise zaman olmak üzere

$$Q = It \quad (4.2)$$

ve

$$m = kIt \quad (4.3)$$

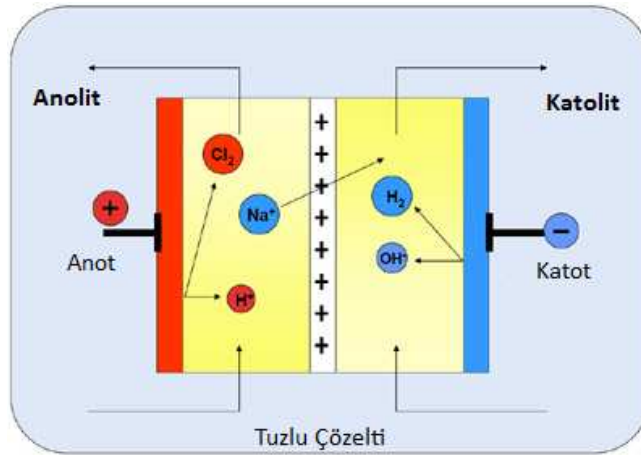
bulunur.

Burada Q ile ifade edilen elektrik yükünün birimi *coulomb* iken, akım şiddetinin birimi amper (A), zamanın birimi ise saniyedir (s).

İkinci Faraday kanununa göre ise, aynı miktarda elektrik ile çözünen veya açığa çıkan farklı maddelerin miktarları bu maddelerin eşdeğer ağırlıkları ile orantılıdır.

Elektrokimyasal pillerde en az iki elektrot bulunur. Bu elektrotlardan anot dış devreye elektron verir ve elektrokimyasal süreç boyunca yükseltgenir, katot ise dış devreden elektron kabul eder ve elektrokimyasal süreç boyunca indirgenir. Bununla birlikte pillerde tepkime hem ileriye doğru hem de geriye doğru gerçekleşebilir, bunun sonucunda bir elektrot, üzerinde yükseltgenme ya da indirgenme gerçekleşmesine bağlı olarak, hem anot hem katot olarak çalışabilir (Rajeshwar ve Ibanez, 1996). Akım yönü değiştiğinde elektrotlarda oluşan reaksiyonların da tersine döndüğü pillere tersinir pil adı verilir ve tersinir pillerde akım yönü değişimi elektrot değişimi veya dışarıdan akım verilmesi ile sağlanır, bu pillerde dış devre bağlantısı

olmazsa kimyasal reaksiyonlar durur (Tünay ve Kabdaşlı, 1996). Bu iki elektrotun yanı sıra her hangi bir akım geçmeyen üçüncü bir elektrot da referans elektrotu olarak elektrokimyasal pile dahil edilebilir ve bu referans elektrotu diğer elektrotların potansiyelinin ölçülmesi için sabit bir potansiyel sağlar (Johnson, 2001). Anot ve katot arasında yer alan katı, sıvı veya çözelti halinde ikinci sınıftan iletkenlik gösteren maddeye elektrolit denir. İyon transferi için ortam oluşturan elektrolit genellikle bir tuzun, asidin, veya bazın sulu çözeltisidir ancak erimiş tuz gibi susuz bir ikinci sınıf iletken de olabilir (Johnson, 2001). Çözeltideki pozitif yüklü iyonlar katyon, negatif yüklü iyonlar ise anyon olarak adlandırılır. Eğer bir elektrottaki elektron hareketi ile ortaya çıkan ürün, diğer elektrottaki elektrokimyasal süreci etkileyecek ise elektrotlar seperatör ile ayrılabilirler (Rajeshwar ve Ibanez, 1996). Ayırma işlemi iyon değiştirici membran seperatör ile gerçekleştirilirse iki elektrotun ürünün karışmaması sağlanırken aynı zamanda anot ve katodun fiziksel teması veya kısa devre yapması engellenir (Linden 1995; Johnson, 2001). İyon değiştirici membranlarda ayırma işlemi, membran yapısındaki sabit iyonlarla aynı yüke sahip iyonların dışarıda tutulmasıyla gerçekleştirilir, buna göre katyon değiştirici membranlar, katyonların geçişine izin verip, anyonları geri iten sabit negatif yüklü gruplar içerirken anyon değiştirici membranlar ise, anyonları geçirip, katyonları geri iten sabit pozitif yüklü gruplar içerir (Salt ve Dinçer, 2006).



Şekil 4.1 : Membran Elektrolizi, Url-9'den uyarlanmıştır.

Öz direnç elektrotlar için en önemli özelliklerden birisidir ve ,

$$\rho_e = R \frac{A}{L} \quad (4.4)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır (Johnson, 2001). Burada L uzunluğu A ise yüzey alanını ifade eder. Elektriksel direncin tersi olan iletkenlik ise,

$$\kappa = \frac{1}{\rho_e} \quad (4.5)$$

veya

$$\kappa = \frac{L}{RA} \quad (4.6)$$

şeklinde tanımlanır (Tünay ve Kabdaşlı, 1996; Johnson, 2001). Birçok metalin direnci 10^{-5} ila 10^{-6} ohm-cm iken karbon elektrodun direnci 10^{-3} ila 10^{-4} arasındadır (Johnson, 2001)

Çözelti direnci elektrotların alanı ile ters, aralarındaki mesafe ile doğru orantılıdır. Bununla birlikte Tünay ve Kabdaşlı (1996) elektrolitik iletkenliği kenarı 1 m olan kübün karşılıklı kenarları arasındaki iletkenlik olarak tanımlamaktadırlar ve elektrolitin konduğu kabın özelliklerinin bilinen bir çözelti ile belirlendiği ve bu değer (l/A) hücre sabiti, C , ile gösterildiği takdirde aynı kapta elektrolitin iletkenliğinin aşağıdaki şekilde hesaplanacağını ifade etmektedirler

$$\kappa = \frac{C}{R} \quad (4.7)$$

Ancak çözeltinin iletkenliği, çözeltinin derişimine bağlı olduğu, yani iyonlarının sayısı ile doğru orantılı olduğu için molar iletkenlik (Λ_m) tanımı çözelti iletkenliği için daha uygun olacaktır (Tünay ve Kabdaşlı, 1996; Johnson, 2001):

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c} \quad (4.8)$$

Molar iletkenlik denkleminde c , çözeltinin molar derişimini ifade etmektedir. Elektrolitlerin molar iletkenlikleri 5 ila 25 S/m arasında değişmektedir bu da elektrotların iletkenliğinden 6 mertebe daha düşüktür (Johnson, 2001).

Arayüzeyler, iki fazı ayıran yüzeylerdir ve matematiksel olarak iki boyutlu bir sınır olarak ele alınmalarına rağmen, bu yüzeylerde birkaç molekül boyutunda ince bir tabakanın özellikleri fazların diğer kısımlarından oldukça farklıdır (Tünay ve Kabdaşlı, 1996). Elektrot/elektrolit arayüzeyleri ise bir elektrokimyasal sistemin belki de en önemli bileşenidir. Çünkü bu arayüzeyler bir elektronik iletken olan

elektrotla iyonik iletken olan elektrolitin kesişim yerleridir ve bunların kapasitesi elektrokimyasal hücrenin zamana bağlı özelliklerini sınırlamaktadır (Johnson, 2001). Elektrokimyasal hücrelerde, her bir elektrodun yüzeyinde gerçekleşen tepkimeler sonucunda elektrot ile elektrolit arasında yük farklılaşmasından dolayı bir potansiyel farkı oluşmaktadır. Bu potansiyel farkı yarı reaksiyon potansiyelini ortaya çıkartmaktadır. Bu açıklamalar ışığında, elektrokimyasal hücrelerin, her birinde birer elektrot bulunan iki yarı-hücreden oluştuğu söylenebilir ve hücrenin elektromotor kuvveti (emk) bu iki yarı-hücrenin potansiyel farkına eşittir (Rajeshwar ve Ibanez, 1996; Tünay ve Kabdaşlı, 1996).

$$E_{pil} = E_{oks} + E_{red} \quad (4.9)$$

4.2.2 Elektrolitik hücre verimini etkileyen etmenler

Elektrokimyasal hücrelerin tasarımı ihtiyaca göre değişmektedir. Hücrenin biçimi, işleyiş şekli, elektrolit akışının şekli, ısı kontrolü, elektrot sayısı, elektrik bağlantıları, anolit ve katolit arasındaki ayıraç, elektrot yapısı temel değişkenlerdir (Rajeshwar ve Ibanez, 1996).

Bir elektrokimyasal tepkimenin ilerlemesi tepkimeye giren maddelerin ürüne çevrilmesine, elektrot yüzeyinde uygun oranda tepkimeye girecek madde sağlanmasına ve ürünlerin elektrot yüzeyinden uzaklaştırılmasına ayrıca elektrot/elektrolit ara yüzündeki yük transferine bağlıdır, elektrokimyasal sürecin hızını belirleyen ise bu basamakların en yavaş olanıdır (Johnson, 2001).

Elektrotlar, hücrede yer alan birinci sınıf iletkenlerdir ve genellikle yüksek iletkenliğe sahiptirler, yani elektron akışına karşı dirençleri azdır. Elektrot için kullanılacak malzeme elektroliz hücresinin veriminde oldukça önemlidir. Malzeme seçimi, elektroliz hücresinin kullanım amacına bağlı olarak değişmekle birlikte bu malzeme yüksek elektriksel iletkenlik sağlamalı, yüksek kimyasal fiziksel ve termal dengeye sahip olmalı, üretimi kolay olmalı, uzun ömürlü olmalı, çevre için kirletici olmamalı, düşük maliyetli olmalı, güvenli ve kolay bulunur olmalıdır (Johnson, 2001). Aktif klorun elektrolitik üretiminde anot için rutenyum oksit kaplı titanyum (Ti/RuO₂) ve platin kaplı titanyum (Ti/Pt) malzemeler, yüksek akımlarda çalışılmasına izin vermeleri ve korozyona karşı dirençli oluşları nedeni ile tercih edilmektedir, katot için ise en çok kullanılan malzemeler grafit, paslanmaz çelik, nikel ve titanyumdur (Khelifa ve diğ., 2004).

Malzeme seçiminin yanı sıra elektrotların yüzey alanları, bu alanlarının birbirine oranı, elektrotlar arasındaki açıklık miktarı oldukça önemlidir. Örneğin hipokloritin elektrolitik üretiminde anodun yüzey alanı arttıkça, hipoklorit çözeltisinin gücünü belirleyen aktif klor derişimi artmakta, ancak elektrotlar arası uzaklık arttıkça aktif klor miktarı azalmaktadır (Khelifa ve diğ., 2004). Elektrotlar arası açıklığın azalması klorürün (Cl^-) hipoklorit iyonuna (ClO^-) dönüşmesini kolaylaştırırken potansiyel düşüşlerini minimize etmekte ve yüksek akım yoğunluğu sağlamaktadır (Khelifa ve diğ., 2004).

Elektroliz hücrelerinin performansında elektrolitin yapısı da oldukça önemlidir. Eğer elektrolit yüksek iletkenliğe sahipse elektrotlar arasındaki direnç azalacak ve elektrolit fazında voltaj düşüklükleri minimum seviyede olacaktır (Johnson, 2001). Eğer elektroliz hücresi ile aktif klor üretimi gerçekleştiriliyorsa, kullanılacak NaCl çözeltisinin derişimi arttıkça, üretilen aktif klor miktarı da artmaktadır (Khelifa ve diğ., 2004).

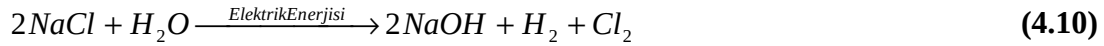
Elektroliz hücrelerinde, kullanılacak ise, seperatörün seçimi de önemli bir konudur. Gerek elektrotlarda gerçekleşen tepkimelerin ürünlerinin elektrolit bileşenleriyle karışmasının, gerekse her bir elektrotta meydana çıkan ürünün diğer elektrotta ortaya çıkan ürünle karışmasının engellenmesi için seperatöre ihtiyaç duyulmaktadır (Rajeshwar ve Ibanez, 1996). Anot ve katot iyon değişken bir membran ile ayrılarak bu tür istenmeyen karışmalar engellenirken, bir türün katotta indirgendikten sonra anotta tekrar yükseltgenmesi engellenerek istenilen tepkime için daha yüksek akım verimi elde edilebilir (Johnson, 2001). Bazı membran seperatörler seçici geçirgendirler. Bu tip seperatörler elektroliz hücresini iki hidrolik bölmeye ayırarak konveksiyon ve difüzyonu engellerken iyon transferine izin verirler. Genellikle bir iyon değişim membranı bir tek iyon için oldukça seçici olmalıdır; nötr moleküllerin transferine çok az izin vermelidir; elektrolite, tepkimeye giren maddelere ve ürünlerine karşı kimyasal olarak dayanıklı olmalıdır; mekanik olarak esnek ve kuvvete dayanıklı olmalıdır; iyon iletkenliği yüksek ancak elektron iletkenliği ihmal edilebilecek seviyede olmalıdır; yüksek akım yoğunluklarında çalışabilmelidir (Johnson, 2001).

Sonuç olarak elektrolitik hücre dizaynında, hücrenin kullanım amacı oldukça önemli rol oynamakta, gerek malzeme seçimi gerekse elektroliz hücresinin geometrisi amaca bağlı olarak belirlenmektedir. Eğer elektroliz hücresi, balast suyu arıtımı için aktif

klor elde edilmesi gibi büyük hacimli elektroliz işleminde kullanılacaksa önemli bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Bu tip elektroliz hücrelerinde, hücre hacmine göre geniş elektrot alanı kullanılmalıdır; elektroaktif türlerin elektrot yüzeyinde kütle transferinin mümkün olduğunca büyük olması sağlanmalıdır; hücrede istenmeyen ısı artışının ve güç kaybının engellenmesi için elektrotların elektriksel direncinin düşük olması gerekmektedir; kullanılacak seperatör, anolit ve katolit karışmasını engellerken hücre direncini arttırmayacak şekilde seçilmelidir (Rajeshwar ve Ibanez, 1996).

4.2.3 Sodyum klorürün elektrolizi

Sofra tuzu olarak da bilinen sodyum klorürün (NaCl) elektrolizi klor-alkali proses olarak adlandırılmaktadır. Bu proseslerde sodyum klorürün elektrolizi sonucunda eş zamanlı olarak klor, kostik soda ve hidrojen oluşmaktadır (Rajeshwar ve Ibanez, 1996; Srinivasan, 2006)



Bununla birlikte klor alkali proseslerde kullanılan metoda göre birçok farklı ürün elde edilmektedir. Bu prosesler diyafram hücre prosesi, membran hücre prosesi ve civa hücre prosesi olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşir (Srinivasan, 2006). Bunlardan diyafram ve membran hücre proseseleri çalışmamızla ilgili olduğu için bu bölümde ikisine değinilecektir.

Her iki tip hücrede de amaç, elektroliz esnasında ortaya çıkan ürünlerin istenmeyen tepkimelerini engellemek için anot döngüsü (anolit) ve katot (katolit) döngüsünü bir seperatör vasıtası ile ayırmaktır. Bu hücrelerde birinci bölmede anotta klorür iyonu (Cl^-) yükseltgenir,



Diyafram hücre proseslerinde, anolit ve katolit bölmeler geçirgen bir diyaframla ayrılır. Anot bölgesinde serbest kalan sodyum iyonları (Na^+) ve elektrolit çözeltisi bu diyaframdan katot bölgesine geçer. Hücrenin ortasında yer alan membran geçirimsiz iyon değişim membranı ise sadece sodyum iyonlarının (Na^+) ikinci bölmeye geçmesine izin verir. Tepkimeye girmemiş sodyum klorür ve diğer iyonlar membrandan geçemez.

Her iki tip hücrede de katotta suyun elektrolizi ile sudaki hidrojen, hidrojen gazına indirgenirken çözeltide hidroksil iyonları bırakır,



Bu esnada birinci bölmede Cl^- iyonunun yükseltgenmesi ile oluşan kor gazı Cl_2 , yükseltgenme tepkimesinin hemen ardından su ile tepkimeye girer ve hipokloröz asit ($HOCl$) ve hidroklorik asit oluşumu gerçekleşir (Abdul-Wahab ve Al-Wesbahi, 2009),



Anot bölmesinden katot bölgesine geçmiş olan sodyum iyonlarının (Na^+) burada hidroksil iyonları ile tepkimeye girmesi ile sodyum hidroksit ($NaOH$), yani kostik soda oluşumu gerçekleşir. Diyafram hücre proseslerinde katot tarafından seyreltik kostik soda ve tuzlu su karışımı çıkarken, membran hücre proseslerinde yüksek derişimde kostik soda oluşumu gerçekleşir. Diyafram hücre prosesleri ile daha yüksek hacimlerde klor üretimi gerçekleşirken, membran hücrelerde ekolojik ve ekonomik açıdan tercih edilmektedir (Srinivasan, 2006).

4.3 Kimyasal Temeller

Su ve atık su dezenfeksiyonunda klorlama uzun yıllardan beri patojenleri tahrip etmek, hastalık yapıcı mikroorganizmaları kontrol etmek ve de oksidasyon amacı ile kullanılmaktadır (Tünay, 1996; Sawyer ve diğ. 1994, Hammer ve Hammer, Jr., 2004). Klorun dezenfektan olarak etkisinin anlaşılması için çalışmanın bu bölümünde önce klor ve dezenfeksiyon kimyasının önemli noktaları açıklanacak, ardından da klor bileşiklerinin dezenfektan etkilerine kısaca değinilecektir.

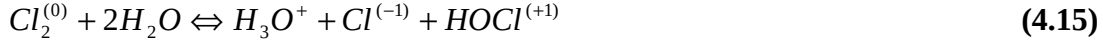
4.3.1 Toplam klor, serbest hazır klor, bağlı hazır klor ve kırılma noktası

klorlaması:

Klor, normal sıcaklık ve basınç koşullarında yeşil-sarı renkte, havadan daha ağır olan zehirli bir gazdır. Element halinde bulunan klorun (Cl_2) yüksek elektronegativiteye sahip olması ve oda sıcaklığına yakın bir sıcaklık olan 25 °C de güçlü tepkimeye girme kabiliyeti belirgin özelliklerindendir. Klor gazı, suda



denklemine göre çözünür ve sudaki çözünürlüğü çok yüksektir. Hipokloröz asit (HOCl) ise klorun su ile tepkimeye girmesi (hidroliz) sonucunda oluşur (Weber,1972):



$$K = \frac{[H_3O^+][Cl^-][HOCl]}{[Cl_2]} = 3 \times 10^4 \quad (4.16)$$

Daha sonra hipokloröz asidin iyonlaşmasıyla hipoklorit iyonu açığa çıkar (Weber,1972):



$$K_a = \frac{[H_3O^+][OCl^-]}{[HOCl]} = 2,5 \times 10^{-8} \quad (20^\circ C' \text{de}) \quad (4.18a)$$

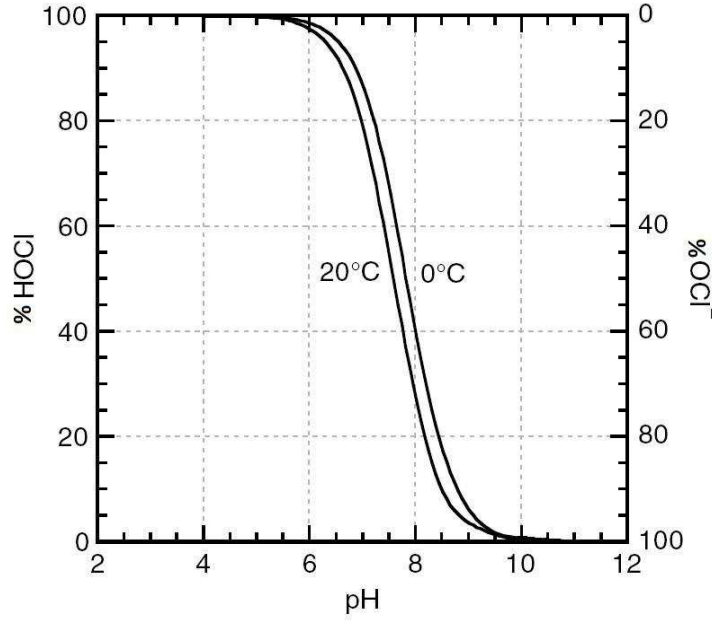
$$\%[HOCl] = \frac{100}{\frac{K_a}{[H_3O^+]} + 1} \quad (4.18b)$$

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} \quad (4.19)$$

Hipokloröz asidin büyük bir kısmı pH'nın 7'den küçük olduğu durumlarda iyonlaşmadan kalırken eğer pH 8'den büyükse hipokloröz asidin çoğu iyonlaşır ve hipoklorit iyonları oluşur (Hammer ve Hammer, Jr., 2004). Hipokloröz asidin ve hipoklorit iyonunun pH değerine bağlı değişimi Şekil 4.2 ile verilmektedir.

Hipokloröz asit, hipoklorit iyonuna kıyasla daha güçlü bir dezenfektan olduğundan, dezenfeksiyon söz konusu olduğunda, pH değerine bağlı bu dağılım büyük önem arz etmektedir. Bu tepkimeler her iki yönde de gerçekleşebilir ve denge sağlandığında tepkime durur. Ortama klor iyonu veya alkali bir madde eklenirse HOCl + HCl üretimi artar. Hidroklorik asit (HCl) kuvvetli asittir ve ortamda tamamen dağılır, hipokloröz asit (HOCl) ise zayıf bir asittir ve dağılımı ortamın pH değeri ile belirlenir (Oğur ve Güler, 2004).

Yukarıda anılan tepkimeler ile oluşan Cl_2 (aq), HOCl ve OCl^- iyonlarının toplamı “serbest hazır klor” (Weber,1972; Tünay, 1996) veya “serbest bakiye klor” (Samsunlu, 2005) olarak adlandırılır. Çalışmamızda gerekli hallerde toplam klor “TK”, serbest hazır klor da “SHK” ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.2 : HOCl ve OCl⁻'nin 0 °C ve 20 °C'de pH a bağlı dağılımı, Asano ve diğ., (2007) den uyarlanmıştır.

Su içerisinde amonyak mevcut ise, klor amonyak ile çeşitli tepkimeler verir. Genellikle atık sularda ve yüzme havuzlarında bulunan amonyak, eser miktarlarda da olsa bazı su kaynaklarında da bulunur ve ayrıca özellikle klor ihtiyacı fazla olan sulara, daha dengeli bakiye klor elde edilmesi amacıyla klorlama öncesinde ve klorlama sırasında veya klorlama sonrasında doğrudan eklenebilmektedir (Weber, 1972). Klorun amonyak ile verdiği tepkimeler diğer bileşiklerle verdiği tepkimelere göre oldukça karmaşıktır ancak bu klorlama uygulaması açısından oldukça önemlidir.

Amonyak suda pH değerine bağlı olarak NH₃ (veya NH₄OH) ve NH₄⁺ (amonyum iyonu) şeklinde bulunabilmektedir,



Denklem 4.20 ile ifade edilen tepkimenin denge sabitinden (Denklem 4.21) de anlaşılabileceği gibi amonyak iyonu doğal suda, su kaynaklarında ve yüzme sularında en yaygın olarak bulunan amonyak türüdür (Weber, 1972).

$$K_a = \frac{[H_3O^+][NH_3]}{[NH_4^+]} = 5.0 \times 10^{-10} \text{ at } 20^\circ\text{C} \quad (4.21)$$

Klorun amonyakla verdiği reaksiyon sonucunda oluşan ürünler iki grupta incelenebilir. Bunlar kloraminler ve amonyağın oksidasyon ürünleridir (Tünay,

1996). Klorun amonyakla veya amonyum iyonu ile verdiği tepkimeler aşağıdaki gibidir (Weber, 1972):

Monokloramin oluşumuna yol açan tepkime:



Dikloramin oluşumuna yol açan tepkimeler:



veya



Trikloramin veya nitrojen triklorür oluşumuna yol açan tepkimeler:



veya



veya



Hipokloröz asit ve amonyak arasındaki tepkimeler tam olarak anlaşılmış değildir. Gerek hipokloröz asit, gerekse amonyak hızlı asit-baz tepkimelerinde yer alırlar; bu nedenle kloramin oluşumu iyonların birbirleriyle (Denklem 28), nötr türlerin birbirleriyle (Denklem 29) veya iyonların nötr türlerle tepkimeleri sonucunda oluşabilir (Denklem 30 ve 31) (Weber, 1972):

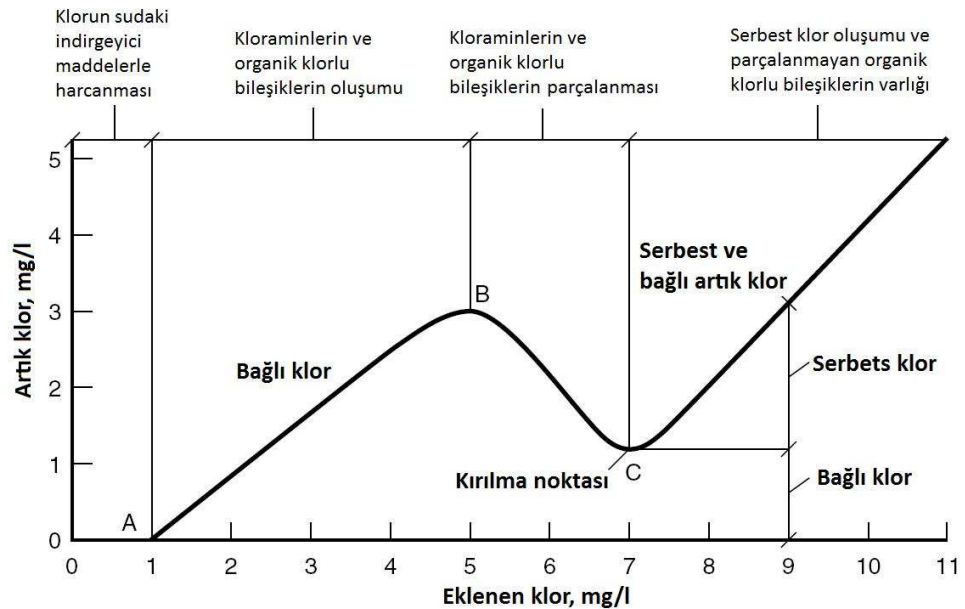


Ters yönde tepkimeler kloraminler için ihmal edilebilecek düzeydedir (Tünay, 1996). Tepkime sonucunda oluşacak ürünlerde sıcaklık, pH, temas süresi ve klor-amonyak oranı önemlidir. Eğer pH 4,5-8,5 aralığında ise monokloramin ve dikloramin

oluşurken, pH'nın 8,5 ve üzeri olduğu durumlarda sadece monokloramin meydana gelmektedir. Ancak pH 4,4 değerinin altında ise trikloramin oluşmaktadır.

Kloraminler yanı sıra, N_2H_4 , NH_2OH , N_2O , NO , NO_2^- , NO_3^- gibi maddeler de amonyağın klorla oksidasyonu sonucu oluşmaktadır, kloraminler ve organik klorlu bileşikler toplamına “bağlı hazır klor” (Tünay, 1996) veya “bileşik bakiye klor” (Samsunlu, 2005) adı verilmektedir. Amonyak ve klorun tepkimeleri sonucunda oluşacak ürünlerde sıcaklık, pH, temas süresi ve klor-amonyak oranı önemlidir (Weber, 1972; Tünay, 1996; Samsunlu, 2005). Çalışmamızda gerekli hallerde bağlı hazır klor “BHK” ile ifade edilecektir

Amonyak içeren bir suya klor eklenmesi sonucunda oluşan bileşikler ve bu bileşiklerin değişimi Şekil 4.3 ile verilmektedir. Serbest ve bağlı hazır klor toplamı “artık klor” (Tünay, 1996) veya “bakiye klor” (Samsunlu, 2005) olarak adlandırılmaktadır. “Kırılma noktası klorlaması” suda bulunan amonyak ve diğer klor bağlayan maddeleri okside etmek sureti ile N_2 'ye veya daha yüksek düzeyli bir oksidasyon ürününe dönüştürülmesi için yapılan işlemdir (Samsunlu, 2005), bu noktaya ulaşmak için kullanılan klor miktarı aynı zamanda suda minimum serbest klor saptanmaya başlanılan dozdur.

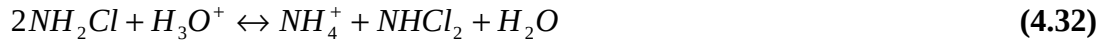


Şekil 4.3 : Kırılma noktası klorlaması, Asano ve diğ., (2007) den uyarlanmıştır.

Klor dozlanmaya başlandığında klor suda bulunan organik ve inorganik maddelerle tepkimeye gire ve klorür iyonuna indirgenir ve Şekil 4.3 de A ile ifade edilen ve suda

sadece amonyak bulunan noktaya ulaşılır. Bu noktadan sonra klorlamaya devam edildiği takdirde kloraminler oluşmaya başlar ve B noktasına kadar amonyak sadece kloraminleri oluşturur. Genellikle kloramin oluşumu oranı ve üretilen NH_2Cl 'nin $NHCl_2$ 'e oranı tepkimedeki $HOCl: NH_3$ oranına bağlıdır (Weber, 1972). Kloraminlerin oluşumu klor/amonyak mol oranının 1 olduğu B noktasına kadar devam eder, buraya kadar oluşan kloraminler monokloramin ve dikloramindir (Tünay, 1996).

Kloraminlerin dağılımı Denklem 4.32 ile ifade edildiği şekildedir (Weber, 1972),



Denklem 4.32 için denge sabiti ise,

$$K = \frac{[NH_4^+][NHCl_2]}{[H_3O^+][NH_2Cl]^2} = 6,7 \times 10^{-5} \quad 25^\circ C \text{ de} \quad (4.33)$$

Kloraminlerin dağılımı, toplam klorun ağırlık oranı amonyak-nitrojene oranı 5'e 1 olarak alınıp Denklem 4.33 ile verilen denge sabitine göre hesaplanarak Çizelge 4.2 ile verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kloraminlerin dağılımı, Weber (1972) den uyarlanmıştır.

pH	NH_2Cl (%)	$NHCl_2$ (%)
5	16	84
6	38	62
7	65	35
8	85	15
9	94	6

B noktasından sonra klor dozlanmaya devam edildiğinde ortamdaki artık klor (serbest hazır klor ve bağlı hazır klor toplamı), kendi aralarında ve kloraminler ile verdikleri tepkimeler sonucunda azalır ve bunun sonucunda C noktasında minimuma ulaşabilir (Tünay, 1996). Bu noktaya “kırılma noktası” adı verilmektedir, bu nokta en yüksek dozda minimum artık klor değerine karşılık gelmektedir ve bu noktadan sonra klor dozlamasına devam edilirse ortamdaki klor, serbest klor halinde ilave edildiği miktarda artar, ortamda ancak eser miktarda dikloramin ve trikloramin mevcut olur (Tünay, 1996). Kırılma noktası klorlaması ortamda amonyak var ise,

daha iyi bir dezenfeksiyon için serbest hazır klor temininde gereklidir (Samsunlu, 2005).

4.3.2 Klorun dezenfektan etkisi

Klorun dezenfektan olarak kullanımının en önemli nedeni, güçlü bir oksitleyici olmasından kaynaklanmaktadır. Klor ve klor dioksit gibi kimyasalların, diğer etkilerinin yanı sıra, organik bileşiklerle oksidatif tepkimeye girebilmeleri nedeni ile bu maddeler doğrudan hücre maddelerinin kimyasal bozunmalarına neden olmaktadır (Weber, 1972) bu nedenle klor dezenfeksiyonun temel mekanizmasının elektron transferi olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte oksidasyon potansiyeli her zaman dezenfeksiyon yeteneğinin bir ölçüsü olmayabilir. Örneğin hidrojen peroksit güçlü bir oksidan olmasına rağmen dezenfektan olarak aynı yeteneğe sahip değildir (Weber, 1972).

Dezenfektan olarak hipokloröz asidin (HOCl) etkisi, hipoklorit iyonuna (OCl⁻) göre yaklaşık 80 kat daha fazladır (Tünay, 1996) ve klorun dezenfeksiyon etkisi daha çok HOCl ve mikrobiyal hücre yapısı arasındaki tepkime sonucu ortaya çıkar. Dezenfeksiyon oranı, tüm dezenfektanlarda olduğu gibi temas süresi, pH ve sıcaklığın yanı sıra mevcut hazır klorun derişimine ve cinsine bağlıdır. Serbest ve bağlı klorun bakterisit etkisi sıcaklıkla birlikte yükselir, düşük sıcaklığa bir de yüksek pH eşlik ederse bakterisit etki azalır ve su dezenfeksiyonu genel olarak pH 7,0 – 8,0 arasında meydana gelir (Oğur ve diğ. 2004; Oğur ve Güler 2004).

Bağlı hazır klorun dezenfektan etkisi serbest hazır klora kıyasla oldukça düşüktür. Bakteri dezenfeksiyonu için temas süresi açısından kıyaslanacak olursa kloraminlerin serbest klor kadar bakterisit etki gösterebilmesi için suda serbest klorun 100 katı süreyle kalmaları gerekirken, derişim bakımından değerlendirildiklerinde eşit temas süresinde, eşdeğer miktarda bakteri yok edilmesi için serbest klora nazaran 25 kat daha fazla kloramine ihtiyaç vardır (Oğur ve diğ. 2004; Oğur ve Güler 2004).

Dikloraminler, kloraminler içerisinde en yüksek dezenfektan etkisine sahiptir bununla birlikte ortamda yeterli miktarda amonyak veya amino bileşikleri varsa ortam pH' ı 7'nin altına düştüğünde monokloraminler dikloraminlere dönüşebilir (Oğur ve diğ. 2004; Oğur ve Güler 2004).

Klorun birçok farklı virüs ve bakterinin dezenfeksiyonunda etkili olduğu laboratuvar ve saha çalışmalarında anlaşılmıştır (Jorquera ve diğ. 2002). Organizmaların türü

açısından değerlendirilecek olursa, bakterilerle karşılaştırıldığında sporlu bakterilerin, virüslerin, protozoonların ve ilkel organizmaların sudan giderilmesi için daha yüksek klor dozu ile daha uzun temas süresine ihtiyaç vardır (Oğur ve diğ. 2004; Oğur ve Güler 2004; Hammer ve Hammer, Jr., 2004).

4.3.3 Klorun güneş ışığı ile reaksiyonu

Güneş tarafından yayılan UV radyasyonu UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç farklı banttadır. Bununla beraber yeryüzüne ulaşan UV radyasyonunun önemli bir kısmı UV-A bandında, çok küçük bir bölümü ise UV-B bandındadır (Masschelein ve Rice 2002) ozon tabakasını aşamayan UV-C radyasyonu ise yeryüzüne ulaşamamaktadır. Bu nedenle deniz suyunda etkisi en fazla görülecek UV radyasyonu UV-A bandındadır.

Çizelge 4.3 : Güneş tarafından yayılan UV radyasyonu, Masschelein ve Rice (2002) den uyarlanmıştır.

UV Bandı	Dalga boyu
UVA	400 nm – 315 nm
UVB	315 nm – 280 nm
UVC	280 nm – 200 nm

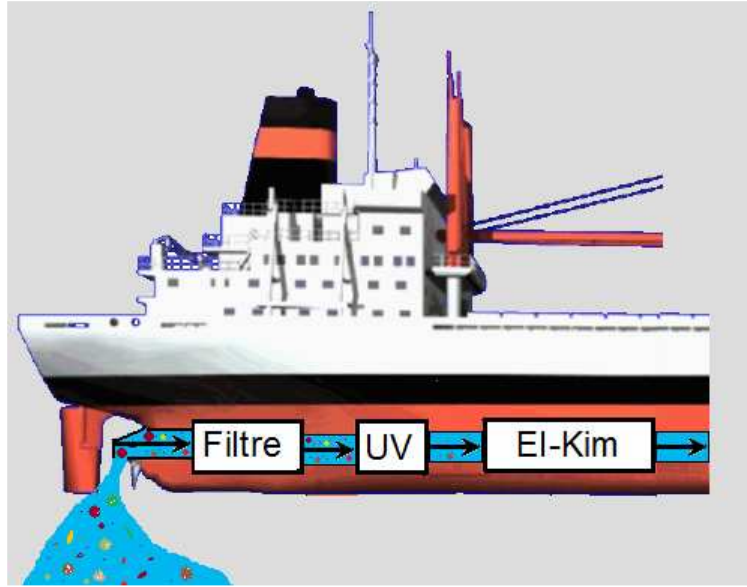
Klor çözeltileri ise Denklem 4.32 ile ifade edildiği şekilde, güneş ışığı ile bozunmakta, ultraviyole ışık bozunma için gereken enerjiyi sağlamaktadır (Tünay, 1996).



5. BALAST SUYU ARITIMI İÇİN LABORATUVAR ORTAMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASI

5.1 BaWaPla - Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi Projesi

BaWaPla - Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi (*Sustainable Ballast Water Management Plant*) Projesi, 11 2006 – 15 Mayıs 2010 tarihleri arasında devam eden ve Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı tarafından desteklenen, 031529 kontrat numaralı araştırma projesidir. Bu projesinin temel amacı UV ve filtre gibi bilinen balast suyu arıtımı teknolojilerinin yanı sıra, deniz suyunun elektrolizini gerçekleştirecek yeni bir elektrokimyasal teknolojinin de dahil olduğu karma bir balast suyu arıtma sisteminin hayata geçirilmesidir. Bu karma sisteme ait olan UV, filtre ve elektrokimyasal teknoloji bileşenlerinin her biri IMO ve MEPC tarafından belirtilen farklı biyolojik türlerin etkisizleştirilmesi için kullanılacaktır.



Şekil 5.1 : BaWaPla - Karma Sistem¹.

Bu Projenin denizcilik sektörü açısından en önemli hedefi, balast suyu yönetimi için güvenilir, ekonomik ve teknolojik olarak rekabet edebilecek düzeyde yeni bir

¹ BaWaPla proje ortağı UNEW'den temin edilmiştir.

alternatif sunmaktır. UV tekniği ile elimine edilemeyecek organizmaların dezenfeksiyonunu sağlayacak optimum bir elektrokimyasal arıtma tekniği geliştirilmesi ise sistemin deniz teknolojisi ve sürdürülebilir balast suyu yönetimi açısından önemli olan başlıca hedeflerindendir. Bu karma sistemle balast suyu ile taşınan organizmaların BSY Sözleşmesi'nde D-2 standardına göre deşarj edilebilecek limitlere (bkz. Çizelge 2.2) indirilmesinin yanı sıra, balast tanklarının temizlenme maliyetlerinin de %90'a varan bir oranda düşürölme hedefleri projenin denizcilik sektörü açısından önemini vurgulamaktadır.

Projenin elektrokimyasal uygulama kapsamındaki bir diğer hedefi de deniz suyunu kullanarak çevreye zararlı yan ürünlerin bulunmadığı ve ağırlıklı olarak, HOCl içeren dezenfektan üretecek elektroliz hücrelerinin üretilmesi ve geliştirilmesidir.

Balast suyu arıtımında kullanılması önerilen kimyasalların (ozon, klor, hidrojen peroksit ve diğer bazı dezenfektanların) gemi üzerinde depolanması ve kullanılması mürettebat güvenliği ve çevre açısından bazı riskler içermektedir. Bu kimyasallar için ayrılacak depolanma alanı ise gemi üzerinde mekân kısıtlaması nedeni ile problem olmaktadır. BaWaPla Projesi'nde HOCl gibi aktif maddelerin alışılmış biçimde klor gazı kullanımı yerine deniz suyunun elektrolizi ile gemi üzerinde üretilmesi hedeflenmiştir. Deniz suyunun elektrolizi karma sistemin önemli bileşeni olan elektroliz hücresinde gerçekleştirildiği takdirde balast suyu arıtımını tamamlayacak aktif maddeler için depolama alanı ihtiyacı ortadan kalkarken sistemin mürettebat ve çevre açısından güvenilir olması sağlanacaktır.

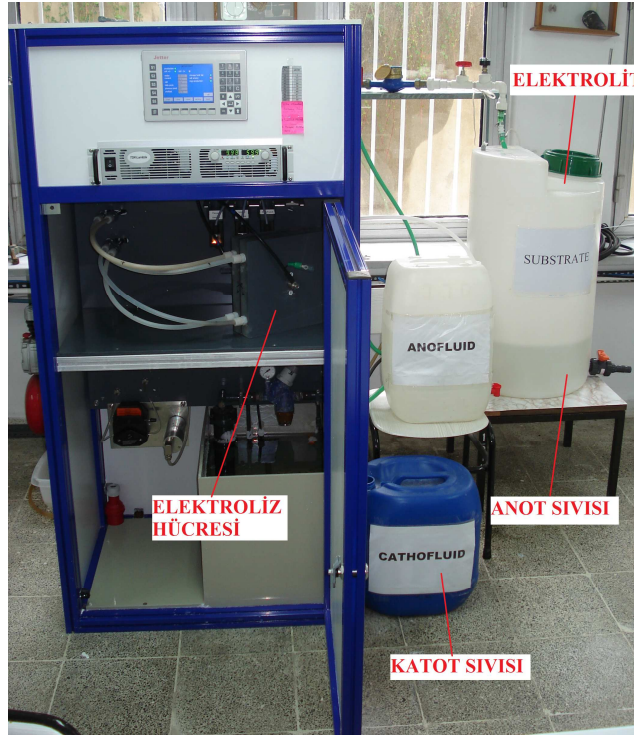
Balast suyu arıtımını tamamlayacak dezenfektanın farklı deniz suyu özelliklerinde optimum performans gösterecek şekilde üretilmesi gerekmektedir. Elektrokimyasal süreçte üretilen dezenfektanın yapısı elektroliz edilecek sıvının kimyasal içeriğine, elektroliz hücresi tasarımına, elektrotlar ve membran seperatör için seçilecek malzemeye ve elektriksel akım gibi işletim koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

Bu doktora çalışması, BaWaPla Projesi ile hayata geçirilen karma sistemde, dezenfektan üretimini yapacak elektrokimyasal hücrelerin geliştirilme ve optimizasyon aşamasındaki laboratuvar çalışmalarını kapsamaktadır. Proje sürecinde iki yıllık dönemde birbirinden farklı şekilde tasarlanmış 5 elektroliz hücresi ile çalışılmıştır. Bu süre zarfında öncelikli olarak elektroliz hücresi performansları belirlenmiştir. Daha sonra elektrolit olarak kullanılacak su ile ilgili hücre dışı bazı

etmenlerin üretilen dezenfektan sıvı üzerindeki etkisi araştırılmıştır ve üretilen dezenfektanın farklı koşullarda değişimi incelenmiştir. Bunlara ek olarak dezenfektan sıvının biyolojik etkinliğinin belirlenmesi için bir takım mikrobiyolojik çalışmalar da yapılmıştır.

5.2 Deney Sistemi

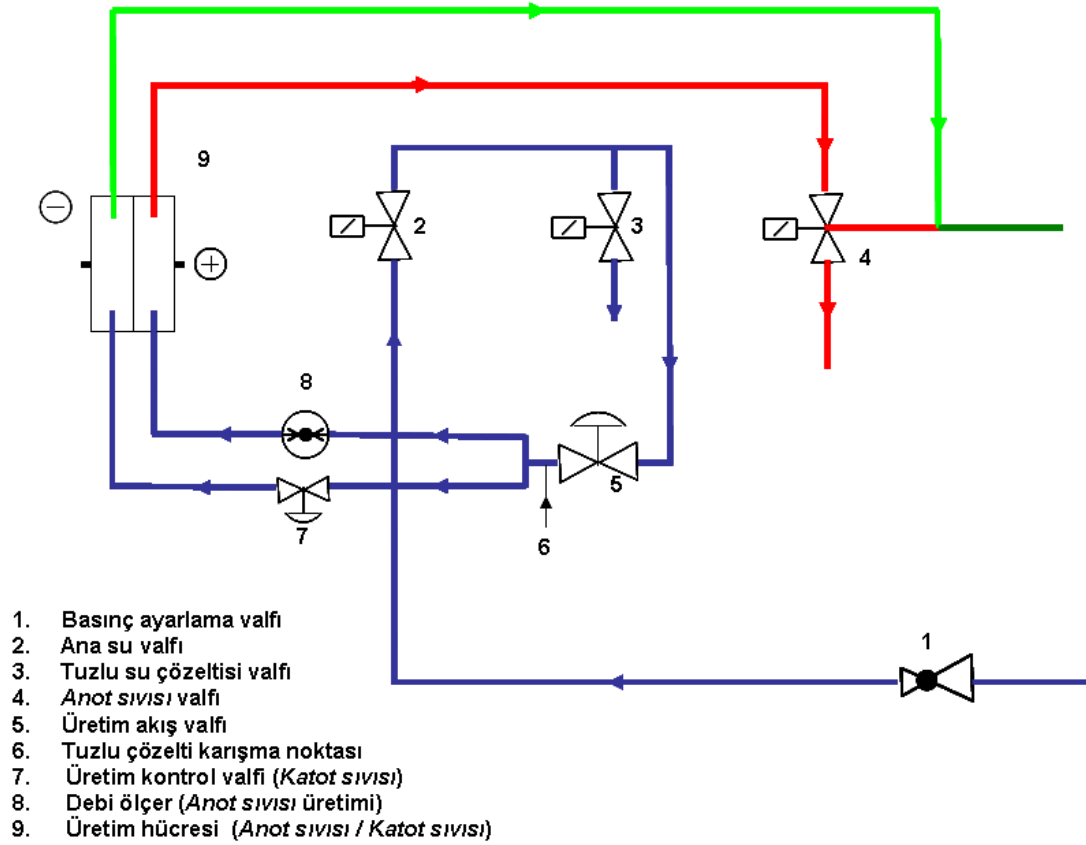
Elektrokimyasal hücre deneyleri, proje ortaklarından LVPG International GmbH (Almanya) tarafından sağlanan jeneratör ve FumaTech GmbH'den temin edilen hücreler kullanılarak İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi İlham Artüz Deniz Bilimleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2)



Şekil 5.2 : Elektrokimyasal Hücre Test Sistemi.

Söz konusu sistemin benzerleri, standart bir elektrokimyasal hücre ile halen karasal tesislerde (yüzme havuzları, tavuk çiftlikleri vs.) dezenfektan sıvı üretimi için kullanılmaktadır. Karasal tesislerde kullanılan bu sistemle dezenfektan sıvı su, tuz (TS EN 973) ve elektrik kullanılarak üretilmektedir. Ancak sistem Proje kapsamında laboratuvar ve saha çalışmalarında ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda gemi üzerinde deniz suyu ve elektrik kullanılarak dezenfektan üretecek şekilde geliştirilmiştir.

Sistemin en önemli bileşeni bir elektrokimyasal hücredir. Bu hücre tuzlu su ile beslenmekte (elektrolit), elektrokimyasal aktivasyon teknikleri (*Electrochemical Activation Techniques-ECA*) kullanılarak hücre içerisinde gerçekleşmesi sağlanan elektrokimyasal tepkimeler sonucunda daha çok sodyum hipoklorit (NaOCl) içeren bir dezenfektan üretilmektedir. Membran teknolojilerinin elektrokimyasal aktivasyon teknikleri ile birleştirilmesi ile elektroliz hücresinin anot tarafında HOCl içeriği zengin bir dezenfektan olan “anot sıvısı” üretimi gerçekleştirilmektedir. Standart sistem gerekli görüldüğü takdirde katot tarafından alkali bir sıvı olan “katot sıvısı” da üretebilmektedir. Katot sıvısı normal şartlarda dezenfektan amacı ile kullanılmamaktadır. Ancak sistem, Proje kapsamında üretilen elektroliz hücresi ile akım yönü değiştirildiğinde normal şartlarda katot olarak çalışan bölmeden yine dezenfektan etkisi olan katot sıvısı üretimi gerçekleştirilecek şekilde geliştirilmiştir.



Şekil 5.3 : Anot Sıvısı / Katot Sıvısı Üretimi Akış Şeması¹.

Karasal tesislerde kullanılan sistemlerde üretilen dezenfektanın klor derişimi doymuş NaCl çözeltisiyle saf su veya musluk suyunun, sistem üzerinde istenilen oranda otomatik olarak karıştırılması ile sağlanmaktadır. Anot Sıvısı / Katot Sıvısı Üretimi

¹ BaWaPla proje ortağı LVPG GmbH’den temin edilmiştir.

Akış Şeması'nda (Şekil 5.3) 2 numaralı nokta saf su/musluk suyunun sisteme verildiği noktayı, 3 numaralı nokta NaCl çözeltisinin sisteme verildiği noktayı göstermektedir. Bu iki suyun karıştırıldığı yer ise şekilde 6 numaralı nokta ile gösterilmektedir. Daha sonra bu su elektroliz hücresine iletilerek anot sıvısı veya katot sıvısı üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu doktora çalışması kapsamında başlangıç deneyleri de bu şekilde yapılmıştır. Ancak daha sonraki deneylerde kullanılan elektrolitin tuzluluğunun daha kontrollü olabilmesi için istenilen tuzlulukta hazırlanan su doğrudan 2 numaralı noktadan sisteme gönderilmiş, 3 numaralı noktadaki valf daima kapalı konumda tutularak karışım engellenmiştir. Bu doktora çalışmasında, gerekli hallerde, anot sıvısı “AS”, katot sıvısı ise “KS” kısaltmaları ile ifade edilecektir.

5.3 Deneylerde Kullanılan Elektroliz Hücreleri

Elektroliz hücrelerinin balast suyu arıtımında kullanılabilmesi ve optimize edilebilmesi için iki yıllık dönemde 5 farklı elektroliz hücresi ile çalışılmıştır. Tavuk çiftlikleri, hastaneler ve dezenfeksiyon gereken tesislerde kullanılmakta olan standart elektrokimyasal hücre ile gerçekleştirilen başlangıç deneylerinin ardından gemi üzerinde deniz suyu elektrolizinde kullanılmak üzere geliştirilme aşamasında olan 4 elektrokimyasal hücrenin standardizasyonu ve optimizasyonu için deneyler gerçekleştirilmiştir. Standart hücre dışındaki hücreler bu çalışmada sırası ile FTEC 100, FTEC 500, EC100 Nr. 240 ve EC100 Nr. 201 olarak adlandırılacaktır.

Elektroliz hücrelerinin tümünde anolit ve katolit çevrimleri, yapılacak çalışmaya bağlı olarak, tuzlu su veya deniz suyu ile beslenmekte ve elektrotlara dışarıdan elektrik akımı uygulanarak anotta klor oluşumu sağlanmaktadır. Bununla birlikte suyun parçalanması ile oksijen açığa çıkmakta ve hidronyum iyonu (H_3O^+) da üretilmektedir. Daha sonra oluşan ikincil reaksiyonların ardından oldukça etkili dezenfektan sıvı olan anot sıvısı üretilmektedir.

Standart elektroliz hücresinde (Şekil 5.4) her iki elektrot genişletilmiş ızgara (grid) şeklinde tasarlanmıştır ve elektrotlar 88x42 mm boyutundadır. Anot, titanyum (Ti) üzerinde karışık metal oksit kaplamadan (Rutenyum oksit / Iridyum oksit – RuO_2 / IrO_2) yapılmıştır. Katot için kullanılan malzeme ise paslanmaz çeliktir. Elektroliz hücresinde kumaş takviyeli perfloro sülfonik asit katyon değişim membranı kullanılmıştır. Standart elektroliz hücresi için üretici firma tarafından belirtilen

maksimum voltaj değeri 25 V iken çalışma voltajı 8-12 V'dur. Bu hücre için maksimum elektrik akımı 20 A iken çalışma değeri tipik olarak 16 A'dır.



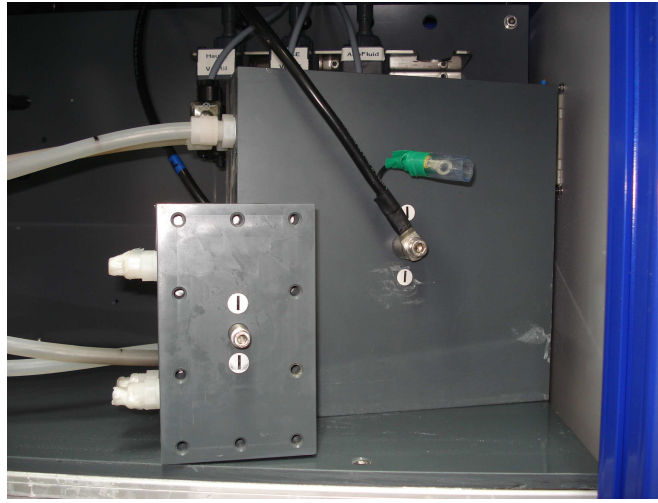
Şekil 5.4 : Standart Elektroliz Hücresi.

Çizelge 5.1 :Deneylerde kullanılan elektroliz hücreleri ¹.

		Standart Hücres	FTEC 100	FTEC 500	EC 100Nr. 201	EC 100Nr. 201
Boyut	Anot:	88x42 mm	88x42 mm	175x175mm	88x42 mm	88x42 mm
	Katot:	88x42 mm	88x42 mm	175x175mm	88x42 mm	88x42 mm
Şekil	Anot:	Genişletilmiş ızgara (<i>grid</i>)	Kompakt düzlemsel	Kompakt düzlemsel	Özel	Özel
	Katot:	Genişletilmiş ızgara (<i>grid</i>)	Genişletilmiş ızgara (<i>grid</i>)	Genişletilmiş ızgara (<i>grid</i>)	Özel	Özel
Malzeme	Anot:	Ti üzerinde RuO ₂ / IrO ₂ kaplama	Ti üzerinde RuO ₂ / IrO ₂ kaplama	Ti üzerinde RuO ₂ / IrO ₂ kaplama	Ti üzerinde Özel kaplama ve ek katman	Özel kaplama ve ek katman
	Katot:	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik	Özel kaplama ve ek katman	Özel kaplama ve ek katman
Membran		Kumaş takviyeli perfloro sülfonik asit katyon değişim membranı	Kumaş takviyeli perfloro sülfonik asit katyon değişim membranı	Kumaş takviyeli perfloro sülfonik asit katyon değişim membranı	Kumaş takviyeli perfloro sülfonik asit katyon değişim membranı	Kumaş takviyeli perfloro sülfonik asit katyon değişim membranı

¹ Çalışmalarda kullanılan elektroliz hücreleri FumaTech GmbH'den temin edilmiş olup, hücreler ile ilgili yapısal ve teknik özellikler ile ilgili bilgiler proje kapsamında yapılan kişisel görüşmeler, yazışmalar ve yayınlanmamış şirket belgelerine dayanmaktadır.

FTEC 100 ve FTEC 500 kodlu elektroliz hücrelerin standart hücreden en önemli farkı anot tasarımında kullanılan şekildir. Her iki hücrede de anot, standart hücreden farklı olarak, kompakt düzlemsel biçimde tasarlanmıştır. Bu değişikliğin amacı aynı akım altında daha fazla klor değerleri elde edebilmektir. Katot ise, standart hücredeki gibi genişletilmiş ızgara şeklindedir. Gerek membran gerekse anotta ve katotta kullanılan malzemeler standart hücre ile aynıdır. FTEC 100 ile FTEC 500 arasındaki fark ise bu iki hücrenin boyutlarıdır. FTEC 100’de elektrotların boyutları standart hücredeki gibi 88x42 mm iken FTEC 500’de elektrotlar 175x175mm olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : FTEC 100 ve FTEC 500.

Gerek FTEC 100 gerekse FTEC 500 kodlu hücreler 100 l/sa. anot sıvısı üretim kapasitesi ile çalışmaktadır. Her iki elektroliz hücresi için maksimum voltaj 25 V, çalışma voltajı tipik olarak 8-12 V’dur. Elektrik akımının FTEC 100 için maksimum değeri 20 A iken çalışma değeri tipik olarak 16 A’dır. FTEC 500 için bu değerler sırası ile 60 A ve 40 A’dır. Kullanılan elektrolitin sodyum klorür (NaCl) derişimi 10 mg/L olduğunda, FTEC 100 ile üretilen anot sıvısı için beklenen klor derişimi 80 mg/L, redoks potansiyeli 1140 mV iken FTEC 500 ile 350 mg/L klor derişimi ve 1170 mV redoks potansiyeli hedeflenmektedir.

EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 (Şekil 5.6) elektroliz hücrelerinin elektrotları özel bir geometriye sahiptir. Bu geometriyle, gerekli hallerde, elektroliz hücrelerin gemi üzerinde seri bağlanabilmesi amaçlanmaktadır



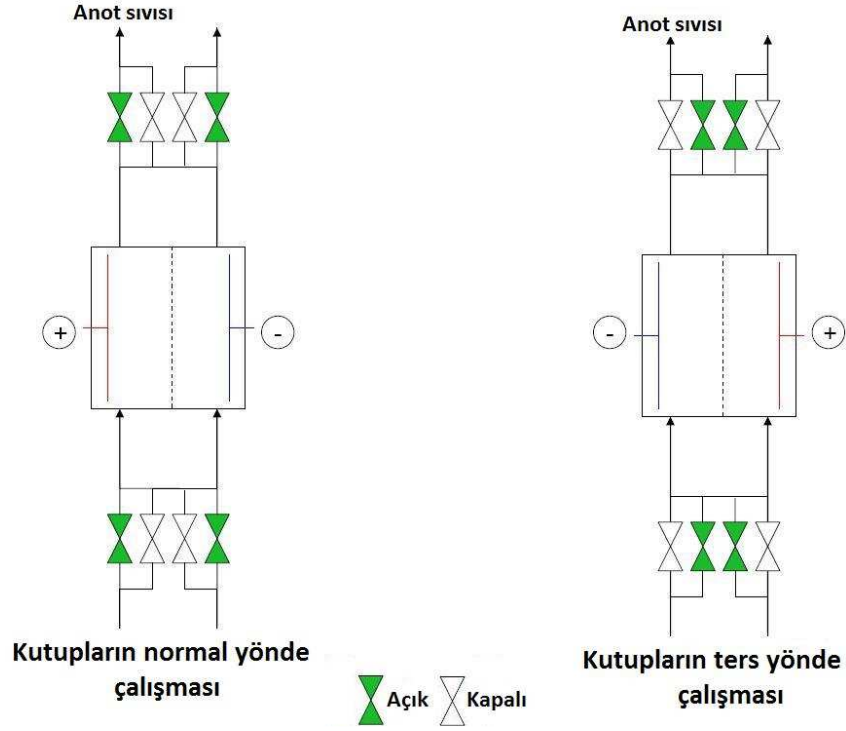
Şekil 5.6 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240.

Her iki elektroliz hücresinin elektrotları deniz suyunun tuzluluk içeriğine dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle titanyum elektrotlarının üzerindeki metal oksit kaplama standart kaplamadan farklıdır. Elektrotların deniz suyuna dayanıklılığı kaplamada kullanılan rutenyum - iridyum karışımının optimize edilmesi ve temperleme sayesinde sağlanmıştır.

Bu hücrelerde ayrıca metal yüzey ile kaplama arasında ek bir katman da kullanılmıştır. Bu katman kutupların ters yönde çalışmasına olanak tanımaktadır. Genel olarak kutupların kısa süreliğine ters yönde çalıştırılmasıyla, deniz suyu içeriğinde var olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları nedeni ile, elektrotlar üzerinde zamanla oluşan birikintilerin (Yonsel ve Bilgin Guney, 2010) giderilmesi amaçlanır.

Kutupların normal ve ters yönde çalışmaları elektroliz hücresinin hidrolik bağlantılarının sistem üzerinde değiştirilmesi ile sağlanmaktadır (Şekil 5.7). Bu sayede, elektroliz hücresindeki kimyasal tepkime hem ileriye doğru hem de geriye doğru gerçekleşebilmektedir. Bunun sonucunda da Bölüm 4.2.1 'de belirtildiği gibi elektrotlar, üzerinde yükseltgenme ya da indirgenme gerçekleşmesine bağlı olarak, hem anot hem katot olarak çalışabilmektedir.

Kutuplar ters yönde çalıştırıldığında üretilen dezenfektan çalışmamızda karışıklığa neden olmaması için “katot sıvısı” olarak adlandırılmıştır ve gerekli hallerde “KS” ile ifade edilmiştir. Katot sıvısının da, gerektiği taktirde anot sıvısı gibi balast suyu dezenfeksiyonunda kullanılması amaçlanmaktadır.



Şekil 5.7 : Elektroliz hücrelerinin kutuplarının normal ve ters yönde çalıştırılması¹.

5.4 Deneylerde Kullanılan Su

Standart elektroliz hücresi ile yapılan deneylerde deiyonize su ve doymuş sodyum klorür (NaCl) çözeltisi sistemde yer alan karıştırma noktasında (Şekil 5.3) oranlarda karıştırılarak yani LVPG International GmbH tarafından önceden kullanılan ve önerilen şekilde kullanılmıştır. Ancak sistem üzerindeki pompanın devrinin sabit olmaması nedeni ile hedeflenen tuzluluğa her deneyde tam olarak ulaşmak mümkün olmamıştır (bkz. Bölüm 6.1.1). Gemi üzerindeki uygulamalarda dezenfektan sıvı, balast suyunun alındığı bölgedeki deniz suyunun doğrudan elektroliz hücrelerinde işleminden geçirilmesi ile elde edilecektir. Bu iki durumda göz önünde bulundurularak standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen deneyler dışındaki tüm deneylerde elektrolit olarak kullanılacak olan su, istenilen koşullarda önceden hazırlanıp doğrudan sisteme gönderilmiştir.

Sistemin optimal koşullarını belirlerken öncelikle deniz suyunun bilinmeyen özelliklerinin sebep olabileceği istenmeyen etkileri gidermek amacı ile deiyonize su veya musluk suyu ile hazırlanan ve tuzluluğu istenilen şekilde ayarlanan NaCl

¹ BaWaPla proje ortağı LVPG GmbH'den temin edilmiştir.

çözeltileri kullanılmıştır. Çalışmamızda deiyonize su ile hazırlanan çözeltiler DI kısaltması ile gösterilmektedir. Çalışmamızda musluk suyu ile hazırlanan çözeltiler “yapay deniz suyu” olarak adlandırılmıştır ve kısaca YDS olarak ifade edilmiştir. Elektroliz hücrelerin gerçek deniz suyuna uygunluğunu test etmek içinse İstanbul Boğazı’nda Yeniköy’den alınan deniz suyu kullanılmıştır (Şekil 5.8). Bu deniz suyuyla farklı tuzluluklarda çalışabilmek amacı ile bazı çalışmalarda sodyum klorür (NaCl) eklenerek tuzluluk artırılırken bazı çalışmalarda musluk suyu eklenerek daha düşük tuzluluğa sahip su elde edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan sodyum klorür EN 973 standardına uygundur (TS-EN 973, 2003).

Söz konusu suları ayırt etmek için kullanılan kısaltmalar şu şekildedir:

MS: Musluk suyu

DI: Deiyonize su + NaCl

YDS: Musluk suyu + NaCl

DS: Deniz suyu / Deniz Suyu + NaCl / Deniz Suyu + MS



Şekil 5.8 : İstanbul Boğazı ve Yeniköy-Deniz suyu alma noktası.

Anot sıvısı üretmek için kullanılacak elektrolitin tuzluluğu, çeşitli denizel bölgede rastlanılması mümkün olan tuzluluklar dikkate alınarak seçilmiştir. Örneğin okyanuslarda tuzluluk ‰ 31-38 arasında değişirken bu değer Karadeniz ve İstanbul Boğazı’nda ‰~18 civarındadır, Baltık Denizinde ise ‰ 7’ye kadar düşmektedir.

5.5 Ölçülen Parametreler ve Ölçme Yöntemleri

Elektroliz hücreleri ile üretilen dezenfektan sıvının kalitesinin anlaşılabilmesi için bir dizi analiz yapılmıştır. Toplam klor, serbest hazır klor, klorür miktarları tespit

edilirken bu miktarlar üzerinde etkili olan pH ve sıcaklığın yanı sıra redoks potansiyeli, tuzluluk ve iletkenlik değerleri de kontrol edilmiştir.

Çizelge 5.2 :Analizler ve analiz yöntemleri.

Parametre	Analiz cihazı
Redoks Potansiyeli	Hach Sension1 pH / mV Meter
pH	WTW 720 InoLabseries - pH Meter
Sıcaklık	WTW 720 InoLabseries - pH Meter
Tuzluluk	WTW LF 196 –Microprocessor Conductivity Meter
İletkenlik	WTW LF 196 –Microprocessor Conductivity Meter
Klor (toplam ve serbest)	Hach DR 2000- DPD method

Laboratuvar ölçümlerinde Hach DR/2000 spektrofotometre cihazı kullanılarak toplam klor (DPD metodu), serbest hazır klor (DPD metodu), klorür (Cıvalı Tiyosiyanat metodu) derişimleri öncelikli olarak tespit edilmişlerdir

Kontrol parametreleri laboratuvar tipi cihazlarla doğrudan okuma yöntemi ile ölçülmüşlerdir. Bunlardan redoks potansiyeli Hach Sension1 cihazı ile tespit edilirken, tuzluluk ve iletkenlik WTW 196 ile pH ve sıcaklık ise WTW 720 cihazı ile belirlenmiştir. Akım, debi ve redoks potansiyeli ise test sistemi ekranından okunmuştur (Şekil 5.2).

Mikrobiyolojik analizler için iki farklı besiyeri kullanılarak ekim yapılmıştır. Ekimler, besiyerleri ile önceden hazırlanan petri kaplarına numunelerden uygun seyreltmeler yapılarak gerçekleştirilmiş, bu petri kapları 48 saat boyunca 35°C de inkübasyon etüvünde bekletilmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda petri kaplarında koloni oluşturan birimler (cfu) sayılmıştır.

Dezenfektanın *B. Subtilis* sporları üzerindeki etkinlik kapasitesinin araştırıldığı deneylerde besiyeri olarak BBL marka “*Standart Method Agar*” kullanılmıştır. Üretilen dezenfektanın Yeniköy’den alınan deniz suyu örneklerinde yaşayan mikroorganizmalar üzerindeki etkinlik kapasitesini tespit etmek üzere ise besiyeri olarak Difco marka “*Nutrient Agar*” kullanılmış ve toplam bakteri sayımı yapılmıştır. Burada "toplam bakteri" ya da "toplam canlı bakteri" olarak tanımlanan bakteri sayısının aslında toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte aerobik - mezofilik olarak tanımlanan sınırlar içinde gelişebilen organizmalar, oksijenli ortamda 25°C-40°C arası sıcaklıkta, bazı patojen organizmaların da dahil olduğu, çok geniş yelpazede yer alan organizmalardır. Kullanılan “*Nutrient Agar*” BSY Sözleşmesinde istenen standartlarda belirtilen mikroorganizmalarında (*Escherichia coli* ve *intestinal enterococci*) yetişmesi için uygun ortam sağlamaktadır (BD, 2009). Ancak Balast

tanklarında taşınacak organizmaların çok çeşitli olması nedeni ile de, yapılan çalışmalarda mikroorganizma türü ve cinsi değil, toplam canlı bakteri sayısı dikkate alınmıştır.

5.6 Gerçekleştirilen Deneyler

Bu doktora çalışmasında öncelikli olarak gemi üzerinde kurulacak olan karma sistemde yer alacak uygun elektroliz hücrelerinin performanslarının, elektrolit içeriği ve sıcaklığı gibi hücre dışı etmenlerin etkisi olmadan belirlenmesi hedeflenmiştir. Ancak gerçekte üretilecek dezenfektanın içeriği, elektrolit olarak kullanılacak suyun sıcaklığı ve içerdiği organik bileşenlerin yanı sıra Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları gibi kimyasal özelliklerine göre de değişiklikler göstermekte olduğundan bu etmenlerin hücre performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunlara ek olarak elektroliz hücresi ile üretilen dezenfektan anot sıvısı, kullanım esnasında farklı koşullara maruz kalacaktır. Bu nedenle anot sıvısının farklı koşullarda değişimi de incelenmiştir. Son olarak kullanılacak anot sıvısının biyolojik etkinliğinin gözlenmesi amacıyla *Bacillus Subtilis* sporları ve kullanılan deniz suyunda mevcut olan toplam bakteri ile çalışılmış, anot sıvısının bu organizmalar üzerindeki dezenfektan etkisi gözlemlenmiştir.

5.6.1 Elektroliz hücrelerinin performanslarının belirlenmesi

Bu deneyler her bir elektroliz hücresi için üretici firma FumaTech GmbH tarafından belirtilen, hücrenin gerektirdiği şartlarda çalışarak gerçekleştirilmiştir. Elektroliz hücresi dizaynında amaç optimal koşullarda maksimum klor derişimine sahip dezenfektanın üretilmesi olduğu için çalışmamız açısından performans göstergesi toplam klor (bakiye klor) ve serbest hazır klor derişimleridir.

5.6.1.1 Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri

Başlangıç aşamasında gerçekleştirilen bu deneyler daha sonraki aşamalarda gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları ve sistemin optimizasyonu için önemli bir altyapı oluşturmuştur. Bu deneylerde dört farklı tuzluluğa sahip elektrolit kullanılmıştır. Anot sıvısı üretimi 100 l/sa olacak şekilde 10 dakika süre ile üç farklı elektriksel akım altında gerçekleştirilmiştir. Anot sıvısı örnekleme ise 10. dakikanın sonunda gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.3).

Bu aşamada sistem karasal tesislerde kullanıldığı şekilde çalıştırılmıştır. Anot sıvısı üretiminde kullanılacak olan elektrolit, istenilen oranda saf su ve doymuş NaCl çözeltisinin, Bölüm 5.2’de de anlatıldığı gibi, deney sisteminde otomatik olarak karıştırılması ile hazırlanmıştır. Karıştırma işleminin hemen ardından standart hücreye gönderilen bu tuzlu suyun elektroliziyle anot sıvısı üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Bölüm 6.1.1 ’de değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.3 :Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri.

Elektrolit	DI + tuzlu su çözelti (tuzlu çözelti karışım oranları %14, %34, %50 ve %59; hedeflenen tuzluluklar: %9, %20, %30 ve %35); Tuzlu su çözeltisi: DI+ NaCl (TS EN 973)
Debi:	100 L/sa
Akım:	8A, 12A ve 16 A
Örnekleme :	Anot sıvısı üretiminin 10. dakikası
Laboratuvar testleri:	Toplam klor, serbest hazır klor, klorür

5.6.1.2 FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri

FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile yapılan deneylerin amacı anodun geometrisinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilen yeni hücre tasarımının anot sıvısının klor içeriği üzerindeki etkisinin belirlenmesidir.

Deneyler üç seri olarak tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler temel olarak 120 dakika süreyle anot sıvısı üretmek için üç farklı tuzluluğa (%10, %20 ve %30) sahip elektrolit ile iki farklı akım değeri (10 A ve 16 A) altında üç farklı anot sıvısı debisinin (50 L/sa., 60 L/sa., 75 L/sa) test edilmesi olarak özetlenebilir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4 :FTEC 100 kodlu elektroliz hücresinin performans deneyleri.

Elektrolit	YDS: MS + NaCl (TS EN 973) (Tuzluluk: %10, %20 ve %30)
Debi:	50 L/sa. 60 L/sa. 75 L/sa
Akım:	10 A ve 16 A
Voltaj	0. – 30. – 120 dakikada kaydedilen değerler
Örnekleme :	Anot sıvısı üretiminin 30. ve 120. dakikaları
Laboratuvar testleri:	Toplam klor, serbest klor ve klorür (anlık ölçümler)

Anot sıvısı örnekleme 30. ve 120. dakikalarda gerçekleştirilmiştir. Test edilecek optimum akımın belirlenebilmesi için birçok ön deney gerçekleştirilmiş, ancak 10 A’ın altındaki hiç bir akım ayarında ölçülen gerçek akım 2 amperi geçememiştir. Akımdaki belirgin yükselmeler sadece 10 A ve üzeri akım ayarlarında elde

edilebilmiştir. Bu nedenle deneylere 10 A ve 16 A akım ayarlamaları ile devam edilmiştir.

Çizelge 5.4 ile verilen prosedüre göre deneyler bir tam seri olarak tamamlandıktan sonra elektroliz hücresi deiyonize su ile temizlenip doldurularak soğutucuda bir ay süreyle saklanmış, tekrar deneyleri olan ikinci seri deneylere bu bir aylık bekleme süresinin ardından devam edilmiştir. İkinci seri deneylerde anot sıvısı üretiminin üç yerine iki farklı debide (50 L/sa ve 75 L/sa) gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Ancak 75 L/sa debi ile anot sıvısı üretimi gerçekleştirilirken elektroliz hücresinde bir sızıntı oluşmuştur. Bunun üzerine anot sıvısı üretimine daha düşük debi (60 L/sa) ile devam edilmiş sızıntı devam ettiği tespit edilerek deneylere bir süre ara verilmiş ve BaWaPla projesi kapsamında Newcastle'a gönderilen elektroliz hücresinin deney programına uygun olarak tekrar İTÜ'ye gönderilmesinin ardından üçüncü seri deneyler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü seri deneylerde sadece 50 L/sa debi ile anot sıvısı üretilmiş ve anot sıvısı üretimi bir kez de İstanbul Boğazı'ndan alınan deniz suyu ile de gerçekleştirilmiştir.

FTEC 100 ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Bölüm 6.1.2 'de değerlendirilmiştir.

5.6.1.3 FTEC 500 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneyleri

FTEC 500 ile yapılan deneylerin amacı yeni hücre tasarımı ile arttırılan elektrot yüzey alanının anot sıvısı kalitesi üzerindeki etkisinin tespiti ve bu dizaynın elektrolit olarak deniz suyu kullanımına uygunluğunun test edilmesidir.

İlk aşamada doğal deniz suyunun içerdiği birçok farklı maddenin sebep olabileceği kontrolü mümkün olmayan etkilerin giderilebilmesi için anot sıvısı üretiminde yapay deniz suyu kullanılmıştır. Bu deneyler 10 dakika süreyle anot sıvısı üretmek için temel olarak üç farklı tuzluluğa sahip elektrolit ile dört farklı akım şiddeti (30 A., 40 A., 50 A., 60 A.) altında bir anot sıvısı debisinin (100 l/s) test edilmesi olarak özetlenebilir (Çizelge 5.5). Anot sıvısı örnekleme başlangıçta ve 10. dakikada gerçekleştirilmiştir ve elektroliz hücresinde aşırı ısınma olmaması için üretim 10. dakikada kesilmiştir.

Yapay deniz suyu deneylerinin ardından, bu deneylerle aynı koşullarda (Çizelge 5.6), İstanbul Boğazı'nda Yeniköy'den alınan deniz suyu ile çalışılmıştır. %~18 olan

deniz suyunun tuzluluğu deneyler esnasında gerektiğinde tuz eklenerek artırılırken (‰~30), gerektiğinde de musluk suyu ile seyreltilmiştir (‰~9).

Çizelge 5.5 :FTEC 500- kodlu elektroliz hücresinin YDS ile performans deneyleri.

Elektrolit	YDS: MS + NaCl (TS EN 973) (Tuzluluk: ‰ 10 ‰ 20 ve ‰30)
Debi:	100 l/s
Akım:	30 A , 40 A, 50 A ve 60 A
Süre	10 dakika
Voltaj	0. – 10. dakikada kaydedilen değerler
Örnekleme :	Anot sıvısı üretiminin 30. ve 120. dakikaları
Laboratuvar testleri:	Toplam klor, serbest klor ve klorür (anlık ölçümler)

FTEC 500 ile Anot sıvısı üretimi için kullanılmak üzere üç farklı zamanda deniz suyu alınmış ve her bir deniz suyu alındığı zamana göre kodlanmıştır. Bu kodlamaya göre DS1 ilk alınan deniz suyunu ifade ederken DS2 ikinci seferde alınan deniz suyunu, DS3 ise üçüncü seferde alınan deniz suyunu ifade etmektedir. DS1 ile deniz suyunun tuzluluğunda hiç bir değişiklik yapılmadan anot sıvısı üretimi yapılmış, daha sonra DS2 ve DS3 ile üç farklı tuzlulukta çalışılmıştır. DS1 ve DS2 deneyleri ikişer kez tekrarlanırken DS3 ile birer defa kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir.

FTEC 500 ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Bölüm 6.1.3 ' de değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.6 :FTEC 500 kodlu elektroliz hücresinin DS ile performans deneyleri.

Elektrolit	DS: DS, Tuzluluk:‰~18 DS + NaCl (TS EN 973), Tuzluluk:‰~30 DS + MS, Tuzluluk:‰~9
Debi:	100 l/s
Akım:	30 A , 40 A, 50 A ve 60 A
Süre	10 dakika
Voltaj	0. – 10. dakikada kaydedilen değerler
Örnekleme :	Anot sıvısı üretiminin 30. ve 120. dakikaları
Laboratuvar testleri:	Toplam klor, serbest klor ve klorür (anlık ölçümler)

5.6.1.4 EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücreleri ile gerçekleştirilen performans deneyleri

Bu hücreler ile yapılan deneylerin amacı farklı kaplama malzemesinin kullanıldığı elektrot tasarımının gemide deniz suyundan dezenfektan üretimi üzerindeki etkisinin ve deniz suyu kullanımına uygunluğunun test edilmesidir. Bu amaçla üç tip deney gerçekleştirilmiştir. Her iki elektroliz hücresi ile uygulanan deney prosedürleri aynı

olduğu için, gerçekleştirilen deneyler tiplerine göre üç ayrı çizelgede her iki hücre için anlatılmıştır.

EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücreleri ile gerçekleştirilen ilk deneylerde maksimum akım şiddeti 8 A olarak sabitlenmiştir. Daha sonra maksimum voltaj ayarları değiştirilerek, bu gerilmeler altında elde edilebilen akımlar saptanmıştır (Çizelge 5.7). Elde edilen değerler test sistemi üzerinde yer alan ekranlardan okunmuştur.

Çizelge 5.7 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücreleri ile V_{maks} ayarına karşılık elde edilen akım deneyleri.

Elektrolit	DI: DI + NaCl (Tuzluluk:‰:~10) YDS: MS + NaCl (Tuzluluk: ‰:~10, 15, 20), (NaCl: TS EN 973)
Debi:	50 l/s
Maksimum Akım Ayarı	8 A
Maksimum Voltaj Ayarı	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20 (V)
Süre	Her voltaj ayarında 30 dakika çalışma süresi
Test sistemi ekranından okuma:	30 dakikalık süre sonunda

Aynı hücreler ile ikinci aşamada gerçekleştirilen deneylerde üç farklı tuzlulukta, iki farklı voltaj ayarında (10 V ve 20 V) ve standart yönde akım ile anot sıvısı üretilmiş, üretilen anot sıvısının 30. ve 120. dakikalarda klor derişimleri belirlenmiştir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 ile anot sıvısı üretimi deney prosedürü

Elektrolit sıvısı:	DI: DI + NaCl (S‰:~10) YDS: MS + NaCl (S‰:~10, 15, 20), (NaCl: TS EN 973)
Debi:	50 L/sa.
Maksimum akım şiddeti ayarı	8 A
Maksimum voltaj ayarı:	10V ve 20V
Üretim süresi:	120 dakika
Örnekleme zamanı:	Üretimin 30. ve 120. dakikaları

Son aşamada standart akım yönünde ve akım yönü ters çevrilerek dezenfektan üretimi gerçekleştirilmiş, akım yönü standart olduğu zaman anot sıvısı üretilirken, akım yönü ters çevrildiğinde katot sıvısı elde edilmiştir. Elde edilen dezenfektan sıvıların 15, 60 ve 90. dakikalardaki klor derişimleri belirlenmiştir (Çizelge 5.9).

EC 100 Nr. 201 ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Bölüm 6.1.4 'de EC 100 Nr. 201 ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Bölüm 6.1.5 'de değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.9 : EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 ile anot sıvısı ve katot sıvısı üretimi deney prosedürü.

Elektrolit	DI: DI + NaCl (Tuzluluk:‰:~10) YDS: MS + NaCl (Tuzluluk: ‰:~10, 15, 20), (NaCl: TS EN 973)
Debi:	50 L/sa
Maksimum Akım Ayarı:	8 A
Maksimum Voltaj Ayarı:	10 V ve 20 V
Üretim süresi:	Her iki akım yönünde 90 dakika
Örnekleme:	Üretimin 15, 60. ve 90. dakikaları
Laboratuvar analizleri:	Toplam klor, serbest klor, klorür

5.6.2 Bazı dış faktörlerin elektroliz hücresi performansına etkisi

Balast suyunun özellikleri alındığı bölgeye göre değişmekte olduğundan gemi üzerinde üretilen dezenfektan kalitesi de bu durumdan doğrudan etkilenir. Örneğin yerleşim bölgelerine yakın ve evsel atık su deşarjının yoğun olduğu bölgelerden alınacak balast suyunun içereceği amonyak miktarı anot sıvısının içeriği üzerinde önemli etkiye sahiptir (bkz. Bölüm 4.3.1). Bu nedenle çalışmamızda elektroliz edilecek deniz suyunun sıcaklığının, sertliğinin ve içerdiği amonyak derişiminin anot sıvısının kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Anot sıvısının dezenfektan etkisi içerdiği toplam ve serbest hazır klor derişimine bağlı olduğu için, çalışmamızda anot sıvısının kalitesinin göstergesi olarak bu iki parametre kabul edilmiştir.

5.6.2.1 Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisinin belirlenmesi

Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisinin araştırıldığı deneylerde soğutucuda (~9 °C) ve laboratuvar ortamında (~22 °C) bekletilen ‰8’lik NaCl çözeltisi anot sıvısı üretiminde elektrolit olarak kullanılmıştır. Her iki sıcaklıktaki elektrolitle anot sıvısı üretimi maksimum elektrik akımı 16 A ve anot sıvısı debisi 100 L/sa olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler standart elektroliz hücresi kullanılmıştır ve sonuçlar Bölüm 6.2.1 ’de değerlendirilmiştir.

Elektrolit: DI+ NaCl

5.6.2.2 Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının elektrokimyasal hücre performansına etkisinin belirlenmesi

Deniz suyu içerisinde mevcut olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi iyonların, balast suyu arıtımında kullanılacak elektroliz hücrelerinin elektrotları üzerinde birikerek tabaka

oluşmasına neden olduğu FumaTech GmbH ile yapılan yazışmalarda belirtilmiştir. Buna bağlı olarak bu iyonların hücre performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının hücre performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile yapılan deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada sadece Ca^{2+} derişiminin etkisi, ikinci aşamada sadece Mg^{2+} derişiminin etkisi, son aşamada ise Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi incelenmiştir (Çizelge 5.10).

Bu deneylerde elektrolit olarak, istenilen tuzluluk ve sertlik derecelerine göre çeşitli derişimlerde NaCl , CaCl_2 , ve MgCl_2 bileşiklerinin eklendiği deiyonize su kullanılmıştır. Deiyonize su ile çalışılma nedeni Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının etkilerini, içme suyu ve deniz suyunda çözünmüş olarak bulunan diğer iyonların etkilerinden bağımsız olarak gözlemlemektir. Deneyler FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.10 :Su sertliğinin anot sıvısına etkisi.

Seri / No	Elektrolit	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)
Kontrol	DI+NaCl	0	0
I/1	DI+NaCl+ CaCl_2	150	0
I/2	DI+NaCl+ CaCl_2	300	0
I/3	DI+NaCl+ CaCl_2	400	0
II/1	DI+NaCl+ MgCl_2	0	500
II/2	DI+NaCl+ MgCl_2	0	1000
II/3	DI+NaCl+ MgCl_2	0	1300
III/1	DI+NaCl+ CaCl_2 + MgCl_2	400	500
III/2	DI+NaCl+ CaCl_2 + MgCl_2	400	1000
III/3	DI+NaCl+ CaCl_2 + MgCl_2	400	1300

Bu aşamalara ilave olarak Ca^{2+} ve Mg^{2+} içermeyen sadece deiyonize su ve NaCl ile hazırlanan elektrolit ile kontrol deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan NaCl, eklenecek CaCl_2 ve MgCl_2 bileşiklerinin miktarına bağlı olarak, toplam tuzluluk %30 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 5.10 ile belirtilen farklı Ca^{2+} ve Mg^{2+} derişimlerine sahip elektrolitlerle 120 dakika süreyle anot sıvısı üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında 10., 30., 60., 90. ve 120. dakikalarda alınan anot sıvısı örnekleri bekletilmeden laboratuvar analizleri tamamlanmıştır.

Çizelge 5.10 ile belirtilen deney serileri tamamlandıktan sonra, 400 mg/L Ca^{2+} ve 1300 mg/L Mg^{2+} içeren elektrolitle 8 saatlik bir deney daha gerçekleştirilmiştir. Bu

deneyle ortalama deniz suyu sertliğine sahip elektrolitle uzun süreli anot sıvısı üretiminde hücre performansı ve anot sıvısı kalitesi incelenmiştir.

Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Bölüm 6.2.2 'de değerlendirilmiştir

5.6.2.3 Anot sıvısı üretiminde kullanılacak su içerisindeki amonyakın etkisinin belirlenmesi

Amonyakın klorla verdiği tepkimeler bu çalışmanın 4. bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Suda mevcut amonyakın yine aynı su ile üretilecek anot sıvısına etkisinin incelendiği bu deneylerde deiyonize suya NaCl (TS EN 973; Tuzluluk: ‰30) ve 5 farklı derişimde amonyak eklenerek hazırlanan elektrolit kullanılmıştır. Anot sıvısı üretimi Çizelge 5.11 ile verilen başlangıç koşullarıyla 120 dakika sürmüş, bu 120 dakika içerisinde farklı zamanlarda örnekleme yapılmıştır. Her bir amonyak derişimi için deneyler iki tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.11 :Su içerisindeki amonyakın anot sıvısına etkisi.

Elektrolit:	DI + NaCl (NaCl: TS EN 973)+Amonyak Tuzluluk:‰~30	
Amonyak Derişimi	0 mg/L,	1,3 mg/L
	0,26 mg/L	2,6 mg/L
	0,78 mg/L	3,9 mg/L
Debi	50 l/s	
Maksimum Akım Ayarı	16 A	
Maksimum Voltaj Ayarı	22	
Örnekleme (başlangıçtan itibaren)	10. dakika	90. dakika
	30. dakika	120. dakika
	60. dakika	
Laboratuvar ölçümleri	Toplam klor, serbest klor ve klorür (anlık ölçümler), pH, sıcaklık, redoks potansiyeli	

Deneylerde deiyonize su ile hazırlanan elektrolit kullanılmıştır. Deiyonize suyun seçilmesinin nedeni deniz suyunun alındığı bölgeye ve zamana göre içerdiği kirleticilerin değişmesi, musluk suyuna ise muhtemel kanalizasyon sızıntıları nedeni ile şehir şebekesinden herhangi bir evsel atık karışma gerçekleşmiş olabileceği ihtimalidir. Bu nedenle deiyonize su ile hazırlanan elektrolit kullanılarak amonyakın etkisi kontrollü bir şekilde incelenmiştir. Deneylerin sonuçları Bölüm 6.2.3 'de değerlendirilmiştir.

5.6.3 Elektroliz hücresi ile üretilen dezenfektan anot sıvısının farklı koşullarda zamanla değişiminin saptanması

Üretilen dezenfektan anot sıvısı kullanım esnasında farklı koşullara maruz kalabilir. Örneğin, anot sıvısının üretimden sonra doğrudan kullanılması yerine, gemi üzerinde depolanması ve sonradan kullanılması tercih edilebilir. Ayrıca anot sıvısı farklı deniz suları kullanılarak üretileceği gibi farklı deniz sularının da dezenfeksiyonunda kullanılacaktır. Dezenfekte edilecek deniz suyunun yapısı da dezenfeksiyon amacı ile eklenen anot sıvısının su içerisindeki indirgenmesinde etkili olacaktır. Bu nedenle bu aşamada dezenfektan anot sıvısının farklı saklama koşullarda zamanla değişiminin yanı sıra farklı tipte sulara eklendikten sonra bu su içerisinde indirgenmesi belirlenmiştir.

5.6.3.1 Anot sıvısında toplam ve hazır klor değişiminin belirlenmesi

Anot sıvısının değişiminin tespiti, anot sıvısının üretimden sonra doğrudan kullanılamayacağı gemi üzerinde depolanması gereken durumlar için önemlidir.

Bu değişimin tespiti için deneyler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Başlangıç aşamasında anot sıvısı ‰ 18 tuzluluğundaki üç farklı elektrolit ile (deiyonize su ile hazırlanan çözelti, yapay deniz suyu ve deniz suyu) üretilerek laboratuvar ortamında mevcut olan ışık altında ve karanlıkta bekletilmiştir. Laboratuvarda gün ışığı çok etkili olmamakta ve ortam floresan lambalar ile yani beyaz ışık ile aydınlatılmaktadır. İkinci aşamada ise elektrolit olarak iki farklı tuzlulukta (‰ 18 ve ‰ 30) deniz suyu kullanılmıştır (Çizelge 5.12).

Çizelge 5.12 :Deniz suyundan üretilen anot sıvısının değişimi.

Deney No	Elektrolit	Anot Sıvısının Tuzluluğu (‰)	Bekleme Süresi (sa)
1	DS	18	29
2	DS	18	24
3	DS + NaCl	30	24
4	DS + NaCl	30	24
5	DS + NaCl	30	7
6	DS + NaCl	30	7

Tuz derişimini arttırmak için deniz suyuna NaCl (TS EN 973) eklenmiştir. Üretilen anot sıvısı laboratuvar ortamında bekletilmiştir. İlk dört deneyde ‰18 ve ‰30 tuzluluğa sahip elektrolitlerle uzun süreli bekleme sırasında alınan sonuçlar ışığında

5. ve 6. deneyler daha kısa süreli beklemede daha sık numune alınarak gerçekleştirilmiştir. Her iki tip deneyde de bekleme süresince belli aralıklara örnekler alınarak serbest hazır klor ve toplam klor derişimleri takip edilmiştir. Deney sonuçları Bölüm .6.3.1 'de değerlendirilmiştir.

5.6.3.2 UV radyasyonunun anot sıvısı üzerinde etkisinin belirlenmesi

Anot sıvısı ile dezenfekte edilen balast suyu, yükleme limanında tekrar deniz ortamına deşarj edilecektir. Deşarj edilen balast suyunda, eklenen anot sıvısı nedeni ile toplam ve serbest hazır klor bulunma olasılığı vardır. Söz konusu balast suyu deniz ortamında çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere maruz kalacaktır. Güneş tarafından yayılan UV radyasyonu bu etkilerden bir tanesidir. Gemi üzerinde üretilen anot sıvısının, eklendiği balast suyu ile deniz ortamına bırakılması halinde deniz ortamındaki ömrünün tespiti çevresel açıdan gereklidir. Bu nedenle UV radyasyonunun anot sıvısı üzerinde etkisinin belirlenmesi önemlidir. Bu ayrıca anot sıvısı doğrudan balast akımına verilemeyecekse ve bekletilmesi gerekecekse, bekletilme süresince saklanma koşullarının belirlenmesi için de önemlidir.

Güneş tarafından yayılan ve yeryüzüne ulaşan UV radyasyonunun %98,7'si UV-A (315nm-400 nm) bandında ve kalanı UV-B (280nm-315nm) bandındadır, UV-C (200-280) radyasyonu ozon tabakasını aşmamakta ve yeryüzüne ulaşmamaktadır. Bu nedenle deniz suyunda etkisi en fazla görülecek UV radyasyonu UV-A bandındadır. Bununla birlikte bu çalışmada ön deneylerde UV kaynağı olarak hâlihazırda ITU Deniz Bilimleri laboratuvarında mevcut olan sterilizasyon sistemindeki UV-C lambası kullanılmıştır. Üç farklı su ile hazırlanan ve ‰18 tuzluluğa sahip anot sıvısı iki eşit hacme ayrılarak karanlıkta ve UV-C radyasyonu altında olmak üzere 72 saat süreyle bekletilmiştir. Bu esnada bekletilen anot sıvılarından alınan örneklerde toplam ve serbest hazır klor derişimleri takip edilmiştir.

İlerleyen aşamada ise UVA bandındaki ışımının anot sıvısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu deneylerde İstanbul Boğazı'nda Yeniköy'den alınmış olan ‰19,6 tuzluluktaki deniz suyu elektrolit olarak kullanılarak anot sıvısı üretilmiş, üretilen anot sıvısı UV-A ışığında bekletilmiştir. Kontrol deneyleri de aynı anot sıvılarından alınan örneklerin karanlıkta bekletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Bölüm 6.3.2 'de değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.13 :UV-C radyasyonun etkisini belirlemek için kullanılan elektrolitler.

Elektrolit	Anot Sıvısının Tuzluluğu (‰)	Bekleme Süresi (s)
DI + NaCl	18	72
MS + NaCl	18	72
DS + NaCl	18	72

5.6.3.3 Dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişiminin belirlenmesi

Dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişiminin tespit edilmesinde öncelikli amaç anot sıvısının balast suyu içerisindeki etkinlik süresinin tespitidir. Bu deneyler ayrıca balast suyunun anot sıvısı ile dezenfeksiyonu sonrasında deniz ortamına bırakıldığı zaman içereceği serbest ve toplam hazır klor miktarının tahmin edilmesini sağlayacaktır. Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Başlangıç deneylerinde ‰20 tuzlulukta elektrolit ile üretilen anot sıvısı iki farklı sıcaklıktaki deiyonize suya, musluk suyuna ve deniz suyuna eklenerek 30 dakikalık sürede serbest hazır klor derişimindeki düşüş belirlenmiştir. Bu deneylerde amaç anot sıvısı ile dezenfekte edilecek suyun serbest hazır klor azalmasına etkisinin tespit edilmesidir. Deneylerde kullanılan anot sıvılarının başlangıçtaki serbest hazır klor derişimleri Çizelge 5.14 ile verilmektedir.

Çizelge 5.14 : Farklı sulara eklenen anot sıvılarının başlangıçtaki serbest hazır klor derişimleri.

Sıcaklık °C	Deney ortamı	Anot sıvısında SHK (mg/L)
20	DI	80,83
20	YDS	99,17
20	DS1	114,17
20	DS2	108,33
20	DS3	108,33
8	DI	80,83
8	YDS	99,17
8	DS	99,17

Başlangıç deneylerinin ardından anot sıvısının balast suyu içerisindeki etkinlik süresinin tespiti için İstanbul Boğazı'nda Yeniköy'den alınan deniz suyuna eklenen anot sıvısında klor değişimi 5-6,5 saat süre ile takip edilmiştir. Tüm deneylerde Yeniköy'den aynı günde alınmış olan su kullanılmıştır, ancak NaCl veya musluk suyu eklenerek tuzluluklar değiştirilmiştir. Bu deneylerde kullanılan anot sıvıları ve deniz suları deney numarasına göre Çizelge 5.15 ile verilmiştir.

Çizelge 5.15 :Deniz suyuna eklenen anot sıvısında klor değişiminin tespiti için kullanılan anot sıvıları ve deniz suları

Deney No	Elektrolit	Tuzluluk (%)	DS Hacmi (ml)	Eklenilen AS Hacmi (ml)	AS'nin hacminin DS'ye oranı	AS'nin toplam klor derişimi (mg/L)	AS eklenen DS'de başlangıç toplam klor derişimi (mg/L)
1	DS	18	1000	10	1%	98,75	0,55
2	DS	18	1000	15	1.5%	92,25	1,3
3	DS	18	1000	15	1.5%	110,25	1,07
4	DS + NaCl	30	2000	30	1.5%	135,94	1,285
5	DS + NaCl	30	2000	30	1.5%	129,67	1,29
6	DS + NaCl	30	2000	30	1,5%	132,5	0,82

İlk deneylerde anot sıvısı üretiminde %18 tuzluluğundaki deniz suyu kullanılmış, üretilen anot sıvısı doğrudan %18 tuzluluğa sahip deniz suyuna eklenmiştir. Sonraki deneylerde NaCl (Norm: EN 973) eklenerek tuzluluğu %30'a çıkartılan deniz suyu elektrolit olarak kullanılmış, üretilen anot sıvısı yine NaCl eklenerek tuzluluğu %30 değerine arttırılan deniz suyu eklenmiştir.

Bu deneylerde elde edilen sonuçlar Bölüm 6.3.3 'de değerlendirilmiştir.

5.6.4 Elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının mikrobiyolojik etkinliği

Bu çalışmada standart hücre ve FTEC 500 ile üretilen anot sıvılarının biyolojik etkinliği test edilmiştir ve bu amaçla iki tip deney gerçekleştirilmiştir.

Birinci tip deneylerde test organizmaları olarak *Bacillus Subtilis* sporları seçilmiştir. Ozmotik stres, ısı ve kimyasallara karşı oldukça dayanıklı olan *B. Subtilis* birçok çalışmada test organizması olarak kullanılmakta ve “genel olarak güvenli nitelendirilen” (GRASS – *generally recognized as safe*) mikroorganizmalar arasında yer almaktadır.

Deneylerimizde *B. Subtilis* kaynağı olarak Simbiyotek A.Ş.'den temin edilen Sim Wave-L isimli ürün kullanılmıştır. Sim Wave-L saf ve doğal bir *Bacillus subtilis* suşu (KUEN 1581) içeren sıvı bir üründür ve 10^8 cfu/g canlı bakteri sporu içermektedir. Ürünün bir yıla yakın raf ömrü vardır ve içerdiği *Bacillus subtilis* sporları tuza dolayısı ile deniz suyuna dayanıklı organizmalardır. Bu *Bacillus subtilis* suşu Simbiyotek A.Ş. tarafından izole edilmiş olup, İstanbul Üniversitesi Tıp

Fakóltesi Kólter Koleksiyonu Katalođunda KUEN 1581 numarası ile Simbiyotek A.Ş. adına kayıtlıdır.

İkinci tip mikrobiyolojik deneylerde ise anot sıvısının Yeniköy'den alınan deniz suyu örneklerinde evsel atık kirlenmesi nedeni ile çok miktarda bulunan toplam canlı bakteri sayısı üzerinde etkinlik kapasitesi gözlenmiştir.

Her iki tip çalışmada da toplam hacim 110 ml olarak sabit tutulmuştur. *B. Subtilis* ile yapılan deneylerde farklı oranlarda steril deiyonize su ve anot sıvısı kullanılmıştır. Başlangıçta mikroorganizma sayısı ise 10^8 CFU düzeyinde olacak şekilde *Bacillus Subtilis* KUEN 1581 sporları ihtiva eden ve Simbiyotek A.Ş.den temin edilen üründen 10 ml kullanılmıştır.

Deniz suyu ile çalışılmadan önce deniz suyu kaba süzgeç kağıdıyla süzölerek büyük partiküller giderilmiştir. Ardından farklı oranlarda deniz suyu ve anot sıvısı karıştırılarak toplam hacim 110 ml olacak şekilde çalışılmıştır. Deney sonuçları Bölüm 6.4de değerlendirilmiştir

6. BALAST SUYU ARITIMI İÇİN LABORATUVAR ORTAMINDA ELEKTROKİMYASAL HÜCRE UYGULAMASI SONUÇLARI

6.1 Elektroliz hücrelerin performansları

6.1.1 Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen deneylerde anot sıvısı, karasal tesislerde olduğu gibi, doymuş NaCl çözeltisi ve deiyonize suyun deney sisteminde otomatik olarak karıştırılmasıyla (Şekil 5.3) hazırlanan elektrolit kullanılarak üretilmiştir. Ancak sistem bu şekilde çalıştırıldığında, sistem üzerindeki pompada meydana gelen düzensizlikler nedeni ile doymuş NaCl çözeltisi ve saf suyun karıştırılması her zaman istenilen oranda gerçekleşmemiş, bunun sonucunda hedeflenen elektrolit tuzluluklarında bazı sapmalar gözlenmiştir. Bu aşamada elde edilen sonuçlar, elektroliz için kullanılan akım şiddetindeki artışın üretilen anot sıvısında toplam ve serbest hazır klor derişimlerinde artışa yol açtığını göstermektedir (Şekil 6.1).

Hatırlanacak olursa, Bölüm 4.2.1 de ifade edildiği gibi, elektrotlarda çözünen veya açığa çıkan madde miktarı m geçen elektrik miktarı Q ile orantılıdır.

$$m = kQ \quad (4.1)$$

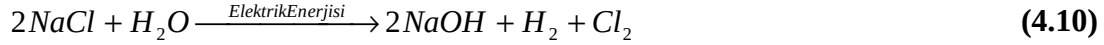
Q ise akım şiddeti (I) ve zamana (t) bağlı olarak değişmektedir.

$$Q = It \quad (4.2)$$

Bu nedenle yapılan deneylerde tuzlu suyun elektrolizi ile üretilen anot sıvısındaki toplam ve serbest klor derişimlerinin artan akım şiddeti ile artması beklenen bir sonuçtur.

Elektrolitin tuzluluk miktarı da üretilen dezenfektanın kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bölüm 4.2.2 'de belirtildiği gibi elektrolit iletkenliğindeki artış elektrotlar arasındaki direncin düşmesine yol açacak, bu sayede elektrolit fazında voltaj düşüklükleri minimum seviyede olacaktır. Ayrıca Bölüm 4.2.3 de ifade edilen

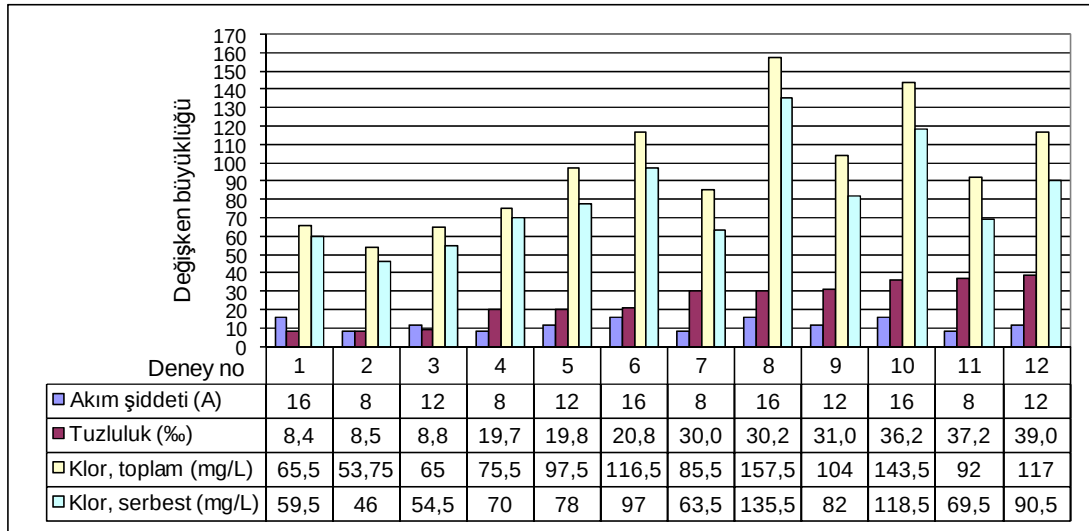
sodyum klorürün elektrolizi hatırlanacak olursa artan sodyum klorür derişimi ile birlikte açığa çıkan klor gazında artış olacağı açıktır:



Klor gazındaki artışa bağlı olarak, klor gazının hidrolizi sonucunda oluşan hipokloröz asit (HOCl) ve hidroklorik asit (HCl) derişiminde de artış olacaktır.



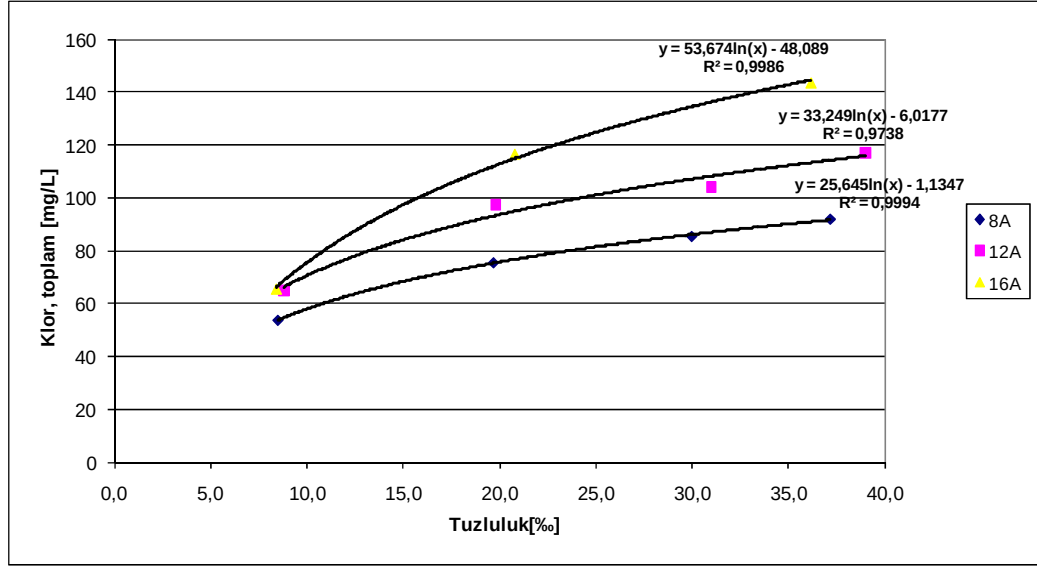
Standart hücre ile gerçekleştirilen deney sonuçları da, elektrolit tuzluluğu arttıkça üretilen anot sıvısındaki klor derişimlerinin arttığını ortaya koymaktadır. Ancak Şekil 6.1 ile verilen sonuçlar incelenecek olursa, anot sıvısındaki toplam ve serbest hazır klor derişimlerindeki beklenen artışın tuzluluk veya akım şiddeti ile lineer olarak gerçekleşmediği göz önünde bulundurulmalıdır.



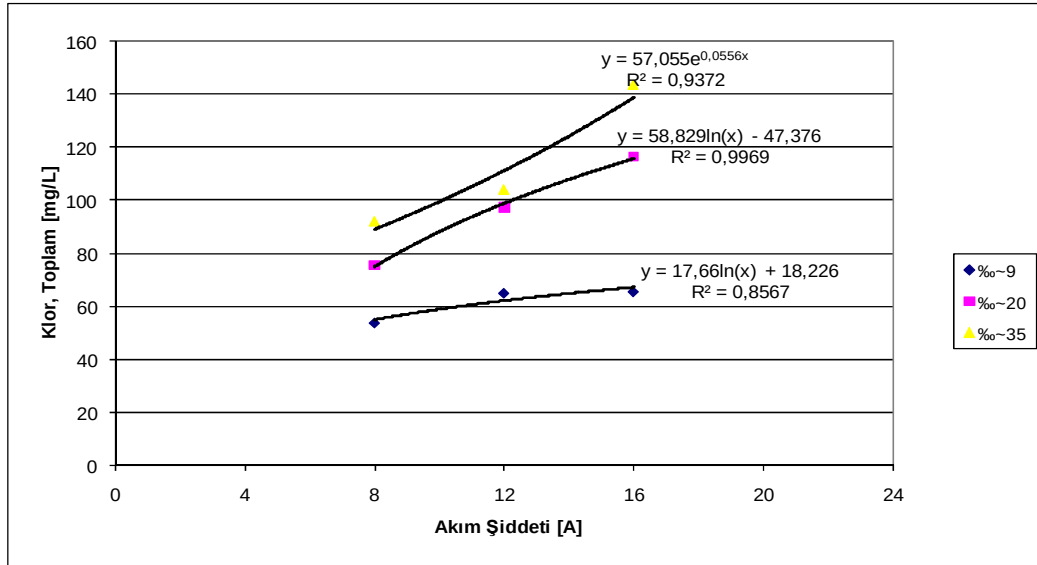
Şekil 6.1 :Tuzluluğun ve akım şiddetinin anot sıvısı üzerindeki etkisi.

Akım şiddetinin aynı olduğu deneylerde toplam klorun tuzluluğa bağlı değişimi daha çok logaritmik fonksiyonlara uygun olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.2). Birbirine yakın tuzlulukta gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde ise toplam klor derişiminin akım şiddetine bağlı değişimi belirli bir düzen göstermediği, farklı tipte fonksiyonlara uygun olarak değiştiği dikkati çekmektedir (Şekil 6.3). Ancak deneylerde elde edilen veri sayısı, bu derişimlerin standart matematiksel fonksiyonlara uyumluluğunu yorumlamak için yeterli değildir. Proje kapsamında standart elektroliz hücresi ile çalışma süresinin kısıtlı olması nedeni ile hücre bu deneylerin ardından biyolojik çalışmalarda kullanılmak üzere ivedilikle *Newcastle*

Upon Tyne Üniversitesi'ne (UNEW) gönderilmiştir. Bununla birlikte bu veriler UNEW ekibi tarafından, sistem otomasyonu için yapılan yapay sinir ağları ile modelleme çalışmalarında kullanılmıştır (Pazouki ve diğ., 2008).



Şekil 6.2 :Ayni akım şiddeti altında üretilen anot sıvısında tuzluluğa bağlı TK.

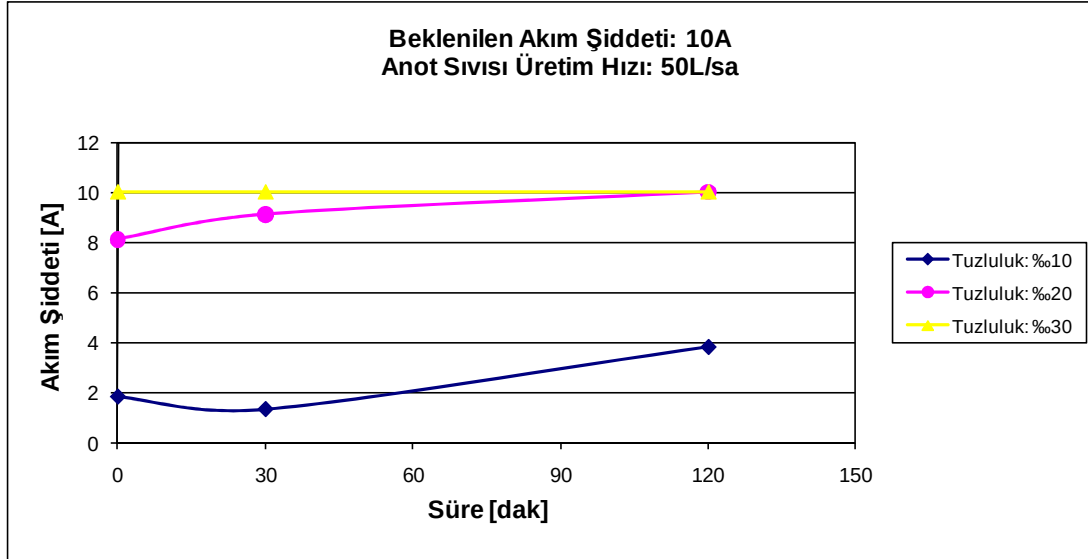


Şekil 6.3 :Benzer tuzluluklardaki elektrolitle üretilen anot sıvısında akım şiddetine bağlı TK.

Bunlara ek olarak, Şekil 6.1 'de akım şiddeti aynı olan 11 ve 12 numaralı deneylerin sonuçları incelendiğinde, elektrolit tuzluluğu 12 numaralı deneyden daha düşük olmasına rağmen, 11 numaralı deneyde üretilen anot sıvısının toplam ve serbest hazır klor derişimleri 12 numaralı deneyden daha yüksek çıktığı dikkati çekmektedir. Bu da sistemin çalışmasında düzensizlikler olabileceğini işaret etmektedir.

6.1.2 FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

Hücre tasarımında kompakt düzlemsel anot kullanımının elektroliz hücresi performansına etkisinin belirlenmesi için yapılan laboratuvar çalışmaları üç seri halinde gerçekleştirilmiştir. Birinci seri deney sonuçları EK A1 ile, ikinci seri deney sonuçları EK A2 ile, üçüncü seri deney sonuçları ise EK A3 ile verilmektedir.

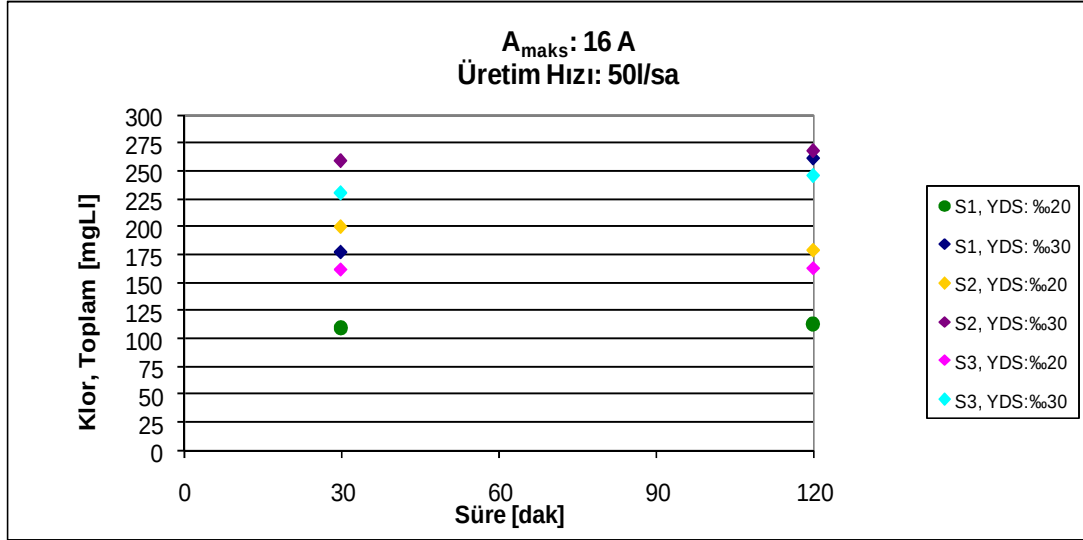


Şekil 6.4 :FTEC 100 ile farklı tuzluluklarda elde edilen akım değerleri.

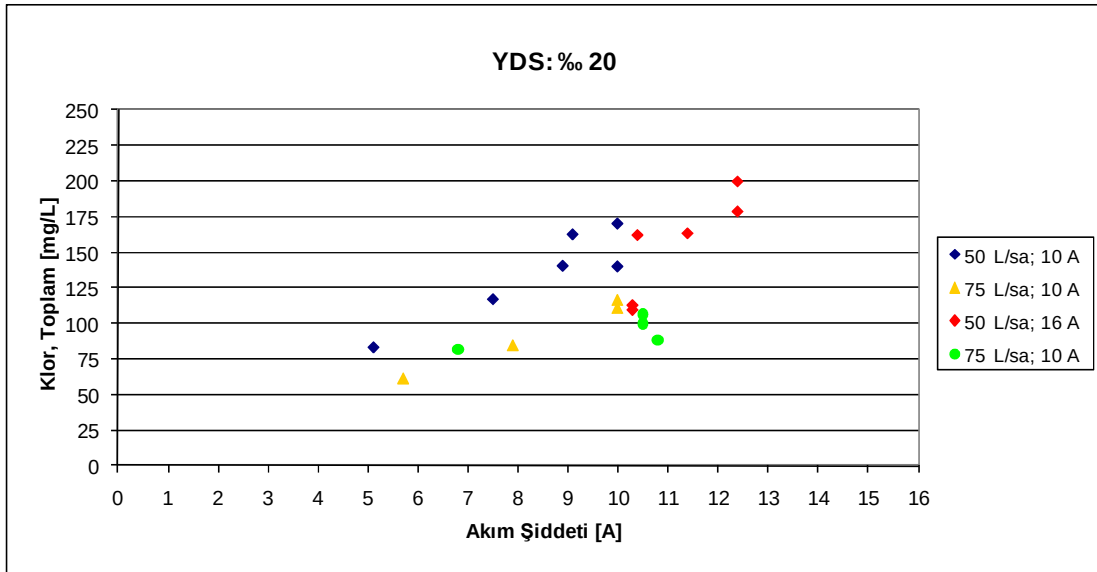
Birinci seri deneylere üç farklı elektrolit tuzluluğu ile başlanmıştır. Ancak elektrolit tuzluluğu %10 olduğunda elde edilen akım şiddeti değeri hedeflenen değerin çok altında kaldığı için (Şekil 6.4) yapay deniz suyu ile gerçekleştirilen bundan sonraki deneylere %20 ve %30 tuzluluğa sahip elektrolit kullanılarak devam edilmiştir. Deneylerde 120 dakika süre ile anot sıvısı üretimi devam etmiş, 30. ve 120 dakikalarda örnekleme yapılmıştır. Yapay deniz suyu ile gerçekleştirilen deneylerde, 30. ve 120. dakikalarda elde edilen değerler arasında belirgin bir fark tespit edilmediğinden, üretim süresinin anot sıvısı üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir (Şekil 6.5).

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 her üç seride %20 ve %30 tuzluluğa sahip elektrolitler ile 50 L/sa ve 75 L/sa üretim hızlarında tespit edilen akım şiddetlerine karşılık, üretilen anot sıvısının TK derişimleri ile hazırlanmıştır. Her bir deneyin hangi debi ve maksimum akım şiddeti ayarında gerçekleştirildiği şekillerin göstergelerinde yer almaktadır. Bu deneylerde analizler 30. ve 120. dakikada gerçekleştirildiği için bu şekillerde her bir deney iki nokta ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte üretim

süresinin gerek akım şiddeti gerekse TK derişimleri üzerinde belirgin bir etkisi tespit edilmediğinden, bu değerlerin hangi dakikada elde edildiğı şekillerde yer almamaktadır.



Şekil 6.5 :FTEC 100 ile anot sıvısı üretimi.



Şekil 6.6 :FTEC 100 ile %20 tuzlulukta elektrolit kullanılarak anot sıvısı üretimi.

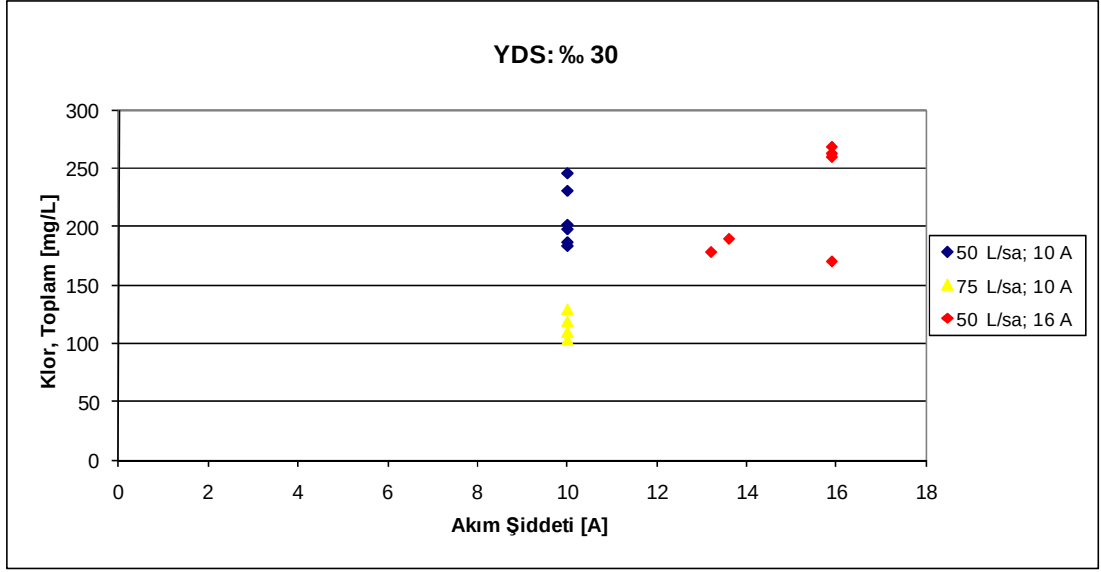
Şekil 6.6 elektrolit tuzluluğunun %20 olduğu deneylerde üretilen anot sıvısının TK derişimlerini ve bu derişimlerin elde edildiğı akım şiddetlerini vermektedir. Bu deneylerde maksimum akım şiddeti ayarı 10 A iken %20 tuzluluğa sahip elektrolit ile elde edilen akım şiddetleri genellikle 8-10A arasında değışmektedir. Aynı tuzlulukta maksimum akım şiddeti 16 A olduğunda elde edilen akım şiddeti ise genelde 10-13A arasındadır.

Elektrolit tuzluluğu %20 olduğunda, benzer koşullarda üretilen anot sıvısının klor derişiminin genellikle akım şiddetinin artması ile artma eğiliminde olduğu gözlenmektedir (Şekil 6.6). Örneğin maksimum akım şiddeti ayarı 10A olduğunda 50 L/sa hızla üretilen anot sıvısında en düşük klor derişimi akım şiddeti 5,1 A olduğunda 83 mg/L olarak tespit edilirken bu koşullarda tespit edilen en yüksek klor derişimi akım şiddeti 10A iken 170 mg/L'dir. Aynı hızda maksimum akım şiddeti ayarı 16 olduğunda erişilen 13A'lık akım şiddetinde ise 180-200 mg/L TK derişimi elde edilmiştir. Anot sıvısı üretim hızının artması ise elektroliz hücre performansını olumsuz etkilemektedir. Örneğin maksimum akım şiddeti ayarı 10A olduğunda benzer akım şiddeti sağlandığında dahi, 50 L/sa hızla üretilen anot sıvısında TK derişimi, 75 L/sa hızla üretilen anot sıvısının TK derişiminden fazladır. Bazı noktalarda 50 L/sa hızda sağlanan akım şiddeti değeri, 75 L/sa hızda sağlanan akım şiddetinden düşük olsa bile, daha yüksek TK derişimi elde edilebilmiştir (Şekil 6.6).

Elektrolit tuzluluğu %30 olduğunda genellikle maksimum akım şiddeti değerine ulaşıldığı için (Şekil 6.7) elde edilen akım şiddetleri benzer koşullarda sabit kalmıştır. Buna karşılık TK derişimlerinde büyük farklılıklar gözlenmektedir. TK derişimlerinde şekilde gözlenen değışimler elektrot yüzeylerinde kabarcık oluşması, pompa gücündeki ani iniş ve çıkışlar nedeni ile debinin değışmesi gibi kontrol edilemeyen diğer iç ve dış faktörlere bağlı olduğu düşünülebilir.

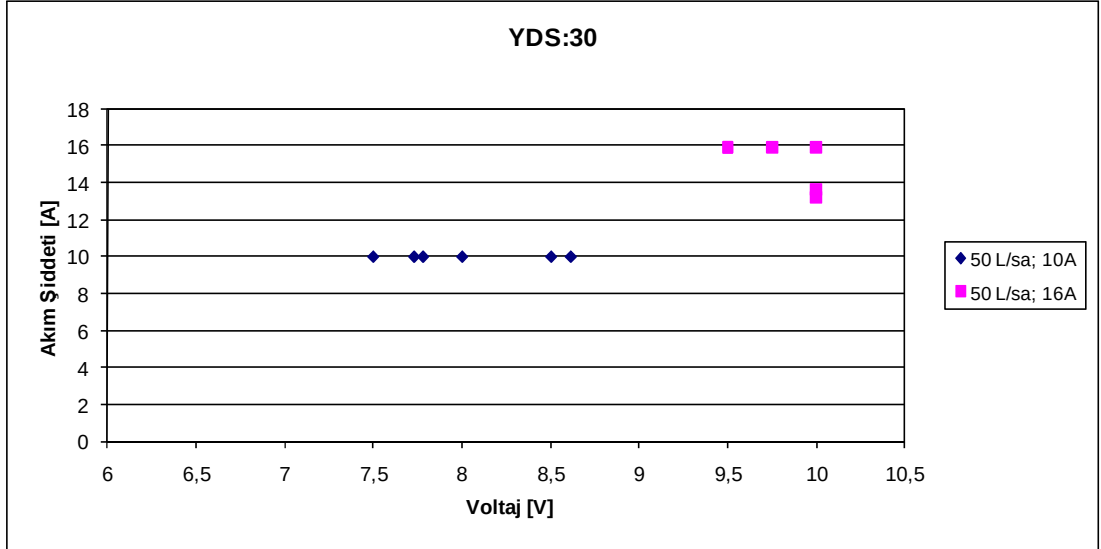
Örneğin maksimum akım şiddeti ayarı 10 A iken 50L/sa ve 75 L/sa hızlarında üretilen anot sıvılarının TK derişimlerine bakıldığında üretim hızının etkisi açıkça gözlenmektedir. Anot sıvısı 50 L/sa hızla üretilirken elde edilen en yüksek klor derişimi ~246 mg/L, en düşük klor derişimi ~183mg/L iken 75 L/sa hızda ise bu değerler sırası ile ~129 mg/L ve ~102 mg/L'dir.

Şekil 6.8 bu tuzlulukta 50 L/sa hızla anot sıvısı üretilirken tespit edilen voltaj ve akım şiddeti değerleri ile hazırlanmıştır. Bu değerler akım şiddeti sabitken voltajdaki oynamaları göstermektedir. Açığa çıkan ve çözünen madde miktarı geçen elektrik ile orantılı olduğundan, voltajdaki bu oynamalar Şekil 6.7 'de elektrolit tuzluluğu %30 olduğunda gerek üretim hızı, gerekse elde edilen akım şiddeti aynı olsa dahi TK derişiminde gözlenen farklılıkların önemli nedenlerindendir.

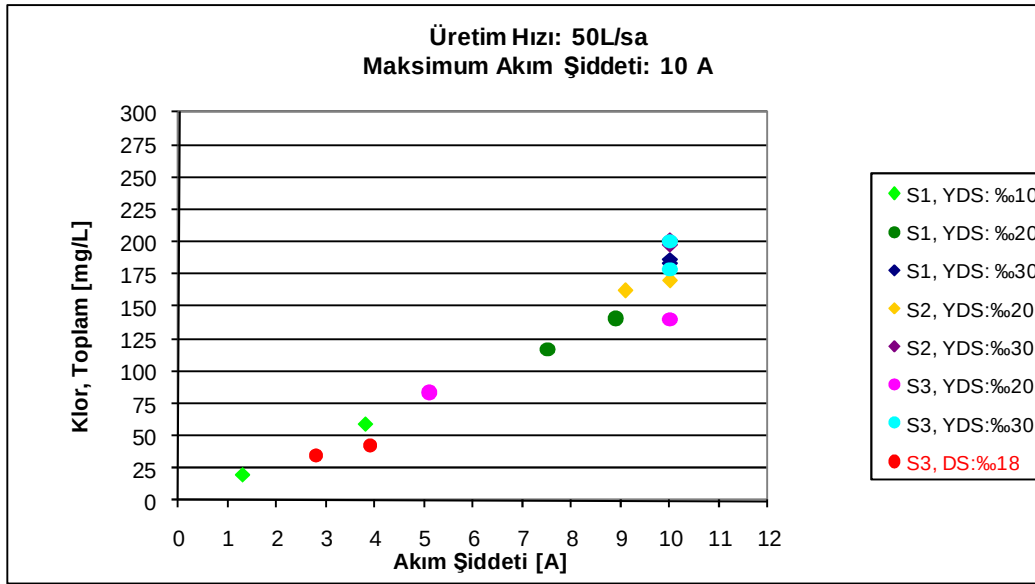


Şekil 6.7 :FTEC 100 ile %30 tuzlulukta elektrolit kullanılarak anot sıvısı üretimi.

FTEC100 ile 50 L/sa üzerindeki üretim hızlarında gerçekleştirilen deneyler esnasında, elektroliz hücresinden sızıntı olması nedeni, anot sıvısı üretim hızlarının tamamı her üç seride tüm koşullar için tekrarlanamamıştır. Bununla birlikte her üç seride de 50 L/sa üretim hızı değişen tuzluluk ve maksimum akım şiddeti koşullarının tamamında test edilebilmiştir. Bu nedenle Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 her üç seride 50 L/sa hızla üretilen anot sıvılarının TK derişimi değerleri ve bu derişimlerin elde edildiği akım şiddetleri ile hazırlanmıştır.



Şekil 6.8 :FTEC 100 ile %30 tuzlulukta elektrolitle, 50 L/sa hızla anot sıvısı üretilirken tespit edilen voltaj ve akım şiddeti değerleri.

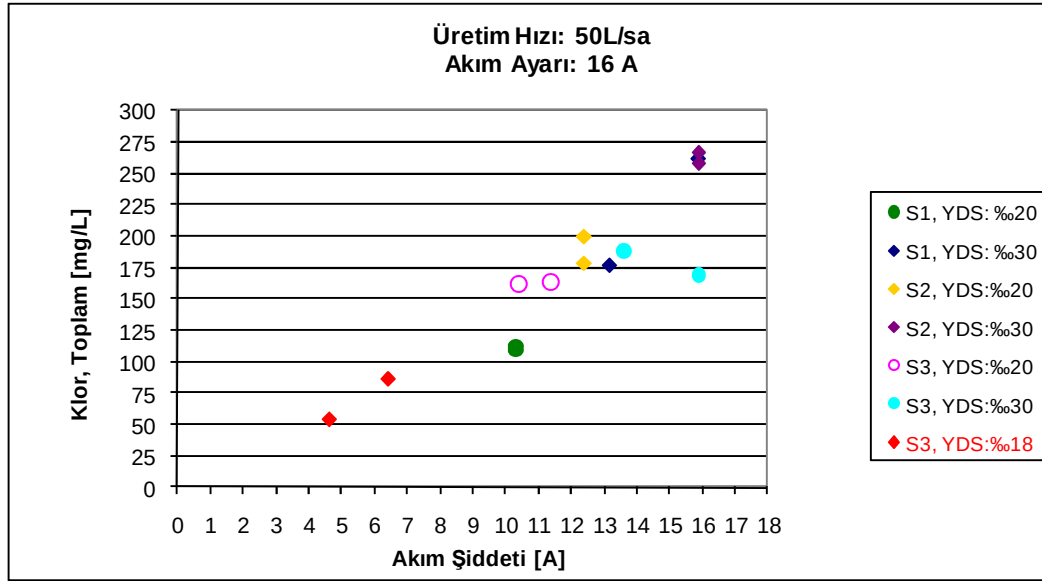


Şekil 6.9 :FTEC 100 ile maksimum akım şiddeti 10A iken 50 L/sa hızla anot sıvısı üretimi.

Şekillerde yer alan her bir deney, birisi 30. dakikada diğeri 120. dakikada elde edilen değerleri ifade eden iki nokta ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte üretim süresinin gerek akım şiddeti gerekse TK derişimleri üzerinde belirgin bir etkisi tespit edilmediğinden, bu değerlerin hangi dakikada elde edildiği şekillerde yer almamaktadır. Bu şekillerde birinci seri deneyler şeklin göstergesinde “S1” ile, ikinci seri deneyler “S2” ile, üçüncü seri deneyler ise “S3” ile gösterilmiştir. Yapay deniz suyu kullanılan deneyler göstergelerde “YDS” olarak gösterilirken, üçüncü seride gerçek deniz suyu ile gerçekleştirilen deneyler göstergelerde kırmızı renkle yer almış ve “DS” ile belirtilmiştir.

Şekil 6.9 anot sıvısı üretim hızı 50 L/sa olduğunda maksimum akım şiddeti ayarı 10A olan deneylerde tespit edilen TK değerlerini içermektedir. Bu sonuçlar aynı elektrolit tuzluluğu ve akım şiddeti ile üretilen anot sıvılarının klor derişimlerinin farklı olabileceğini göstermektedir. Örneğin %20 tuzluluğa sahip elektrolitle elde edilen en yüksek TK derişimi olan 170 mg/L ikinci seri deneylerde elde edilirken bu tuzlulukta en düşük değer olan 83 mg/L üçüncü seri deneylerde elde edilmiştir. Bununla birlikte deneylerden sadece bir tanesi ele alınacak olursa TK derişimlerinin, anot sıvısı üretimi süresince de değiştiği dikkati çekmektedir. Bir deney süresince 30. ve 120. dakikalar arasında tespit edilen en yüksek fark üçüncü seride %20 tuzlulukla yapılan deneyde ortaya çıkmıştır. Bu deneyde anot sıvısında TK derişimi 30. dakikada ~83 mg/L iken 120. dakikada 140 mg/L olmuştur (bkz. EK A3). Ancak

diğer deneylerde aradaki fark bu kadar yüksek değildir. Söz konusu fark elektrolit tuzluluğu arttıkça maksimum akım şiddeti ayarına yaklaşıldığı için azalma eğilimindedir. Örneğin %30 tuzluluğa sahip elektrolitle 50 L/sa üretim hızı ve 10 A maksimum akım şiddeti ayarında üretilen anot sıvılarında 30. ve 120. dakikalar arasındaki en büyük fark üçüncü seride gözlenmiştir. Üçüncü seride 30. dakikada TK derişimi 230 mg/L iken 120. dakikada TK derişimi 245 mg/L'dir. Diğer serilerde ise bu fark ihmal edilebilecek düzeydedir. Şekil 6.9 ile verilen sonuçlarda göze çarpan diğer bir nokta ise tuzluluk değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, elektrolit olarak %18 tuzlulukta deniz suyu kullanıldığında elde edilen toplam klorun %20 tuzlulukta yapay deniz suyu ile gerçekleştirilen tüm deneylerden çok daha düşük olduğudur. Gerçek deniz suyu ile elde edilen TK derişimleri 34,5 mg/L ve 42 mg/L iken yapay deniz suyu ile %20 tuzlulukta elde edilen en düşük TK derişimi 83 mg/L'dir.



Şekil 6.10 :FTEC 100 ile maksimum akım şiddeti 16A iken 50 L/sa hızla anot sıvısı üretimi.

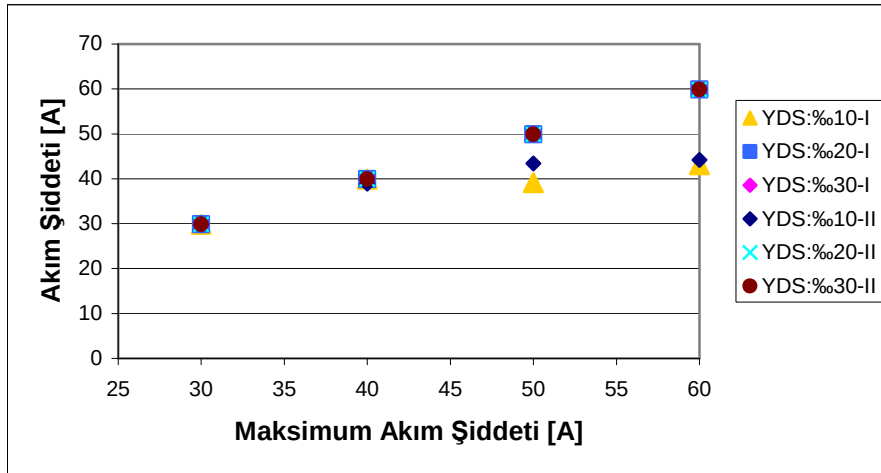
Şekil 6.10 anot sıvısı üretim hızı 50 L/sa olduğunda maksimum akım şiddeti ayarı 16A olan deneylerde tespit edilen TK değerlerini içermektedir. Bu şekil bir önceki şekille kıyaslandığında göze çarpan en önemli fark benzer elektrolit tuzluluklarında daha yüksek akım şiddeti değerlerine ulaşılmış olduğu için TK derişimlerinin de daha yüksek olduğudur. Maksimum akım şiddeti ayarı 10A olduğunda ancak %30 elektrolit tuzluluğuyla elde edilen klor derişimlerine (175-200 mg/L) maksimum akım şiddeti ayarı 16A olduğunda %20 tuzlulukla dahi ulaşılabilmiştir. Elektrolit

tuzluluğu %30 olduğunda ise anot sıvısının klor derişimi ~267 mg/L'ye kadar ulaşmıştır. Bu akım şiddeti ayarında elektrolit olarak %18 tuzlulukta deniz suyu kullanıldığında ise elde edilen TK derişimleri 30. dakikada 85 mg/L, 120 dakikada ise 54 mg/L'dir (bkz. EK A3).

6.1.3 FTEC 500 kodlu elektroliz hücre ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

Genişletilmiş elektrot yüzeyinin elektroliz hücresi performansına etkisinin belirlenmesi için yapılan laboratuvar çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada doğal deniz suyunun doğal içeriği ve ihtiva edebileceği olası kirliliğin etkilerini gidermek amacı ile yapay deniz suyu kullanılmıştır. İkinci aşamada ise birinci aşamada tamamlanan deneylere benzer deneyler gerçek deniz suyu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

FTEC 500 ile ilk aşamada elektrolit olarak %10, %20 ve %30 olmak üzere üç farklı tuzlukta yapay deniz suyu kullanılmıştır. Bu aşamada elektrolit tuzluluğu %20 ve %30 olduğunda, tüm deneylerde elde edilen akım şiddetleri maksimum akım şiddeti ayarına erişmiştir. Ancak %10 tuzluluğa sahip elektrolit ile gerçekleştirilen deneylerde ise maksimum akım şiddeti ayarı 40A'in üzerine çıktığında elde edilen akım şiddeti değerleri, hedeflenen maksimum akım şiddeti ayarlarının altında kalmıştır (Şekil 6.11).

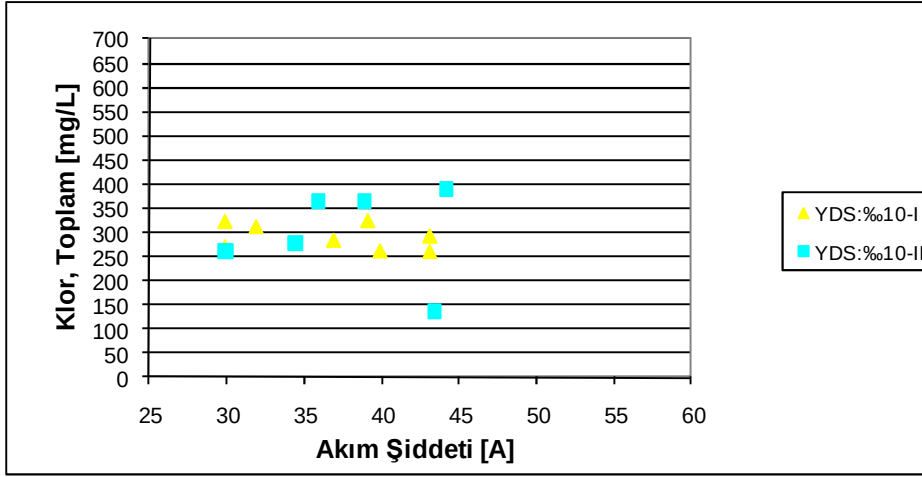


Şekil 6.11 :FTEC 500 – YDS ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.

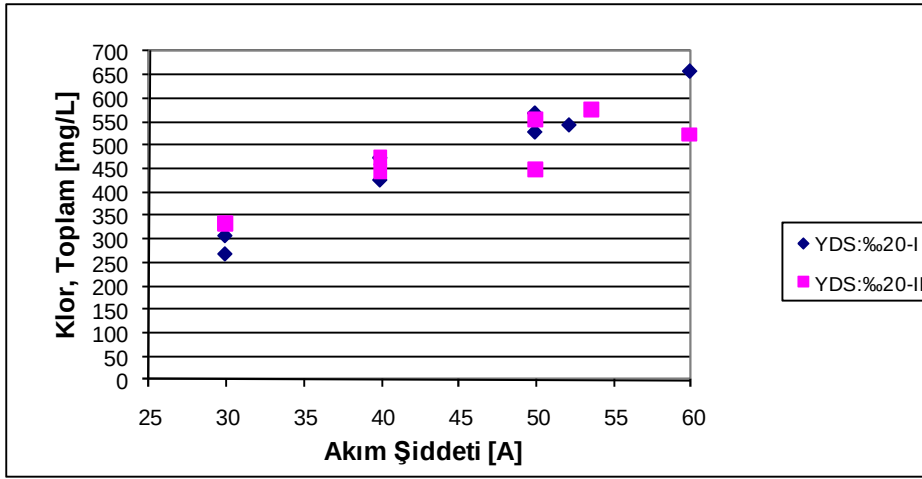
Şekil 6.12 ila Şekil 6.17 elektrolit olarak yapay deniz suyunun kullanıldığı deneylerde üretilen anot sıvılarının toplam ve serbest hazır klor derişimleri ile bu derişimlerin sağlandığı akım şiddetlerini göstermektedir. Bu şekiller her üç

tuzlulukta gerçekleştirilmiş olan deneylerde üretilen anot sıvılarının başlangıç ve 10. dakikada ölçülen klor derişimlerini içerdği için her bir deney iki nokta ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte üretim süresinin gerek akım şiddeti gerekse TK derişimleri üzerinde belirgin bir etkisi tespit edilmediğinden (bkz. Bölüm 6.1.2), bu değerlerin hangi dakikada elde edildiği şekillerde yer almamaktadır.

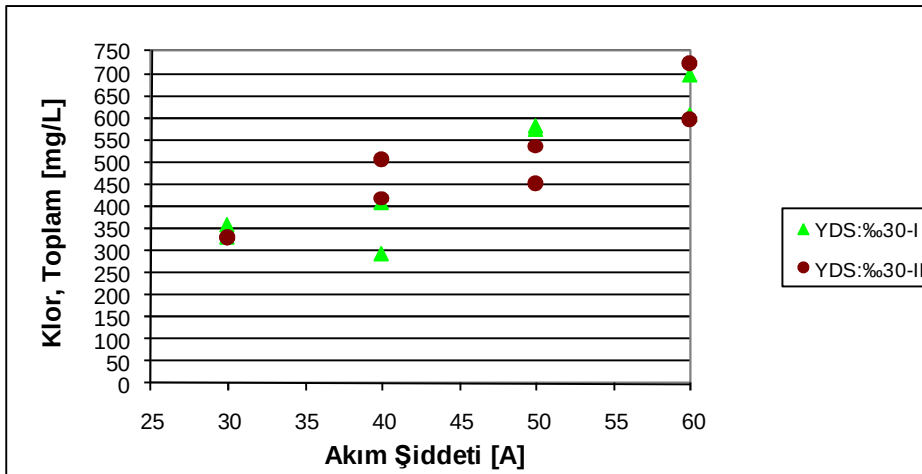
Bu deneylerin sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.12 - Şekil 6.17) %20 ve %30 tuzluluğa sahip elektrolitler ile üretilen anot sıvılarının gerek toplam gerekse serbest klor derişimlerinin artan akım şiddeti ile birlikte artma eğiliminde olduğu gözlenmektedir. Bu artışlar genellikle düzgün bir karakter izlese de bazı noktalarda bir takım sapmalar olduğu dikkati çekmektedir. Ancak söz konusu şekiller EK B ile verilen sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde, bu düzensizliklerin daha çok başlangıç değerlerinde olduğu gözlenmektedir. Sistem dengesini bulduktan sonra elde edilen değerler ise daha düzenlidir. Bu nedenle %20 ve %30 tuzluluğa sahip elektrolitler ile üretilen anot sıvılarında göze çarpan bu düzensizlikler ihmal edilebilir. Ancak tuzluluğun %10 olduğu deneylerin sonuçları incelendiğinde gerek elde edilen akım şiddetlerinin gerekse bu akım şiddetlerinde üretilmiş olan anot sıvılarının klor derişimlerinin oldukça düzensiz olduğu dikkati çekmektedir. Bu tuzlulukta daha düzenli olan birinci deney sonuçları irdelendiğinde TK derişiminin 323-258 mg/L arasında değiştiği ancak bu değişimin akım şiddetinden bağımsız olduğu göze çarpmaktadır. Bu deneyde serbest klor derişimi ise genellikle 110-216 mg/L arasında değişmektedir. Elektrolit tuzluluğu %20 olduğunda elde edilen değerler çok daha düzenli bir artış göstermektedir. Bu tuzlulukta en düşük TK derişimi 270 mg/L en yüksek TK derişimi ise 660 mg/L'dir. Bu değerler sırası ile akım şiddeti 30 A ve 60 A olduğunda belirlenmiştir. Bu tuzlulukta en düşük ve en yüksek serbest klor derişimleri ise yine aynı akım şiddetlerinde elde edilmiştir. En düşük serbest klor derişimi ~204 mg/L iken en yüksek serbest klor derişimi ~472 mg/L'dir. Tuzluluk %30'a çıktığında ise en düşük TK derişimi (270 mg/L) akım şiddeti 40 A olduğunda belirlenmiştir. Ancak bu değer yukarıda da vurgulanan düzensizliklerden birisidir. İhmal edildiği takdirde elde edilen en düşük toplam ve serbest klor derişimleri yine akım şiddeti 30 A olduğunda sırası ile ~330 ve ~186 mg/L şeklindedir. Tuzluluk %30 olduğunda en yüksek toplam ve serbest hazır klor derişimleri ise akım şiddeti 60 A olduğunda sırası ile 722 mg/L ve 473 mg/L olarak elde edilmiştir.



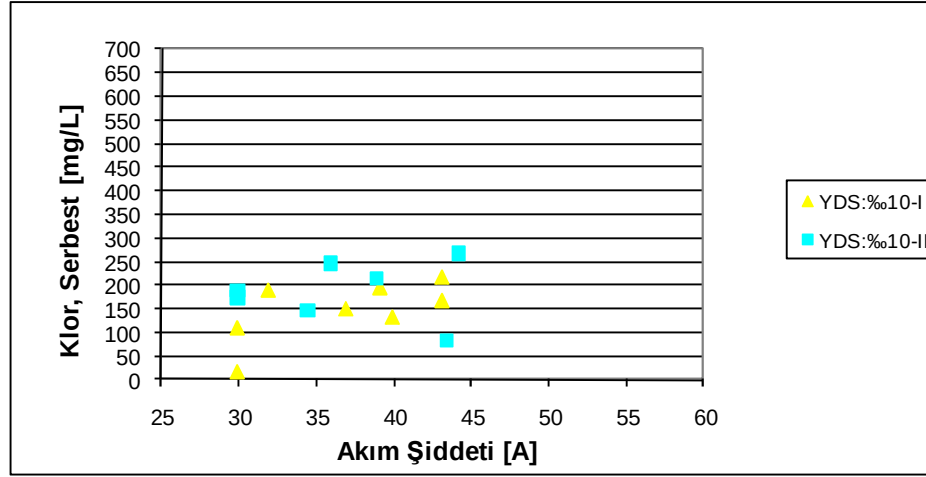
Şekil 6.12 :FTEC 500 – YDS (%10) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.



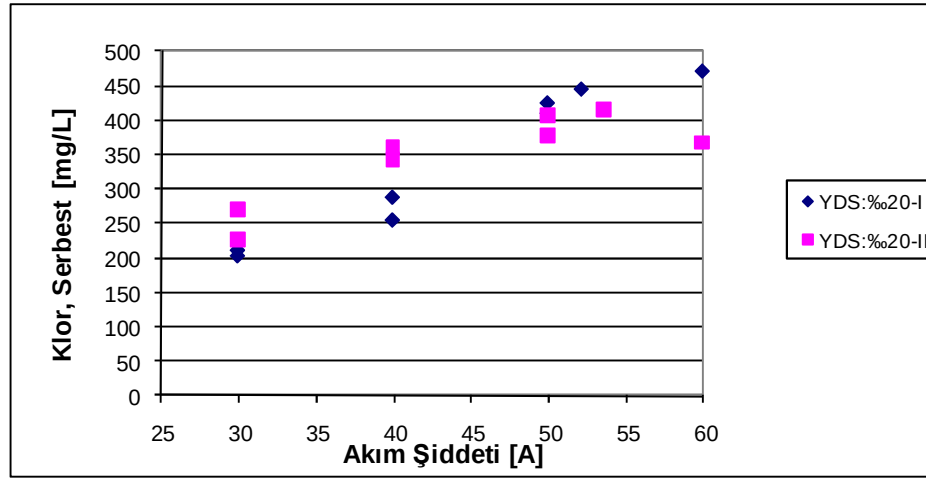
Şekil 6.13 :FTEC 500 – YDS (%20) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.



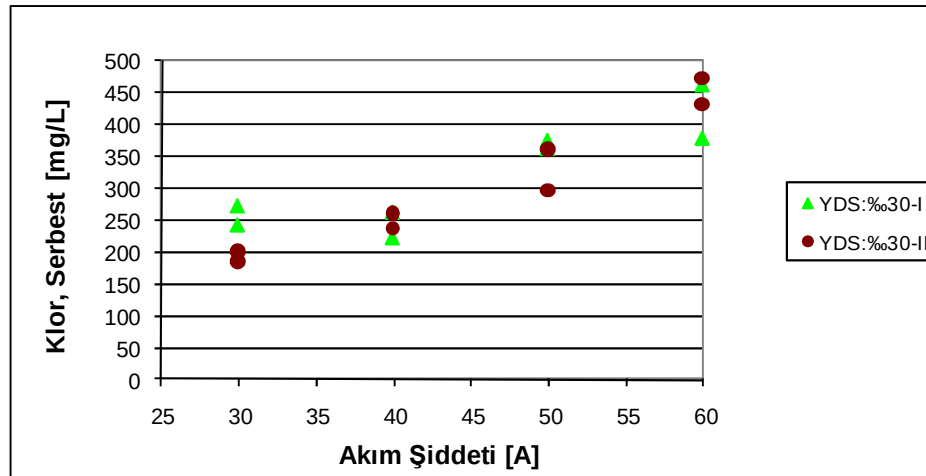
Şekil 6.14 :FTEC 500 – YDS (%30) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.



Şekil 6.15 :FTEC 500 – YDS (%10) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.



Şekil 6.16 :FTEC 500 – YDS (%20) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.



Şekil 6.17 :FTEC 500 – YDS (%30) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.

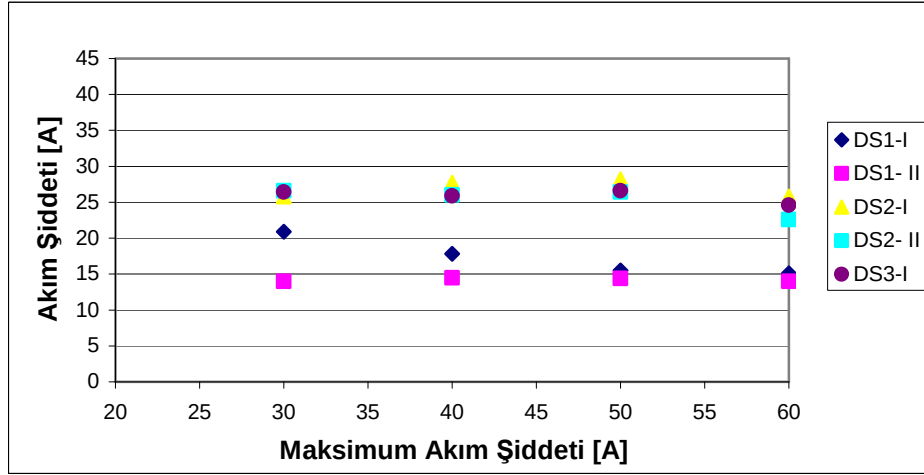
FTEC 500 kodlu elektroliz hücresi ile ikinci aşamada gerçekleştirilen deneyler birinci aşamadaki deneylere benzemektedir. Ancak bu aşamada elektrolit olarak

gerçek deniz suyu kullanılmıştır. Bu elektroliz hücresi ile deney yapmak üzere İstanbul Boğazı'nda Yeniköy'den üç farklı zamanda deniz suyu alınmıştır. Bu sular çalışmamızda alınış sırasına göre kodlanmıştır. Buna göre “DS1” ilk seferde alınan deniz suyunu, “DS2” ikinci seferde alınan deniz suyunu, DS3 de üçüncü seferde alınan deniz suyunu ifade etmektedir. Bu aşamada DS3 dışındaki deniz suları ile gerçekleştirilen her bir deney, aynı koşullarda tekrarlanmıştır. Bu bölümde kullanılan şekillerin göstergesinde ilk deneyler “I” ile, tekrar deneyleri ise “II” ile belirtilmektedir.

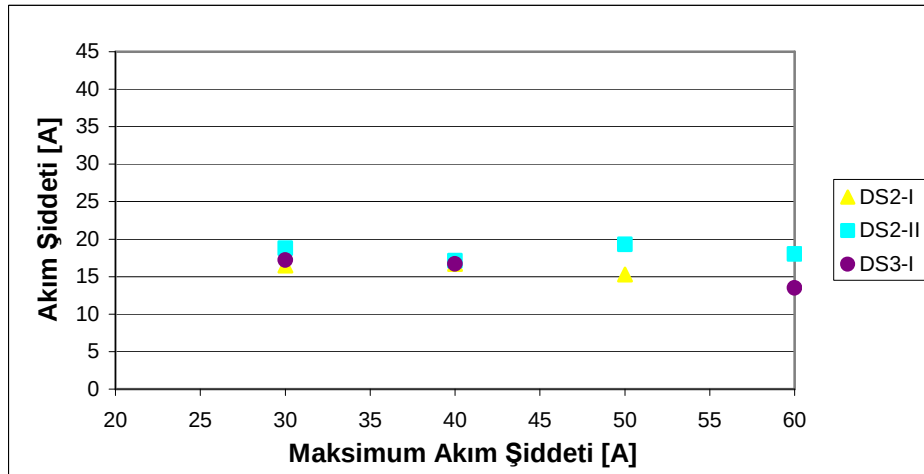
Yeniköy'den alınan deniz suyunun tuzluluğu normalde %18 civarındadır. Bununla birlikte DS2 ve DS3 ile gerçekleştirilen deneylerde üç farklı tuzluluk kullanılmıştır. İstenilen tuzluluğu elde etmek için gerektiğinde deniz suyu musluk suyu ile seyreltilirken gerektiğinde deniz suyuna NaCl ilavesi yapılmıştır (bkz. Çizelge 5.6).

FTEC 500 ile ikinci aşamada gerçekleştirilen deneylerin 10. dakikasında tespit edilen maksimum akım şiddeti ayarına karşılık elde edilen akım şiddetleri Şekil 6.18 ile Şekil 6.20 'de verilmektedir. Bu sonuçlar yapay deniz suyu kullanıldığında elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında oldukça önemli farklılıklar gözlenmektedir. Örneğin YDS kullanıldığında %20 ve %30 tuzlulukta elde edilen akım şiddetleri tüm deneylerde maksimum akım şiddeti ayarına ulaşmıştır (Şekil 6.11). Ancak yakın tuzluluklarda dahi, Yeniköy'den alınan deniz suyu ile elde edilen tüm değerler maksimum akım şiddeti ayarlarının altında kalmıştır. Buna ek olarak DS1 ile elde edilen akım şiddeti değerleri de DS2 ve DS3 ile elde edilen akım şiddeti değerlerinin de altındadır (Şekil 6.18). Tuzluluk %18 olduğunda DS1 ile yapılan deneylerde ulaşılan akım şiddetleri 15A-20A iken, DS2 ve DS3 ile elde edilen akım şiddeti değerleri genellikle 25-28A arasındadır. Deniz suyu tuzluluğu %9'a düşürüldüğünde elde edilen akım şiddeti değerleri genellikle ~15A-20A arasında değişirken (Şekil 6.19) tuzluluk %30'a çıkarıldığında elde edilen akım şiddeti değerleri ise ~35A – 40A arasında değişmektedir (Şekil 6.20). Bu değerlerde birinci aşamada YDS ile benzer tuzlulukta gerçekleştirilen deneylerde elde edilen değerlerden oldukça düşüktür. Şekil 6.21 ile Şekil 6.26 elektrolit olarak deniz suyunun kullanıldığı deneylerde üretilen anot sıvılarının toplam ve serbest hazır klor derişimleri ile bu derişimlerin sağlandığı akım şiddetlerini göstermektedir. Bu şekiller her üç tuzlulukta gerçekleştirilmiş olan deneylerde üretilen anot sıvılarının başlangıç ve 10. dakikada ölçülen klor derişimlerini içerdiği için her bir deney iki nokta ile temsil

edilmektedir. Bununla birlikte üretim süresinin gerek akım şiddeti gerekse TK derişimleri üzerinde belirgin bir etkisi tespit edilmediğinden (bkz. Bölüm 6.1.2), bu değerlerin hangi dakikada elde edildiğı şekillerde yer almamaktadır.



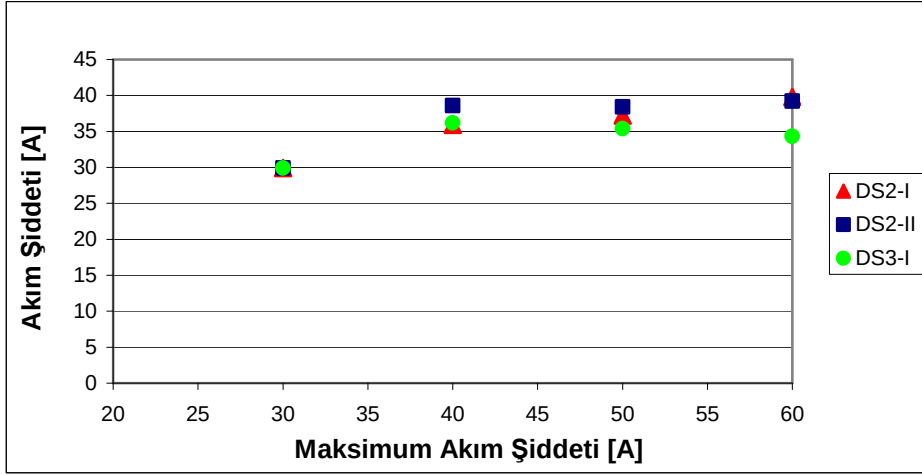
Şekil 6.18 :FTEC 500 – DS (%18) ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.



Şekil 6.19 :FTEC 500 – DS (%9) ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.

Deniz suyu tuzluluğunda (%18) herhangi bir değışiklik yapılmadan gerçekleştirilen deneylerde üretilen anot sıvılarının TK (Şekil 6.21) ve SHK (Şekil 6.22) derişimleri genellikle artan akım şiddeti ile artma eğilimindedir. Bununla birlikte DS1 ile gerçekleştirilen deneylerde ulaşılan akım şiddetlerinin DS2 ve DS3 ile elde edilen değerlerden daha düşük olmasına bağılı olarak, DS1 ile üretilen anot sıvılarının toplam ve SHK derişimleri diğ er deniz suları ile elde edilen değerlerden daha düşüktür. Bu tuzlulukta en yüksek TK derişimine (~397 mg/L) DS3 ile akım şiddeti 35 A olduğunda ulaşılmıştır. En düşük TK derişimi (~117 mg/L) ise DS1 ile gerçekleştirilen ilk deneylerde akım şiddeti 17,4A olduğunda elde edilmiştir. SHK

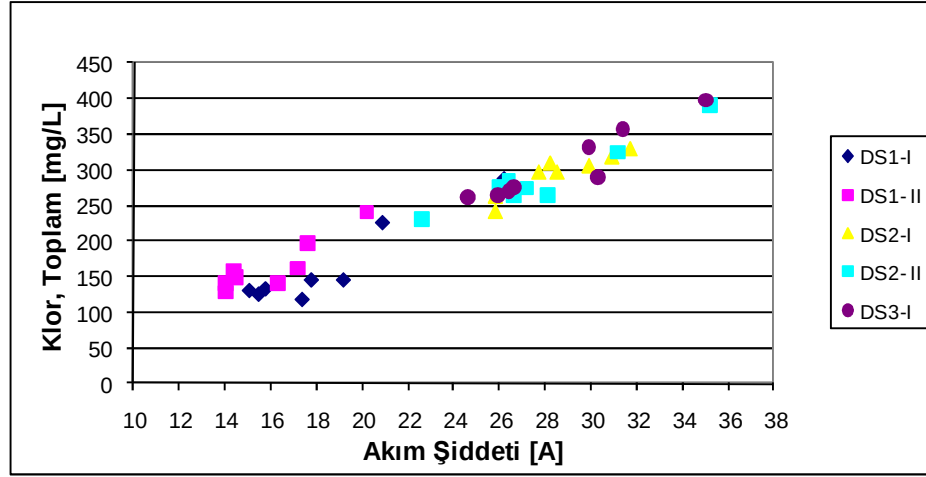
derişimleri irdelendiğinde de en yüksek değerin (~358 mg/L) yine DS3 ile akım şiddeti 35 A olduğunda elde edildiği anlaşılmaktadır. En düşük SHK derişimi (35,6 mg/L) ise DS1 ile gerçekleştirilen ilk deneylerde akım şiddeti 17,8 A olduğunda elde edilmiştir.



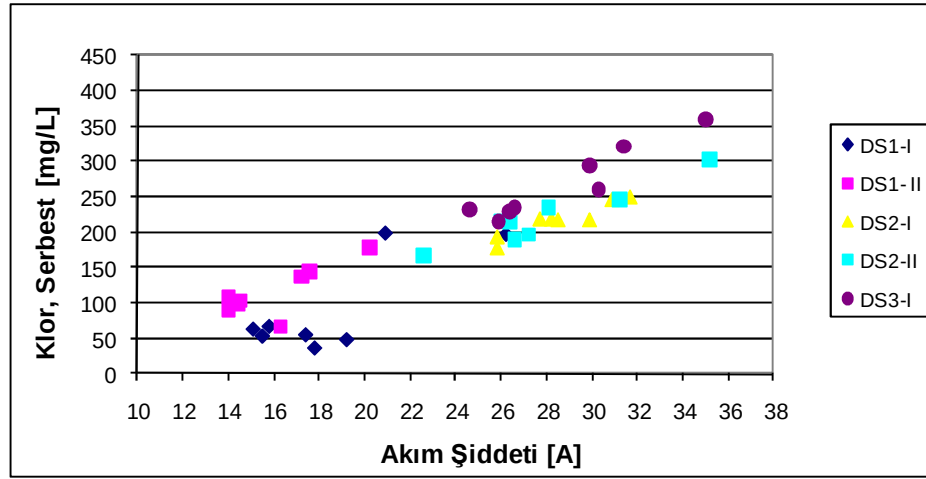
Şekil 6.20 :FTEC 500 – DS (%30) ile her A_{maks} için elde edilen akım şiddeti.

Deniz suyu tuzluluğunun %30'a çıkartıldığı deneylerde de TK (Şekil 6.23) ve SHK (Şekil 6.24) derişimleri akım şiddeti ile birlikte artma eğilimindedir. Bu tuzlulukta en yüksek TK derişimi (579 mg/L) DS2 ile gerçekleştirilen tekrar deneylerinde akım şiddeti 45,1A iken elde edilmiştir. En düşük TK derişimi (316,5 mg/L) ise DS2 ile gerçekleştirilen ilk deneylerde akım şiddeti 30 A olduğunda elde edilmiştir. Deniz suyu tuzluluğunun %30 olduğu bu deneylerde elde edilen en yüksek serbest klor derişimi (542 mg/L) DS3 ile akım şiddeti 46,4A olduğunda elde edilirken en düşük serbest klor derişimi (239 mg/L) DS2 ile ilk deneylerde akım şiddeti 30 A olduğunda elde edilmiştir.

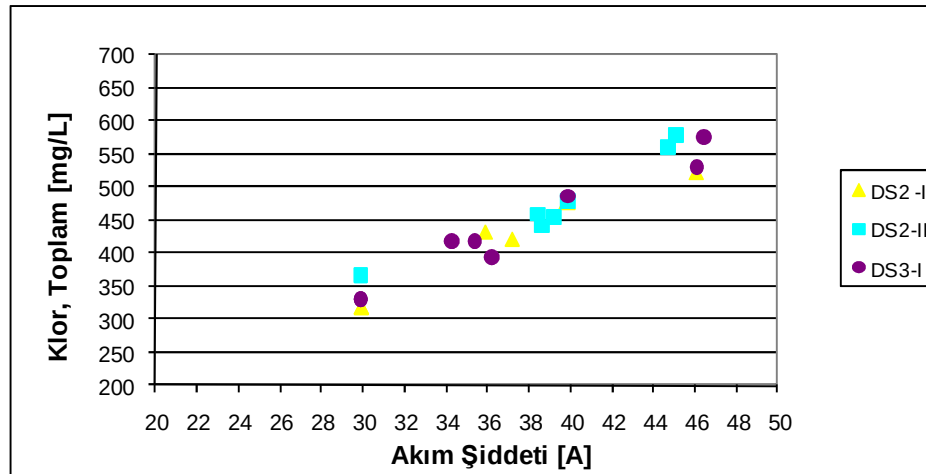
Deniz suyu tuzluluğu %9 olduğunda elde edilen TK derişimleri DS2-I ve DS3-I ile ifade edilen deneylerde artan akım şiddeti ile birlikte artma eğilimindedir. Ancak DS2 ile gerçekleştirilen tekrar deneyinde bu dağılım diğer deneylerdeki gibi düzgün değildir (Şekil 6.25). Bu tuzlulukta en yüksek TK derişimi (276 mg/L) DS3 ile akım şiddeti 30 A olduğunda elde edilmiştir. En düşük TK derişimi (121 mg/L) ise akım şiddeti 13,5A olduğunda elde edilmiştir. Bu tuzlulukta en yüksek SHK derişimi (179 mg/L) DS3 ile akım şiddeti 22,3A olduğunda elde edilirken en düşük SHK derişimi (90 mg/L) ise DS2-I deneyinde akım şiddeti 16,5A olduğunda elde edilmiştir.



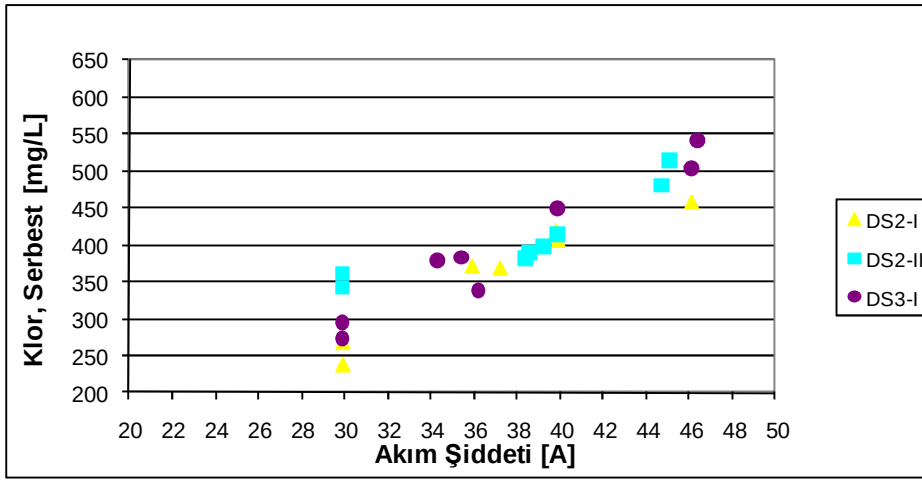
Şekil 6.21 :FTEC 500 – DS (%18) kullanılarak üretilen anot sıvısında TK.



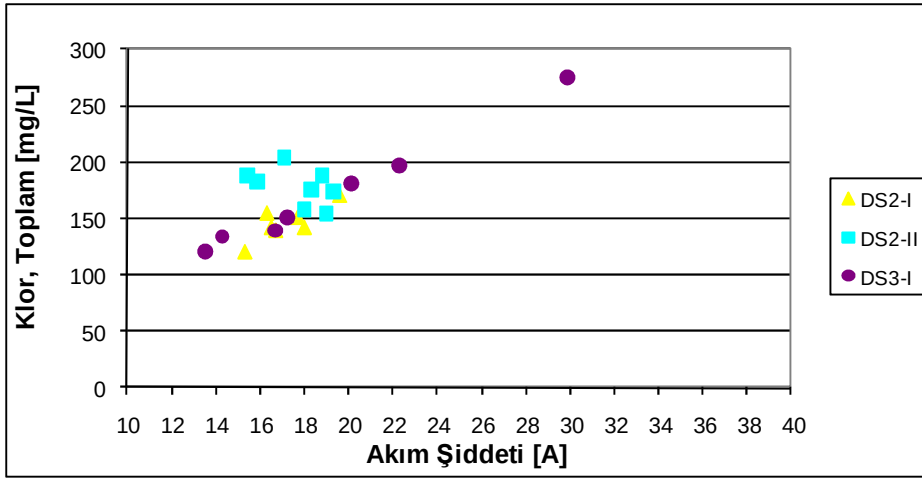
Şekil 6.22 :FTEC 500 – DS (%18) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.



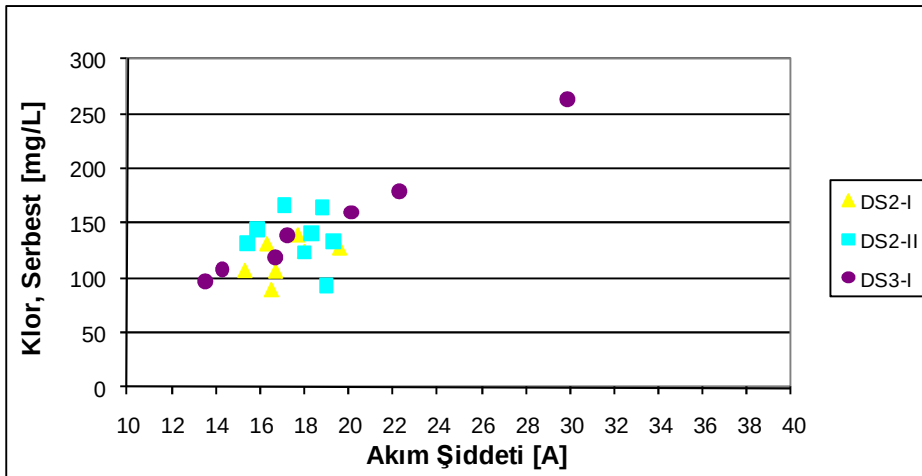
Şekil 6.23 :FTEC 500 – DS (%30) kullanılarak üretilen anot anot sıvısında TK.



Şekil 6.24 :FTEC 500 – DS (%30) kullanılarak üretilen anot anot sıvısında SHK.



Şekil 6.25 :FTEC 500 – DS (%9) kullanılarak üretilen anot anot sıvısında TK.



Şekil 6.26 :FTEC 500 – DS (%9) kullanılarak üretilen anot sıvısında SHK.

6.1.4 EC100 Nr. 201 kodlu elektroliz hücre ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

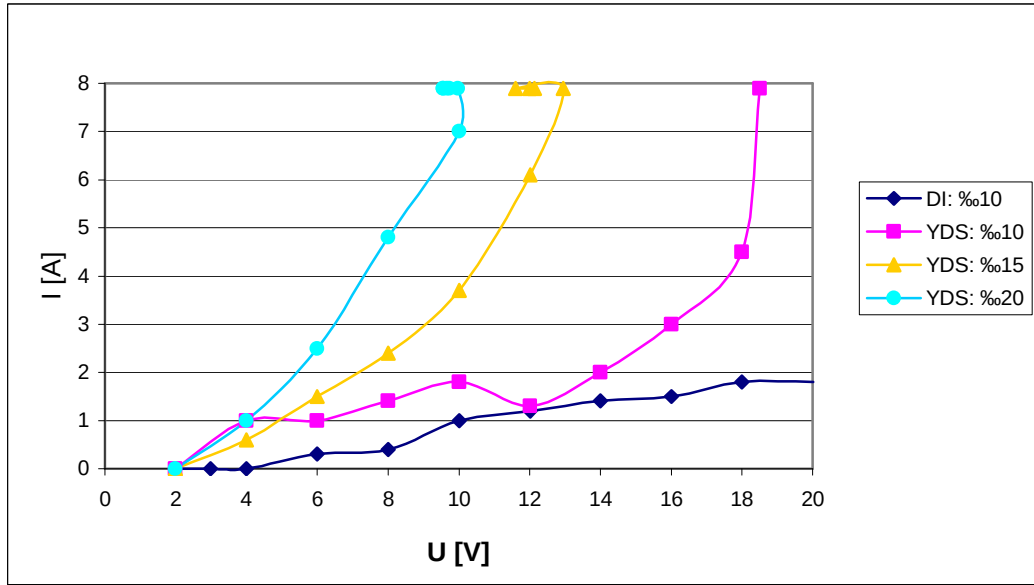
EC 100 Nr.201 kodlu elektroliz hücresi ile performans deneyleri FumaTech GmbH ile yapılan yazışmalar doğrultusunda üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada maksimum akım şiddeti 8 A olarak sabitlenmiştir ve maksimum voltaj ayarları değiştirilerek, bu gerilmeler altında elde edilebilen akımlar saptanmıştır. Bu hücre ile ikinci aşamada gerçekleştirilen deneylerde üç farklı tuzlulukta (%10, %15, %20) elektrolit kullanılarak iki farklı voltaj ayarında (10 V ve 20 V) ve standart yönde akım ile anot sıvısı üretilmiştir. Üretimin 30. ve 120. dakikalarında toplam ve SHK derişimleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada akım standart yönünde iken ve kutuplar değiştirilerek dezenfektan üretimi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece akım yönü standart olduğu zaman anot sıvısı üretilirken, akım yönü değiştirildiğinde katot sıvısı elde edilmiştir. Elde edilen dezenfektan sıvıların 15, 60 ve 90. dakikalarda klor derişimleri belirlenmiştir. Birinci ve ikinci aşama deneylerinde elektrolit olarak yapay deniz suyu ve deiyonize su ile hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise elektrolit olarak yapay deniz suyu (tuzluluk: %20), ve gerçek deniz suyu (tuzluluk: %18) kullanılmıştır.

Birinci aşamada elde edilen deney sonuçları Şekil 6.27 ve de EK C’de yer alan Çizelge C1 ile verilmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde deiyonize su ile hazırlanan ve %10 tuzluluğa sahip olan elektrolit ile bütün voltaj ayarlarında elde edilen akım şiddeti 2A’ın altında kaldığı dikkati çekmektedir. Bu elektrolit ile sağlanan en yüksek akım şiddeti olan 1,8 A, voltaj 18 V ve 20V olduğunda elde edilmiştir. Bununla birlikte %10 tuzluluktaki yapay deniz suyuyla voltaj 6V-14 V arasındayken akım şiddeti 1A-2 A arasında değişmiş daha sonra voltajla birlikte yükselmeye devam ederek, voltaj 18V olduğunda 8 A elde edilmiştir. Elektrolit tuzluluğu arttıkça elde edilen akım şiddetleri de artmış, akım şiddetti 8 A’e çok daha düşük voltajlarda ulaşmıştır.

Bu hücre ile ikinci aşamada değişen tuzluluk ve voltaj ayarının elde edilen anot sıvısının klor derişimlerine etkisi incelenmiştir. Deneylerin sonuçları Şekil 6.28 , Şekil 6.29 ve EK C’de yer alan Çizelge C2 ile verilmektedir. Bu deneylerde genel olarak maksimum voltaj ayarı 20 olduğunda elde edilen TK derişimleri, maksimum voltaj ayarı 10 V olduğunda elde edilen değerlerin belirgin bir şekilde üzerindedir

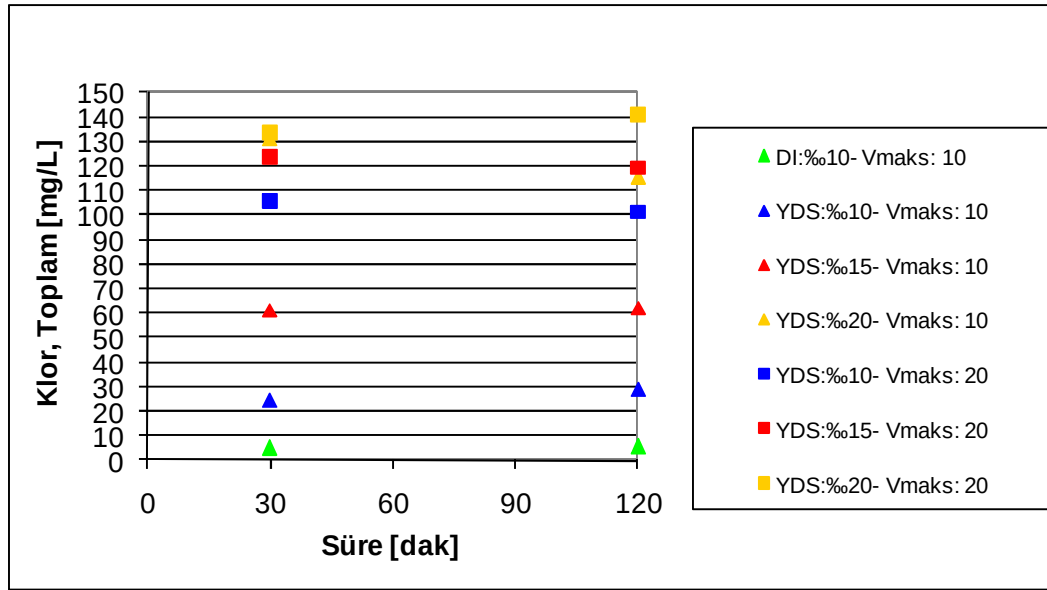
Ancak tuzluluk yükseldikçe bu iki voltaj ayarında elde edilen klor derişimleri arasındaki fark düşmektedir. Örneğin %10 tuzlulukta yapay deniz suyu ile gerçekleştirilen deney sonuçlarına bakıldığında, 10 V ayarında 30. dakikada ~20 mg/L, 120. dakikada ~29 mg/L TK içeren anot sıvısı üretilirken, 20 V ayarında 30. dakikada ~106 mg/L, 120. dakikada ~101 mg/L TK içeren anot sıvısı üretilmiştir. Bu tuzlulukta 10 V ile elde edilen akım şiddeti 2 A iken 20V ile 6A ve 6,4A olmuştur (bkz. EK C: Çizelge C2). Tuzluluk %20 olduğunda yapay deniz suyu ile gerçekleştirilen deneylerde ise maksimum voltaj ayarı 10 V ve 20 V olduğunda ulaşılan akım şiddeti sırası ile 7-6,4 A ve 7,9 A olmuştur. Bu tuzluluktaki elektrolit ile üretilen anot sıvısında TK derişimi, voltaj ayarı 10V olduğunda 133-115 mg/L iken 20 V olduğunda ve 133-141 mg/L'dir.



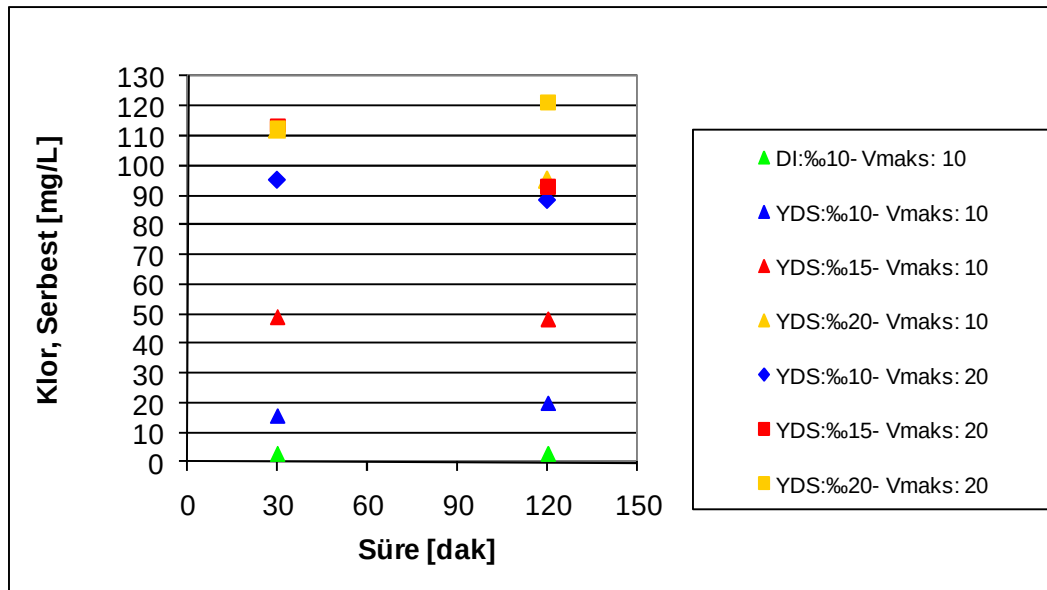
Şekil 6.27 :EC 100 Nr. 210 ile değişen V_{maks} ayarlarında elde edilen akım şiddeti değerleri.

Bu deneylerde üretilen anot sıvılarındaki serbest hazır klor da benzer bir eğilim göstermektedir. Maksimum voltaj ayarı 20 olduğunda elde edilen SHK derişimleri de, maksimum voltaj ayarı 10 V olduğunda elde edilen SHK derişimlerinin belirgin bir şekilde üzerindedir, ancak tuzluluk yükseldikçe bu iki voltaj ayarında üretilen anot sıvılarının SHK derişimleri arasındaki fark azalmaktadır (Şekil 6.29).

Son olarak standart ve ters akım yönleri ile dezenfektan üretimi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Standart akım yönünde anot sıvısı üretilirken, akım yönü değiştirildiğinde ise katot sıvısı üretilmiştir. Deney sonuçları Şekil 6.30 , Şekil 6.31 ve EK C'de verilmiştir (bkz. EK C: Çizelge C3 ve Çizelge C4).



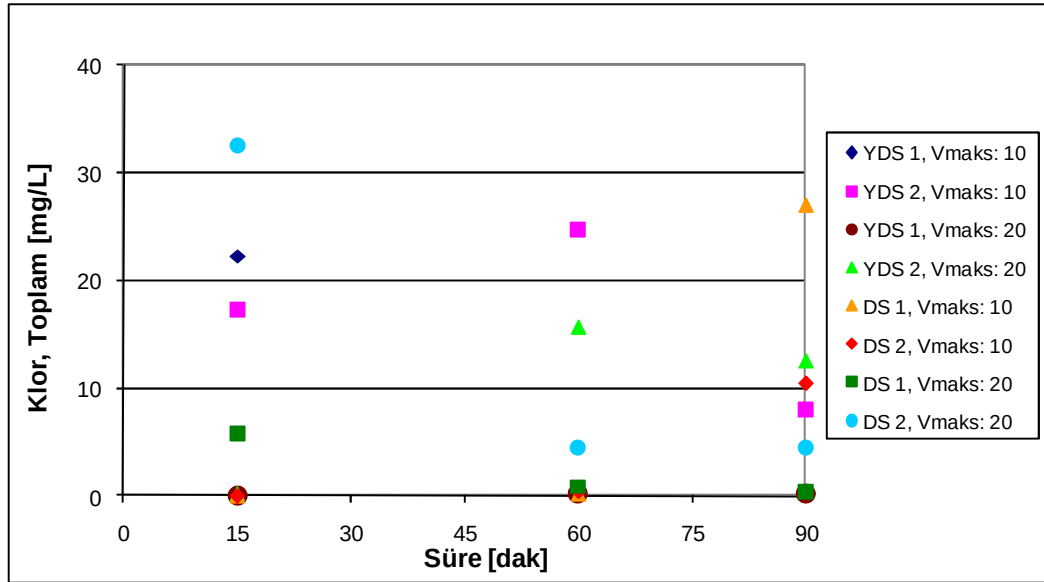
Şekil 6.28 :EC 100 Nr. 201 ile farklı tuzluklarda üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi.



Şekil 6.29 :EC 100 Nr. 201 ile farklı tuzluklarda üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi.

Deneyler tamamlandıktan sonra kontrol amaçlı ikinci seri deneyler gerçekleştirilmiştir. İlk deneyler şekillerin göstergesinde “1” ile tekrar deneyleri ise “2” ile gösterilmektedir. Bu deneyler esnasında test sistemi ters akım yönünde çalıştırılarak 90 dakika süre ile katot sıvısı elde edilirken, hemen ardından cihaz kapatılmadan, akım yönü tekrar standart hale çevrilerek 90 dakika süre ile anot sıvısı üretilmiştir. EC 100 Nr. 201 ile üretilen katot sıvılarının TK derişimleri genellikle 40 mg/L’nin altındadır (Şekil 6.30). Bu sonuca sadece birinci seri deneylerde Vmaks 10

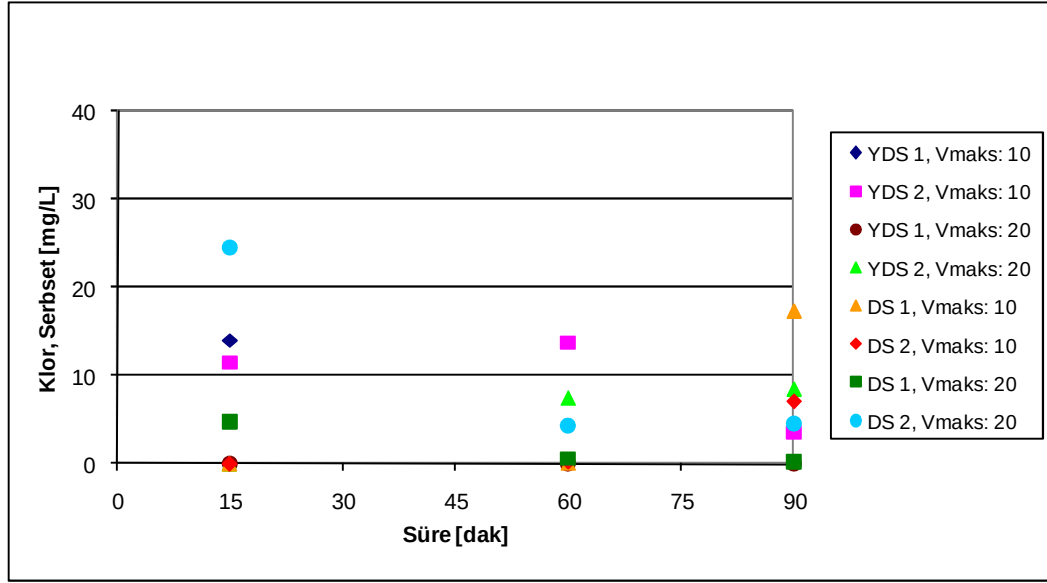
olduğunda yapay deniz suyu ile elde edilen değerler istisnadır (YDS 1, V_{maks} : 10). Bu deneyde 60. dakikada TK derişimi 122,81 mg/L iken 90. dakikada 120,31'dir (Çizelge C3). Bu değerler, genel ortalamanın çok üzerinde olduğu için şekle dâhil edilmemiştir. Ancak bunların dışında kalan değerler de oldukça düzensizdir. Bu deneylerde en yüksek TK ve SHK derişimleri V_{maks} değeri 20 olduğunda yapay deniz suyu ile beklenmesine rağmen, birinci seride bu koşullarda gerçekleştirilen deneyde üç örnekleme zamanında da üretilen katot sıvısının TK derişimi 0,1 mg/L'dir. Şekil 6.30 de verilen TK derişimleri incelendiğinde en yüksek TK (32,5 mg/L), deniz suyu ile ikinci seride V_{maks} değeri 20 olduğunda 15. dakikada elde edilmiştir.



Şekil 6.30 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen katot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).

Bu deneyde ilerleyen zamanda TK derişimi 4,5 mg/L'ye düşmüştür. Deneylerin büyük bir kısmında, en az bir kez TK derişimi sıfıra çok yaklaşmıştır. Deniz suyu ile gerçekleştirilen deneylerin tamamı incelendiğinde üretilen katot sıvılarında TK derişimlerinin, üç örnekleme zamanı dışında, 10 mg/L'nin altında kaldığı dikkati çekmektedir.

Sonuç olarak bu elektroliz hücresi ile üretilen katot sıvılarının SHK derişimleri ise genelde 10 mg/L'nin altında kümelenmiştir (Şekil 6.31). Ancak V_{maks} 10 olduğunda yapay deniz suyu ile üretilen katot sıvısında (YDS1, V_{maks} : 10), TK derişimi gibi, SHK derişimi de oldukça yüksektir. Bu deneyde 60. dakikada 109, 05 mg/L SHK tespit edilirken, 90. dakikada 111,25 mg/L belirlenmiştir.

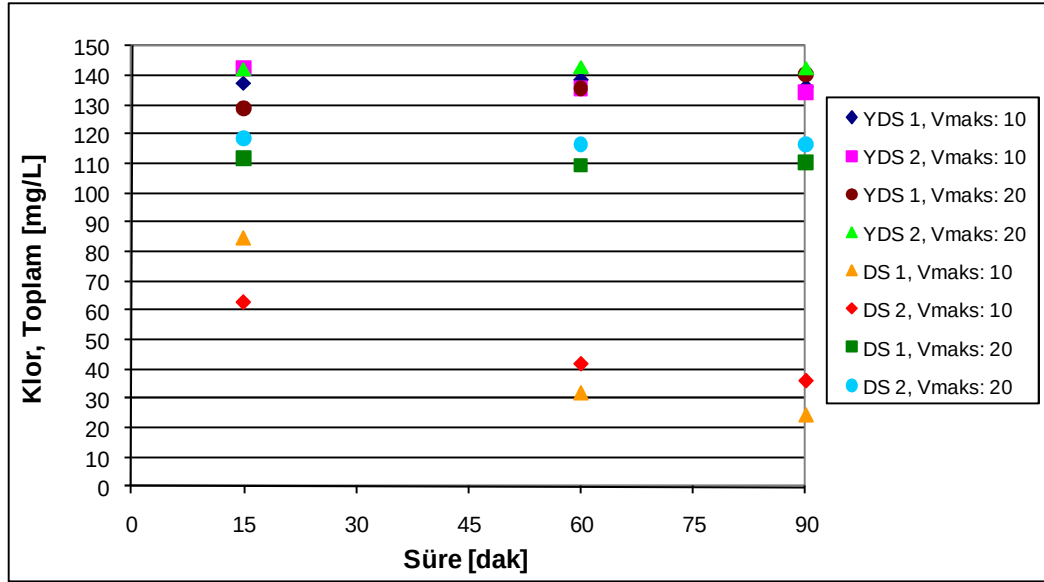


Şekil 6.31 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen katot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).

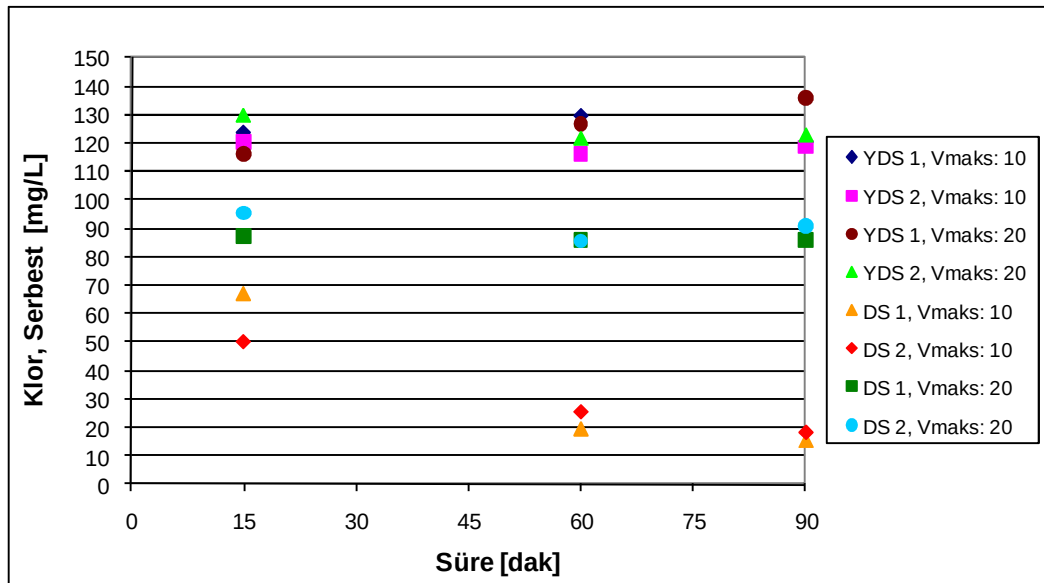
Katot sıvısı üretiminin hemen ardından gerçekleştirilen anot sıvısı üretiminde elde edilen değerler ise, katot sıvısı değerlerinin aksine, oldukça dengelidir. Yapay deniz suyu kullanılan tüm deneylerde, üretilen anot sıvısının TK derişimi 140 mg/L civarındadır (Şekil 6.32). Bu değerler, bir önceki aşamada gerçekleştirilen ve sonuçları Şekil 6.28 ile verilen deneylerde elde edilen değerlerin az da olsa üzerindedir. Proje esnasında LVPG GmbH ve FumaTech GmbH ile yapılan yazışmalar çift akım yönlü çalışabilen bu hücrelerin ters akım yönü ile çalıştırıldığında anot yüzeyinde oluşan birikmelerin temizlenmesini sağladığı yönündedir ve deney sonuçları bunu desteklemektedir. Elektrik akımının ters yönde çalışması sayesinde elektrotların temizleniyor olması TK derişimindeki bu artışı sağlamaktadır. Maksimum voltaj 20 V olduğunda deniz suyu ile ilk deneyde (DS 1, Vmaks: 20) üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi her üç örnekleme zamanında ~100 mg/L iken ikinci deneyde ~117 mg/L’dir. Maksimum voltaj ayarı 10 V iken, elde edilen akım şiddetinin de düşmesine bağlı olarak (bkz. Ek C: Çizelge C4) üretilen anot sıvılarının TK derişimleri de daha düşüktür. Deniz suyu ile gerçekleştirilen bu deneylerde dikkati çeken en önemli nokta, TK derişiminin ilerleyen üretim süresiyle birlikte düşmesidir. Bu düşüş, elektrotlar ve membran üzerinde meydana gelen birikintilerden kaynaklanmaktadır.

Bu elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvılarının SHK derişimleri de TK derişimleri gibi düzenli seyretmiştir (Şekil 6.33). Musluk suyu ile hazırlanan elektrolitlerle

Üretilen anot sıvılarında SHK 116-130 mg/L arasında değişirken, deniz suyu ile maksimum voltaj 20 V olduğunda ortalama SHK derişimi 114 mg/L'dir. Ancak deniz suyu ile maksimum voltaj 10 V olduğunda SHK derişimleri de, TK derişimlerindeki düşüşe paralel bir şekilde düşmektedir.



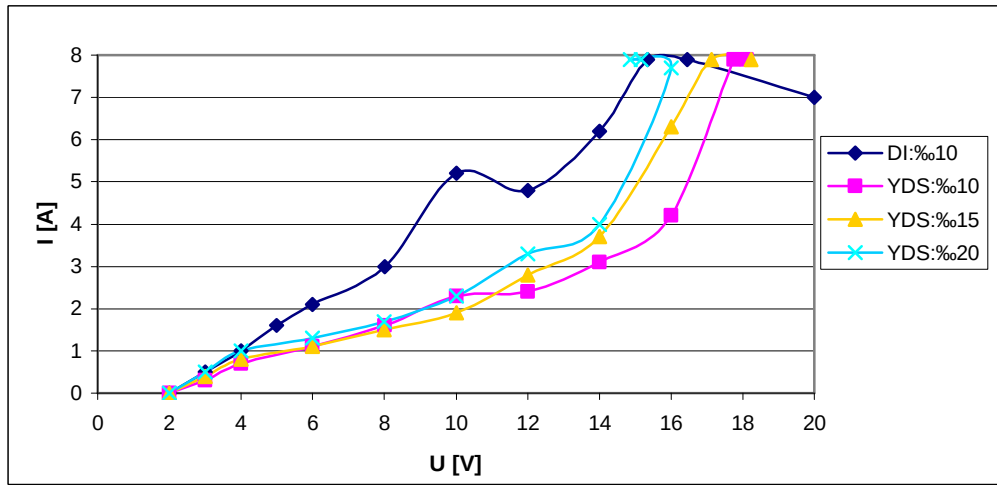
Şekil 6.32 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).



Şekil 6.33 :EC 100 Nr. 201 ile üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).

6.1.5 EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücre ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

EC 100 Nr.240 kodlu elektroliz hücresi ile performans deneyleri, EC 100 Nr.201 ile olduğu gibi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada maksimum akım şiddeti 8 A olarak sabitlenmiştir ve maksimum voltaj ayarları değiştirilerek, bu gerilmeler altında elde edilebilen akımlar saptanmıştır. Bu hücre ile ikinci aşamada gerçekleştirilen deneylerde üç farklı tuzlulukta (%10, %15, %20) elektrolit kullanılarak iki farklı voltaj ayarında (10 V ve 20 V) ve standart yönde akım ile anot sıvısı üretilmiştir. Üretimin 30. ve 120. dakikalarında TK ve SHK derişimleri belirlenmiştir. Bu hücre ile son aşamada akım standart yönünde iken ve akım yönü değiştirilerek dezenfektan üretimi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dezenfektan sıvıların 15, 60 ve 90. dakikalarda klor derişimleri belirlenmiştir. Birinci ve ikinci aşamada deneylerinde elektrolit olarak yapay deniz suyu ve deiyonize su ile hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise elektrolit olarak yapay deniz suyu (tuzluluk: %20), ve deniz suyu (tuzluluk: %18) kullanılmıştır.



Şekil 6.34 :EC 100 Nr. 240 ile değişen V_{maks} ayarlarında elde edilen akım şiddeti değerleri.

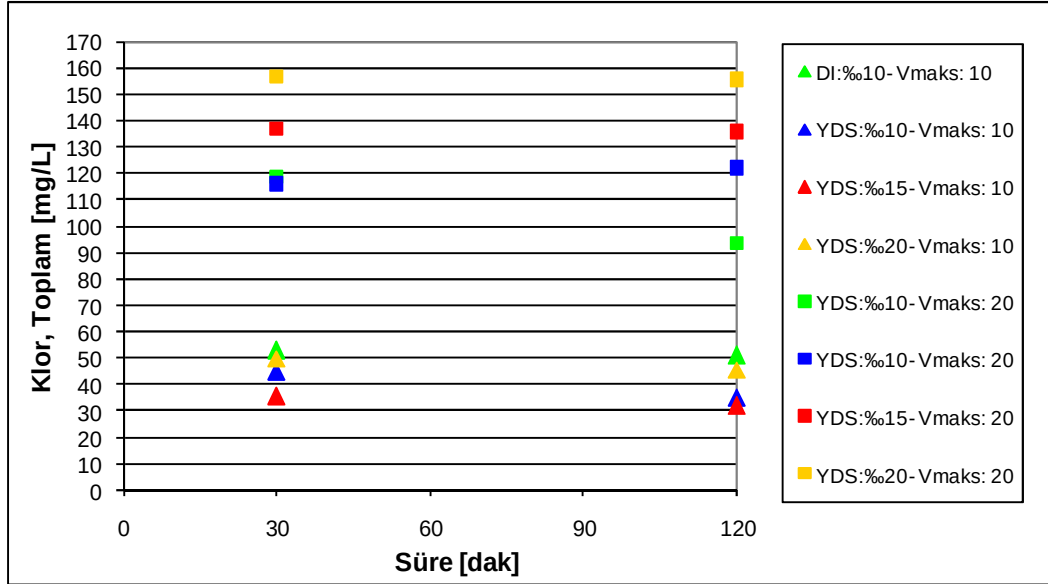
Birinci aşamada elde edilen deney sonuçları Şekil 6.34 ve de EK D'de yer alan Çizelge D1 ile verilmektedir. Bu sonuçlar voltajın yükselmesi ile, elde edilen akım şiddetinde de yükselme gerçekleştiğini göstermektedir ve tüm elektrolitlerle belli bir voltaj değerinden sonra maksimum akım şiddeti değeri olan 8 A'ye ulaşılmıştır. Elde edilen akım şiddetindeki yükselme en hızlı deiyonize su ile hazırlanan ve %10 tuzluluğa sahip olan elektrolit ile gerçekleşmiştir. Yapay deniz suyu kullanılan deneylerde ise 10 V'un altındaki voltajlarda elde edilen akım şiddetleri birbirlerine

yakın seyrederken, 10 V'un üzerindeki voltajlarda artan tuzluluk akım şiddetindeki artışı hızlandırmıştır.

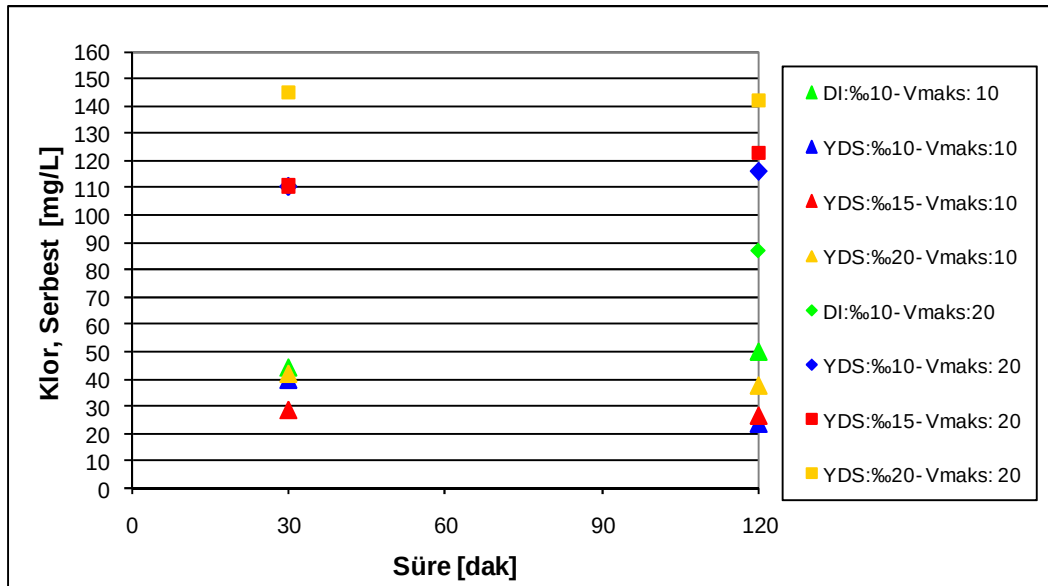
Aynı hücre ile ikinci aşamada değişen tuzluluk ve voltaj ayarının elde edilen anot sıvısının klor derişimlerine etkisi incelenmiştir. Deneylerin sonuçları Şekil 6.35 , Şekil 6.36 ve EK D'de yer alan Çizelge D2 ile verilmektedir. Bu deneylerde genel olarak maksimum voltaj ayarı 20 olduğunda elde edilen TK derişimleri, maksimum voltaj ayarı 10 V olduğunda elde edilen TK derişimlerinin belirgin bir şekilde üzerindedir (Şekil 6.35). Voltaj ayarı 10 V iken tüm elektrolitler ile üretilen anot sıvılarının TK değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Bu sonuçlar birinci aşamadaki deneylerde elde edilen sonuçlarla da desteklenmektedir. Şekil 6.34 ile verilen birinci aşama sonuçları 10 V'un altındaki voltajlarda elde edilen akım şiddetlerinin birbirlerine yakın seyrettiğini ortaya koymakta, bu da TK derişimlerinin de yakın olmasına neden olmaktadır. Ancak 20 V ayarı ile gerçekleştirilen tüm deneylerde akım şiddeti 8A'e ulaştığı için üretilen anot sıvılarında elektrolit tuzluluğu yükseldikçe daha yüksek TK derişimi elde edilmiştir. Bu voltaj ayarında en düşük TK derişimi (~119 mg/L ve ~93 mg/L) deiyonize su ile hazırlanan elektrolit (%10) ile elde edilmiştir. En yüksek TK derişimleri ise (~157 mg/L ve ~155 mg/L), tuzluluğu %20 olan yapay deniz suyu ile elde edilmiştir.

EC 100 Nr. 240 ile ikinci aşamada üretilen anot sıvılarının SHK derişimlerinin seyri de TK derişimlerinin seyrinden biraz farklıdır. Genel olarak maksimum voltaj ayarı 20 V olduğunda elde edilen SHK derişimleri de, TK derişimlerinde olduğu gibi, maksimum voltaj ayarı 10 V olduğunda elde edilen SHK derişimlerinin belirgin bir şekilde üzerindedir (Şekil 6.36). Ancak voltaj ayarı 20 V olduğunda tuzluluğun etkisi TK derişimlerinde olduğu gibi belirgin değildir. En yüksek SHK derişimi 20 V ayarında %20 tuzluluktaki yapay deniz suyu ile gerçekleştirilen deneyde elde edilmesine rağmen, bu voltaj ayarında diğer deneylerde üretilen anot sıvılarının SHK derişimlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bu elektroliz hücresi ile son olarak standart ve ters akım yönleri ile dezenfektan üretimi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Şekil 6.37 Şekil 6.38 ve EK D'de (Çizelge D.3 ve Çizelge D.4) verilmiştir. Deneyler, biri tekrar deneyleri olmak üzere, iki seri halinde gerçekleştirilmiştir. Ancak yapay deniz suyu ile maksimum voltaj ayarı 20V olduğunda sadece bir kez anot sıvısı üretimi yapılmıştır. İlk deneyler şekillerin göstergesinde "1" ile tekrar deneyleri ise "2" ile gösterilmektedir. Bu deneylerde test

sistemi önce ters akım yönünde çalıştırılarak 90 dakika süre ile katot sıvısı üretilmiştir. Ardından, cihaz kapatılmadan, akım yöne değiştirilerek 90 dakika süre ile anot sıvısı üretilmiştir.



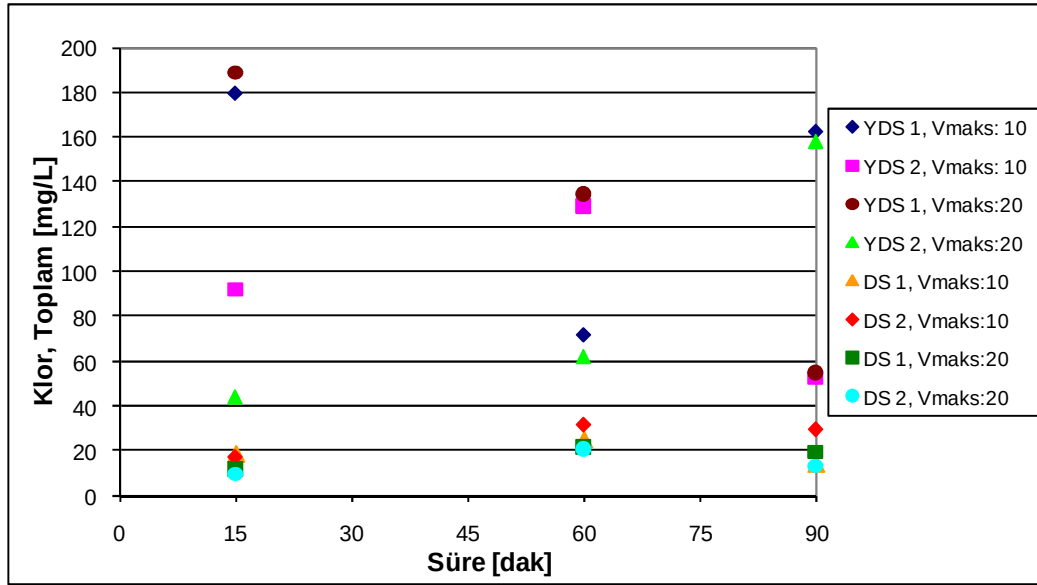
Şekil 6.35 :EC 100 Nr. 240 ile farklı tuzluluklarda üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi.



Şekil 6.36 :EC 100 Nr. 240 ile farklı tuzluluklarda üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi.

EC 100 Nr. 240 ile yapay deniz suyu kullanılarak üretilen katot sıvılarının TK derişimleri oldukça düzensiz seyretmiştir (Şekil 6.37). Maksimum voltaj ayarı 10V olan YDS deneylerinde, voltajın bu değere ulaştığı ve elde edilen akım şiddeti değerlerinin ise 5,6A-6,4A arasında seyrettiği belirlenmiştir (bkz. EK D: Çizelge

D3). Bununla birlikte maksimum voltaj ayarı 20 V olan YDS deneylerindeyse sağlanan voltaj değeri 10V-12,97V arasında değişirken, elde edilen akım şiddetlerinin ise genelde 6,6A'in üzerindedir. Bu sonuçlara rağmen YDS deneylerinde maksimum voltaj ayarı 10V olduğunda elde edilen TK derişimlerinin, maksimum voltaj ayarı 20V olduğunda elde edilen TK derişimlerinden genel olarak daha yüksek olması dikkati çekmektedir (Şekil 6.37). Bu deneylerde en yüksek TK derişimi (188,75 mg/L) maksimum voltaj ayarı 20 V olan YDS1 deneyinde 15. dakikada belirlenmiştir. Ancak bu deney süresince TK derişimi 60. dakikada 134,38 mg/L'ye, 90. dakikada ise 55 mg/L'ye düşmüştür. Yapay deniz suyu ile en düşük TK derişimi (43,75 mg/L) ise maksimum voltaj ayarı 20 V olduğunda (YDS2, Vmaks:20) belirlenmiştir Benzer düzensizlik deniz suyu kullanılarak üretilen katot sıvılarında da dikkati çekmektedir. Deniz suyu deneylerinde üretilen katot sıvılarının TK derişimleri 9,75mg/L ile 31,50mg/L arasında değişmektedir. Ancak bu deneylerde de elde edilen TK derişimleri ile voltaj ve akım şiddeti değerleri arasında ilişkiyi belirlemek mümkün olmamıştır.

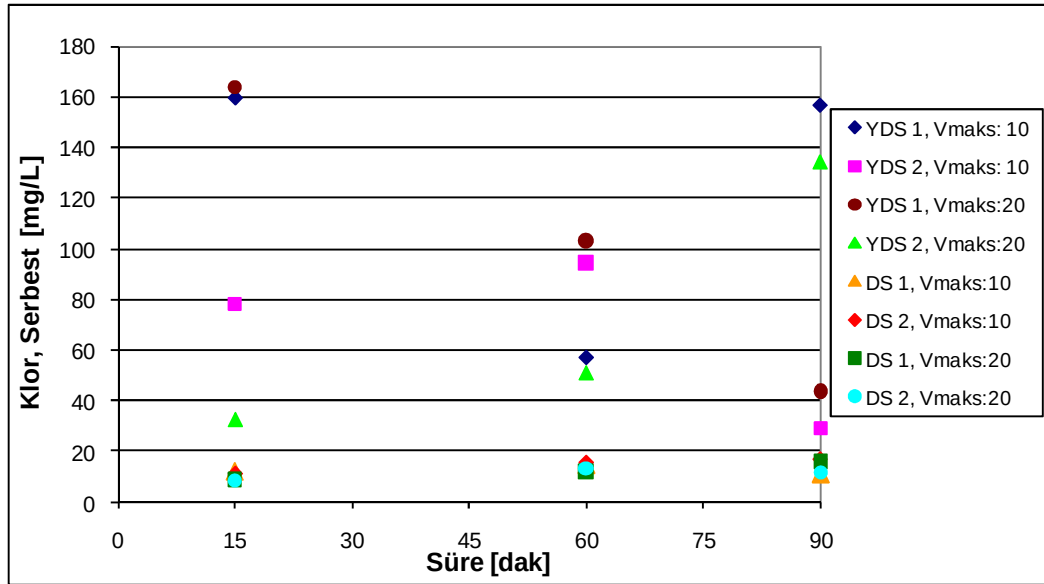


Şekil 6.37 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen katot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).

Katot sıvılarının TK derişimindeki düzensizlik SHK derişimlerine de yansımıştır (Şekil 6.38). SHK derişimindeki yükselmeler ve düşüşler TK değışimlerine paralel gerçekleşmiştir. Bu deneylerde en yüksek SHK derişimi de (163,75 mg/L) maksimum voltaj ayarı 20 V olan YDS1 deneyinde (YDS1, Vmaks:20) 15. dakikada belirlenmiştir. Ancak bu deney süresince SHK derişimi 60. dakikada 103,13

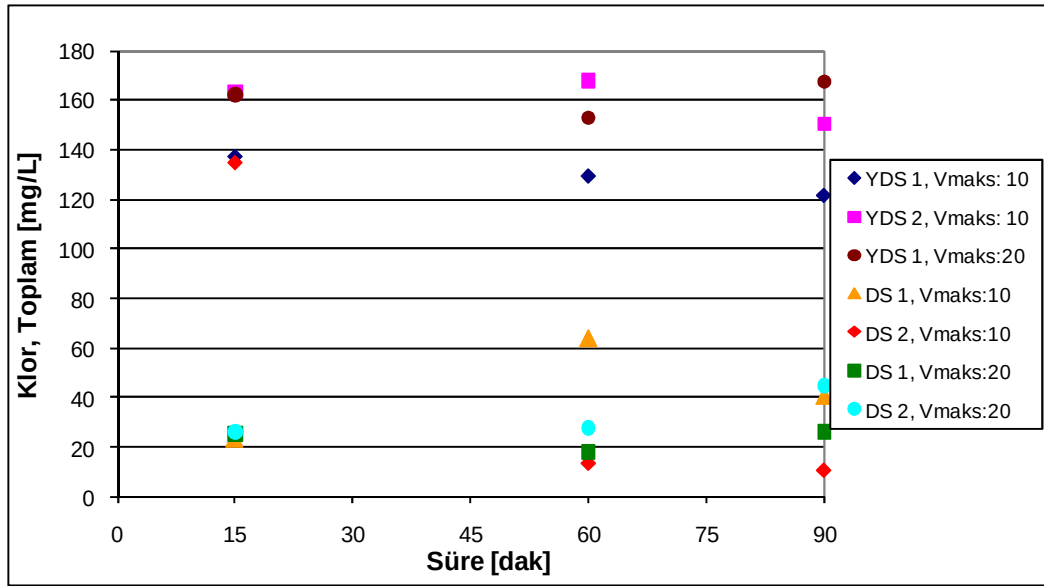
mg/L'ye, 90. dakikada ise 43,75 mg/L'ye düşmüştür. Yapay deniz suyu ile en düşük SHK derişimi (29,17 mg/L) ise maksimum voltaj ayarı 10 V olduğunda (YDS2, V_{maks} :10) belirlenmiştir. Gerçek deniz suyu ile üretilen katot sıvılarının SHK derişimleri ise 8,50 mg/L ile 16,75 mg/L arasında değişmektedir.

Katot sıvısı üretiminin hemen ardından gerçekleştirilen anot sıvısı üretiminde elde edilen değerler ise, katot sıvısı değerlerinin aksine, daha dengelidir (Şekil 6.39). Bu deneylerde yapay deniz suyu ile üretilen anot sıvılarının TK derişimleri 121,25 mg/L ile 167,92 mg/L arasında değişmektedir. Deniz suyu ile üretilen anot sıvılarının TK derişimleri ise genellikle 20 mg/L ile 40 mg/L arasındadır ancak buna rağmen en yüksek TK derişimi (134,58 mg/L) maksimum voltaj ayarı 10 olduğunda (DS2, V_{maks} :10) 15. dakikada belirlenmiştir. Bununla birlikte bu kadar yüksek bir TK derişimi deniz suyu ile bir daha yakalanamamıştır.

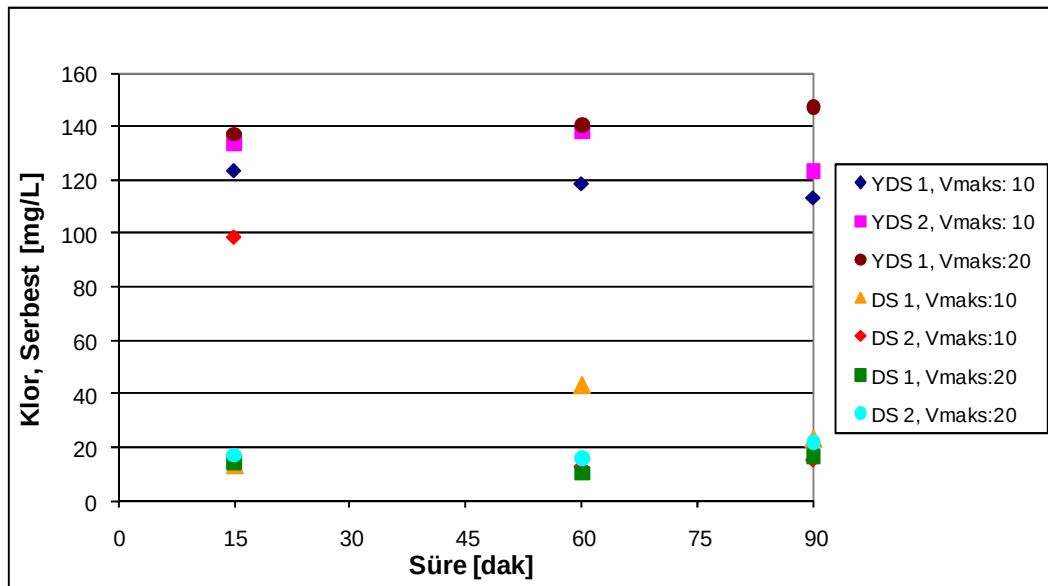


Şekil 6.38 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen katot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).

Bu deneylerde yapay deniz suyu ile üretilen anot sıvılarının SHK derişimleri 113,33 mg/L ile 147,50 mg/L arasında değişmektedir. Her bir deney süresince SHK, TK ile birlikte artıp azalmaktadır. Deniz suyu ile üretilen anot sıvılarının SHK derişimleri ise genellikle 20 mg/L'nin altındadır. Bununla birlikte en yüksek TK derişiminin belirlendiği zaman SHK derişimi de oldukça yüksek çıkmıştır (98,75 mg/L). Ancak bu kadar yüksek bir TK derişimi deniz suyu ile yapılan deneylerde tekrar gözlenememiştir.



Şekil 6.39 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen anot sıvısının toplam klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).



Şekil 6.40 :EC 100 Nr. 240 ile üretilen anot sıvısının serbest hazır klor derişimi (Elektrolit: YDS ve DS).

6.2 Bazı dış faktörlerin elektroliz hücre performansına etkisi

6.2.1 Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisi

Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisinin araştırıldığı deneylerde soğutucuda (~9 °C) ve laboratuvar ortamında (~22 °C) bekletilen NaCl çözeltisi anot sıvısı üretiminde elektrolit olarak kullanılmıştır. Maksimum akım şiddeti ayarı 16 olmasına rağmen bu deneylerde ulaşılabilen akım şiddeti 14-16 A arasında değişmiştir. Her iki

sıcaklıktaki elektrolitle üretilen anot sıvılarının klor derişimleri karşılaştırıldığında tespit edilen farklılıklar oldukça düşüktür (Çizelge 6.1). Bu tip farklılıklar tekrar deneylerinde aynı koşullarda üretilen anot sıvıları arasında dahi tespit edilebilmektedir. Bu nedenle bu farklılıklar anot sıvısının kullanım amacı göz önünde bulundurulduğunda, ihmal edilebilecek düzeydedir.

Çizelge 6.1 Elektrolit sıcaklığının anot sıvısına etkisi.

Elektrolit sıcaklığı	Redoks (mV)	Akım Şiddeti(A)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	pH
22°C	1109	16	65.5	59.5	2.83
~9 °	1105	14	62	53.75	3

Bununla birlikte serbest hazır klorun, Cl₂ (aq) ile HOCl ve OCl⁻ iyonlarının toplamı olduğu ve bu bileşenlerin dağılımının dezenfeksiyon verimi açısından önemli olduğu unutulmamalı, bu dağılımın sıcaklığa bağımlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Bölüm 4.3.1 de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi HOCl, serbest hazır kloru oluşturan bileşenler arasında en yüksek dezenfektan etkisine sahip olan bileşendir. HOCl'nin serbest hazır klor içindeki dağılımını ve yüzdesini veren aşağıdaki denklemler hatırlandığında Ka katsayısı sıcaklığa bağılı olarak değiştiği ve artan sıcaklıkla birlikte arttığı görülecektir.



$$K_a = \frac{[H_3O^+][OCl^-]}{[HOCl]} = 2,5 \times 10^{-8} \text{ (20°C'de)} \quad (4.18a)$$

$$\%[HOCl] = \frac{100}{\frac{K_a}{[H_3O^+]} + 1} \quad (4.18b)$$

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} \quad (4.19)$$

Yukarıdaki denklemler ışığında HOCl'nin serbest hazır klor içindeki oranı da artan sıcaklıkla düştüğü bilinmektedir. HOCl derişimindeki bu düşüşe bağılı olarak, anot sıvısının dezenfeksiyon kapasitesi de sıcaklığın artmasıyla düşecektir.

6.2.2 Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarının hücre performansına etkisi

Deniz suyu içerisinde mevcut olan Ca²⁺ ve Mg²⁺ gibi iyonlar, balast suyu arıtımında kullanılacak elektroliz hücrelerinin elektrotları üzerinde birikerek sistemin verimini

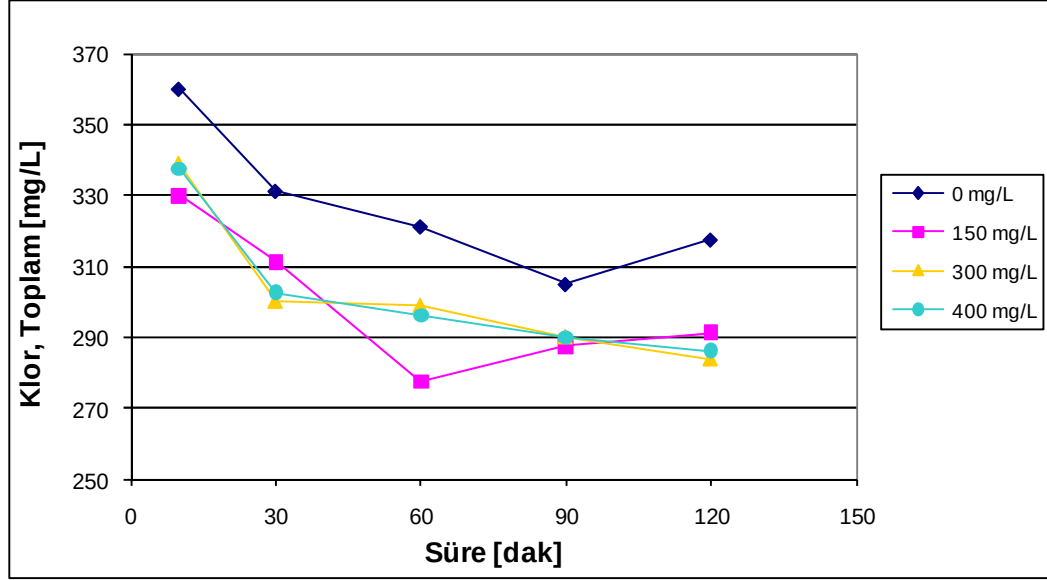
etkileyen tabakalar oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının hücre performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile bir takım deneyler yapılmıştır. Bu deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada sadece Ca^{2+} iyonlarının etkisi, ikinci aşamada sadece Mg^{2+} iyonlarının etkisi, son aşamada ise Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi incelenmiştir (Çizelge 5.10). Bu aşamalara ek olarak Ca^{2+} ve Mg^{2+} içermeyen sadece deiyonize su ve NaCl ile hazırlanan elektrolit ile kontrol deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan NaCl, eklenecek CaCl_2 ve MgCl_2 bileşiklerinin miktarına bağlı olarak, toplam tuzluluk %30 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Deniz suyu sertliği üzerinde etkili parametrelerden birisi olan Ca^{2+} iyonlarının anot sıvısı kalitesi üzerindeki etkisi incelendiği birinci seri deneylerinde, değişik derişimlerde CaCl_2 eklenerek farklı sertlik derecelerinde hazırlanan elektrolit ile anot sıvısı üretilmiştir. (Çizelge 5.10). Üretilen anot sıvıları içerdikleri toplam ve serbest hazır klor derişimleri açısından değerlendirilmiştir. Birinci seri deneylerinin sonuçları, Ca^{2+} iyonlarının anot sıvısındaki toplam ve SHK derişimleri üzerinde etkisini göstermektedir (Şekil 6.41 ve Şekil 6.42). Bu sonuçlara göre farklı derişimlerde Ca^{2+} içeren sular ile üretilen anot sıvılarındaki klor derişimlerinin tamamı, kontrol deneyinde bu iyonu içermeyen su ile üretilen anot sıvısındaki klor derişimlerinin altındadır.

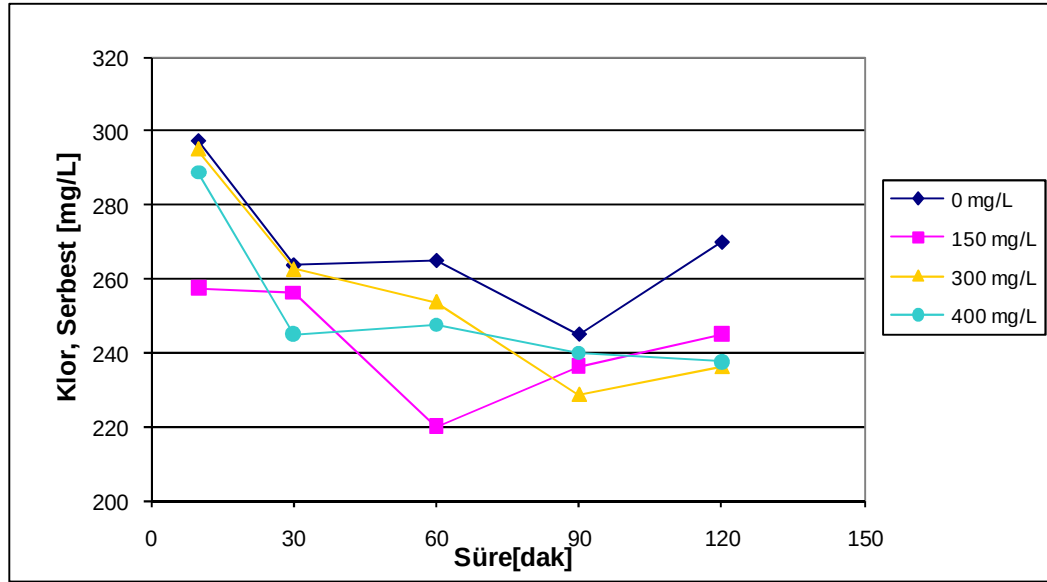
İkinci seri deneylerinde değişik derişimlerde MgCl_2 eklenerek farklı sertlik derecelerinde hazırlanan elektrolit ile anot sıvısı üretilmiş (Çizelge 5.10), deniz suyu sertliği üzerinde önemli bir etkisi bulunan Mg^{+2} iyonlarının anot sıvısı kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu seride elde edilen sonuçlar, genelde birinci seri deneylerinin sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Şekil 6.43 ve Şekil 6.44). Farklı derişimlerde Mg^{2+} içeren sular ile üretilen anot sıvılarındaki klor derişimlerinin tamamı kontrol deneyinde üretilen klor derişimlerinin altındadır.

Birinci ve ikinci seri deneylerde elde edilen sonuçlar Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının varlığının hücre performansını düşürdüğünü göstermektedir. Bu sonuçlarda gözlenen sapmalar ise iyonların elektrot yüzeylerinde oluşturduğu tabakalaşmaların, gerek Ca^{2+} gerekse Mg^{2+} iyonlarının derişimine bağlı belirgin bir düzeni olmadığını da ortaya koymaktadır.

Üçüncü seri deneylerde deniz suyu sertliğinin en önemli iki sebebi olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi incelenmiştir. Bu deneylerde Ca^{2+} derişimi 400 mg/L olarak sabit tutulmuş, Mg^{2+} derişimi 500 mg/L' den başlanılarak artırılmıştır, üçüncü deney ‰35 tuzluluğa sahip deniz suyunun sahip olduğı ortalama Ca^{2+} (400 mg/L) ve Mg^{+2} (1300 mg/L) derişimleri ile hazırlanmıştır (Çizelge 5.10).



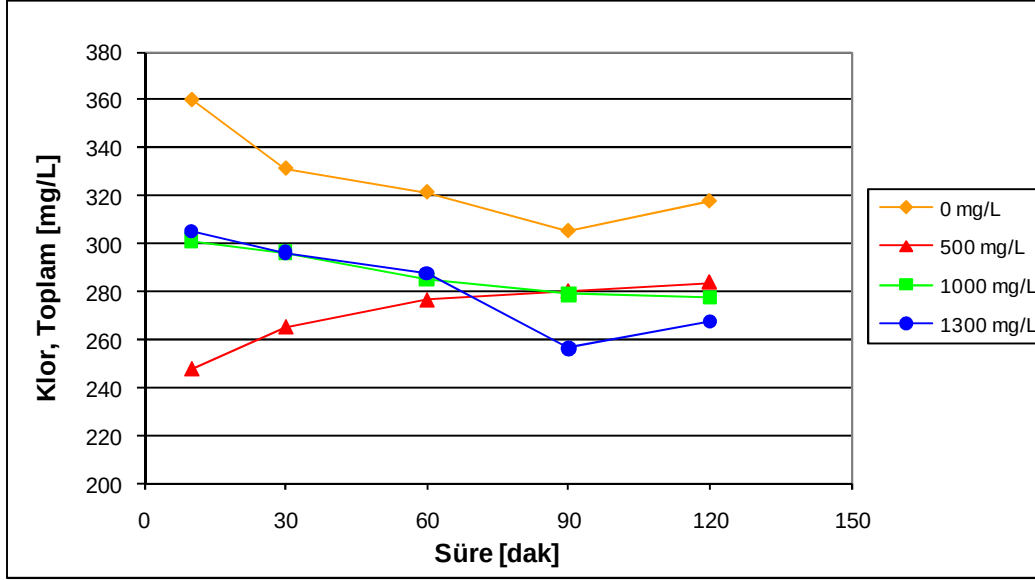
Şekil 6.41 : Ca^{2+} iyonlarının TK derişimine etkisi.



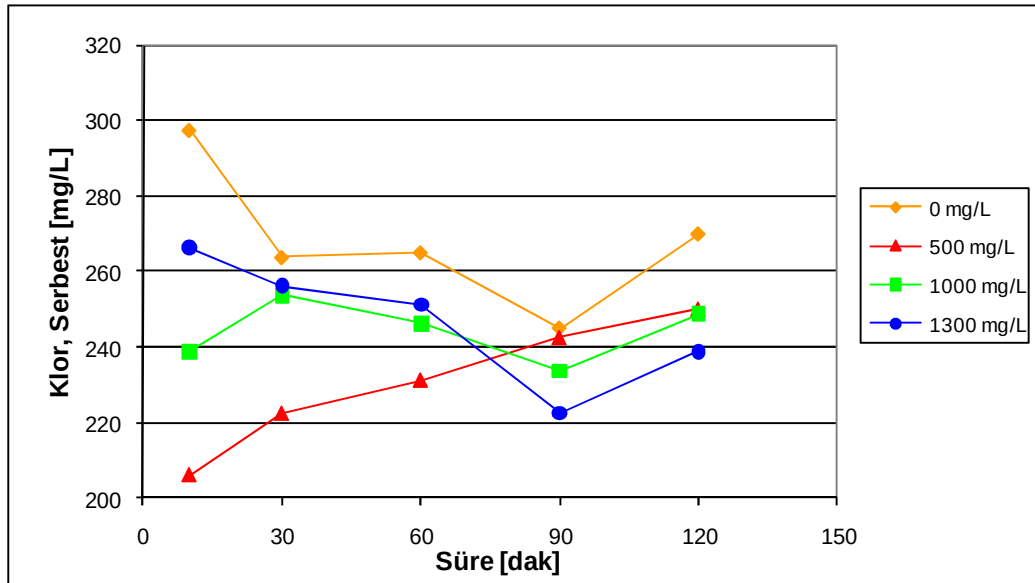
Şekil 6.42 : Ca^{2+} iyonlarının SHK derişimine etkisi.

Bu seride gerçekleştirilen deneylerin tamamında üretilen anot sıvısında elde edilen toplam hazır klor derişimi Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarını içermeyen su ile üretilen anot sıvısının içerdğı TK derişiminin altındadır (Şekil 6.45). Bununla birlikte 400 mg/L Ca^{2+} ve 500 mg/L Mg^{2+} içeren su ile üretilen anot sıvısı başlangıçta sertlik içermeyen

anot sıvısına kıyasla daha az SHK içerirken, birinci saatten sonra daha fazla SHK içermektedir (Şekil 6.46). Ancak üçüncü seri deneylerin sonuçları Ca^{2+} iyonlarının varlığında artan Mg^{2+} ile birlikte anot sıvısının içerdiği klor derişimlerinde düşüş gerçekleştiğini göstermektedir.



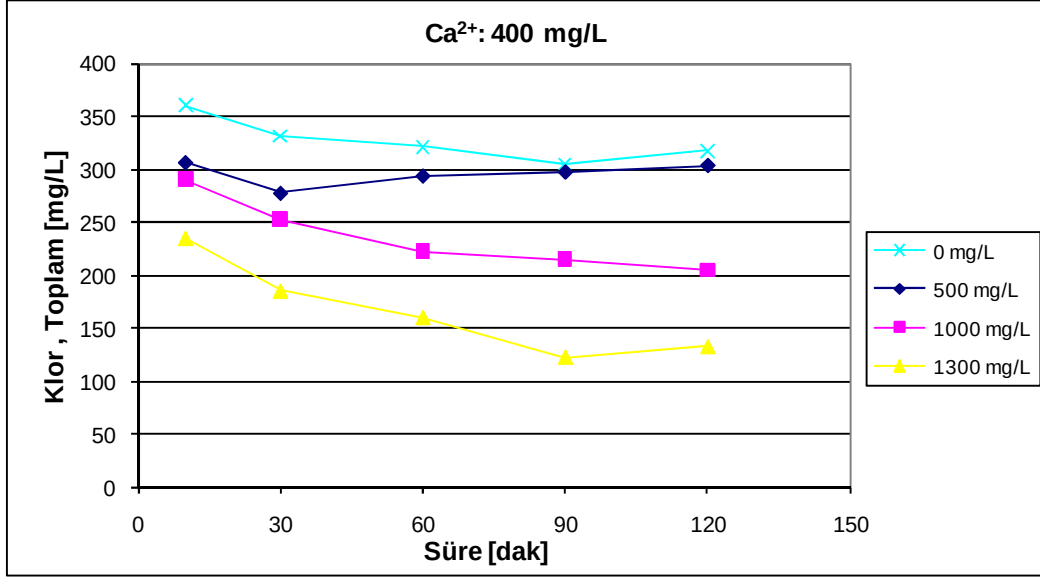
Şekil 6.43 : Mg^{2+} iyonlarının TK derişimine etkisi.



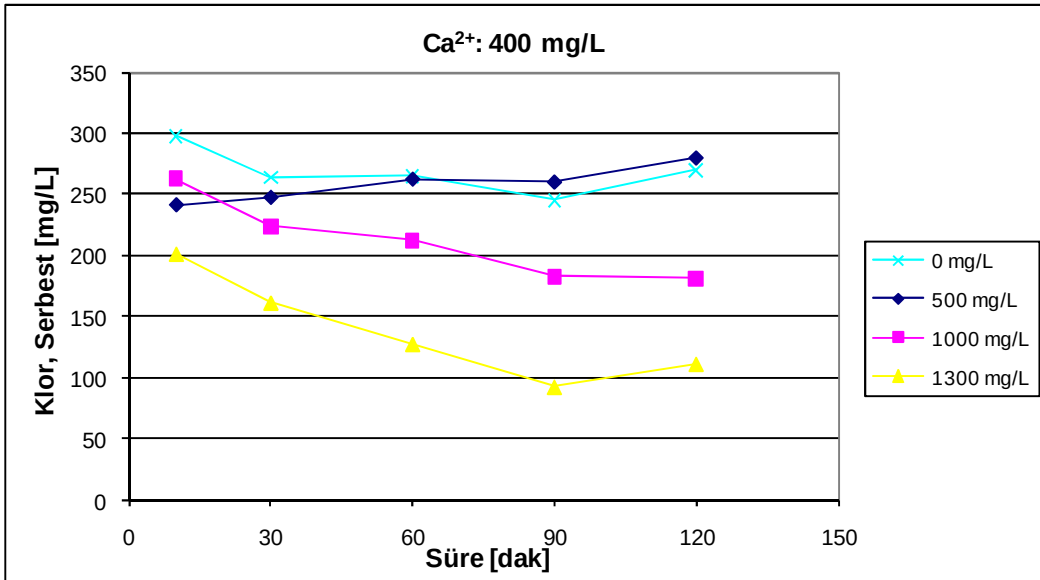
Şekil 6.44 : Mg^{2+} iyonlarının SHK derişimine etkisi.

İlk üç serinin ardından gerçekleştirilen uzun süreli anot sıvısı üretimi deneyinde kullanılan elektrolit, üçüncü serinin son deneyinde hazırlandığı şekilde, %35 tuzluluğa sahip deniz suyunun sahip olduğu ortalama Ca^{2+} ve Mg^{2+} değerleri ile hazırlanmıştır (400 mg/L Ca^{2+} ve 1300 mg/L Mg^{2+}). Bu deneyinde yapılan klor ölçümlerinin sonuçları, geçen süre ile birlikte klor derişiminde düşüş olduğunu

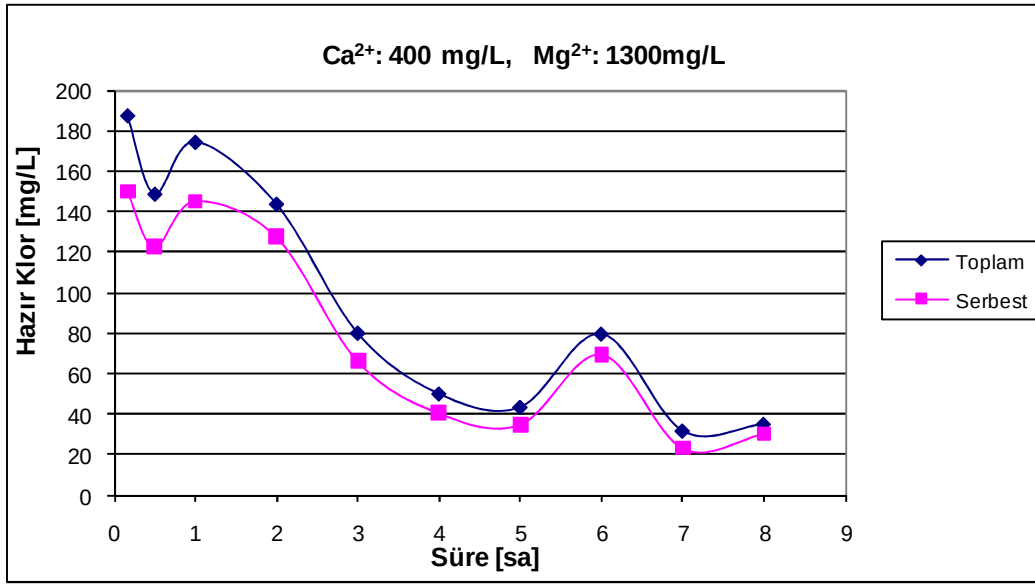
göstermektedir (Şekil 6.47). Bu deneyde elde edilen sonuçlardaki düzensizlikler test sistemindeki anlık iniş çıkışlardan kaynaklanabilmektedir. Anot sıvısı örneği alınırken test sistemi üzerindeki ekrandan okunarak alınan redoks potansiyelindeki genel düşüş eğilimi düzensizlikler klor derişimi ile elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir (Şekil 6.48).



Şekil 6.45 :Anot sıvısının içerdiği TK derişiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi.

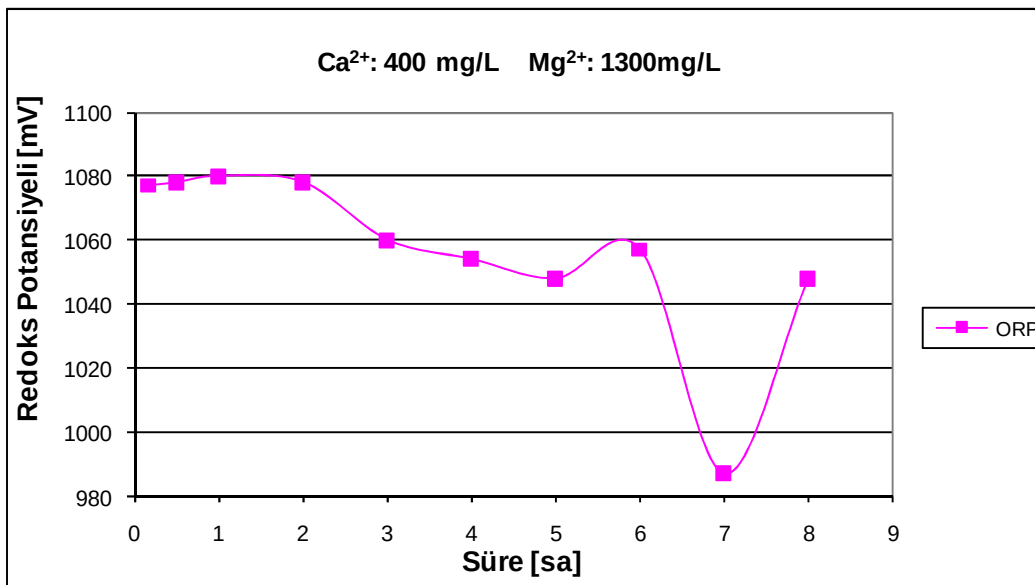


Şekil 6.46 :Anot sıvısının içerdiği SHK derişiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının birlikte etkisi.



Şekil 6.47 :Uzun süreli anot sıvısı üretiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının klor derişimi üzerinde etkisi .

Bu özellikleri nedeni ortaya çıkan atık deniz ortamına bırakılmaması ve sıvının gemi üzerinde depolanması gerekmektedir. Ancak gerek depolama için yeni bir yer ayırma zorunluluğu gerekse atık sıvıdaki çökelmenin depolama için ayrılan tankta yapacağı birikim, atık suyun gemi üzerinde yönetimini zorlaştıracaktır. Bu nedenle gemi üzerinde kullanılacak elektroliz hücrelerin kutuplarının yönünün değiştirilebilir olması gerekmektedir. Bu sayede kutupların yönü değiştirildiğinde elektrot yüzeylerindeki tabakalaşma giderilirken, aynı zamanda dezenfektan üretimi devam edeceği için , atık yönetimi problemi ortadan kalkacaktır.



Şekil 6.48 :Uzun süreli anot sıvısı üretiminde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının redoks potansiyeli üzerinde etkisi.

Deniz suyunun ortalama sertliğine sahip elektrolitle anot sıvısı üretimi deneyinde, laboratuvar ölçümleri ile elde edilen sonuçların yanı sıra elektroliz hücrenin çok fazla ısındığı ve hücrenin katot tarafından anot sıvısının %~10'u oranında atık sıvı çıktığı belirlenmiştir. Ca^{2+} ve Mg^{2+} içermeyen elektrolit ile yapılan deneylerde gerek hücrenin ısınması ve gerekse ortaya çıkan atık sıvının anot sıvısına oranı (<%1) bu deneye kıyasla ihmal edilebilecek seviyededir. Başta saydam olmayan beyaz renge sahip bu atık sıvıda zamanla çökelme meydana gelmiş (Şekil 6.49), sıvı iki farklı faza ayrılmıştır. Anot sıvısının 10 misli toplam klor derişimine sahip olan bu atık sıvının pH değeri ise oldukça yüksektir. Atık sıvı meydana çıktığı zaman üretilen anot sıvısının pH değeri ~3,5 civarındayken atık sıvının pH değeri 11'in üzerindedir.



Şekil 6.49 :Ortalama deniz suyu sertliğine sahip elektrolitle anot sıvısı üretimi esnasında meydana çıkan atık suda çökelme.

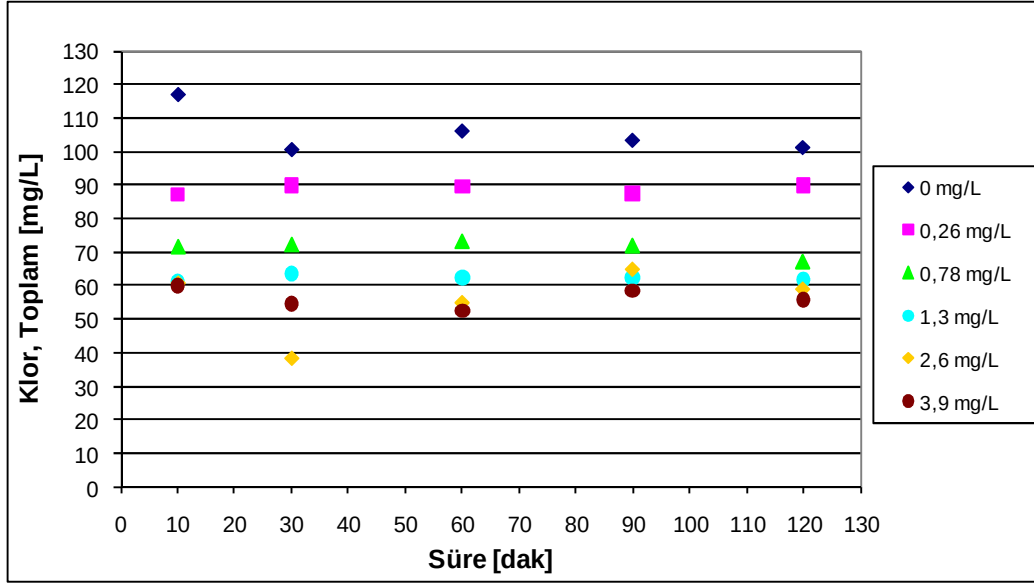
6.2.3 Anot sıvısı üretiminde kullanılacak su içerisindeki amonyağın anot sıvısına etkisinin belirlenmesi

Anot sıvısı üretiminde kullanılacak suda mevcut amonyağın, anot sıvısı üzerindeki etkisinin tespiti için gerçekleştirilen deneylerde deiyonize su ile hazırlanan ve %30 tuzluluğa sahip elektrolit kullanılmıştır. Her deneyin başında elektrolite farklı derişimlerde amonyak eklenmiştir. Bu deneyler birbirinin tekrarı olan iki seri şeklinde tamamlanmıştır.

Şekil 6.50 ile Şekil 6.53 farklı derişimlerde amonyak içeren elektrolitler ile üretilen anot sıvılarının toplam ve serbest hazır klor derişimlerinin, üretim süresince değişimini göstermektedir. Şekil 6.50 ve Şekil 6.52 birinci seri deneylerin sonuçları ile Şekil 6.51 ve Şekil 6.53 ise ikinci seri deneylerinin sonuçları ile hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan amonyak derişimleri şekillerin göstergelerinde yer almaktadır.

Farklı amonyak derişimlerinin her biri ile gerçekleştirilen deneyler ayrı ayrı ele alındığında, elde edilen gerek TK (Şekil 6.50 ve Şekil 6.51), gerekse SHK (Şekil 6.52 ve Şekil 6.53) derişimlerinin üretim süresince genellikle ortalama bir değer civarında seyrettiği gözlenmektedir. Bununla birlikte elektrolitin içerdiği amonyak miktarı arttıkça, üretilen anot sıvılarında toplam ve serbest hazır klor derişimlerinin

azaldığı, ancak amonyak derişimi belli bir değere ulaşınca bu azalmanın yavaşladığı gözlenmektedir. Bununla birlikte ikinci seride 1,3 mg/L amonyak içeren elektrolit ile gerçekleştirilen deneyde, üretilen anot sıvısında TK derişimleri, diğer tüm deneylerin altında seyrederek bir istisna oluşturmaktadır (Şekil 6.51). Bu deneyde elde edilen SHK değerleri ise birinci seride elde edilen SHK değerleri ile benzerlik göstermektedir.

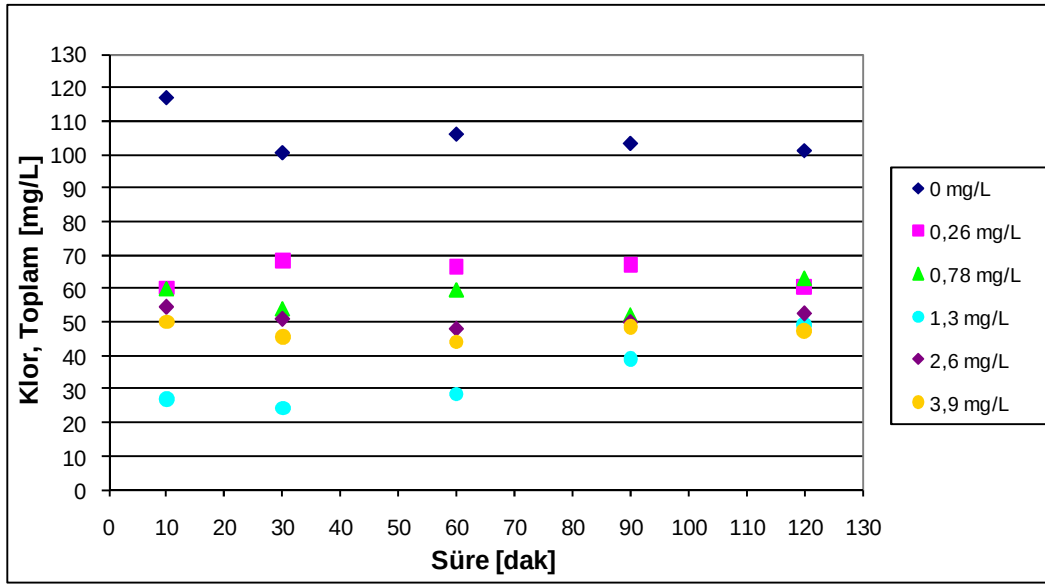


Şekil 6.50 : Amonyakın TK derişimine üretim süresince etkisi, I. Seri.

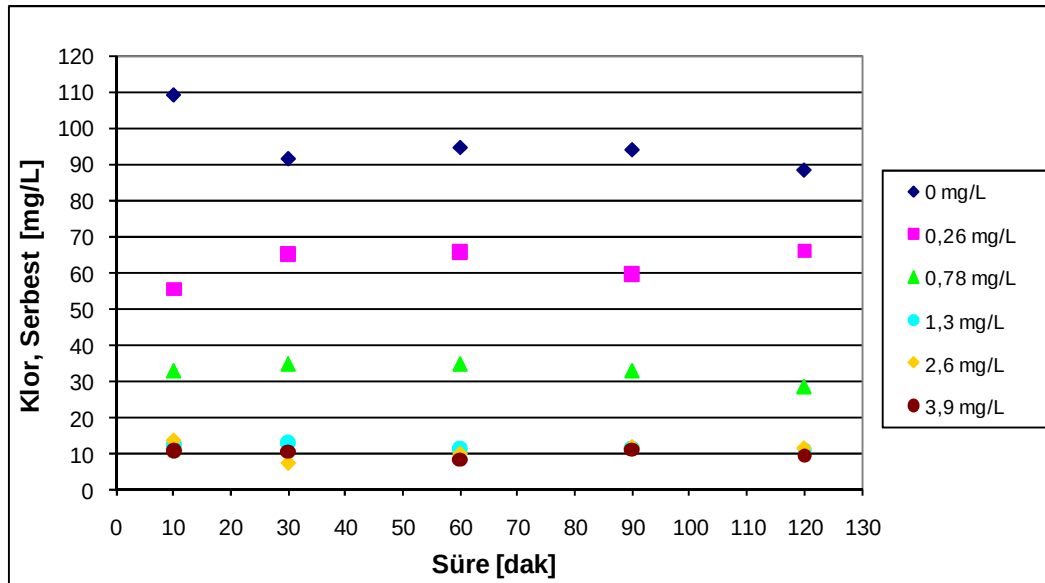
Amonyakın etkisinin incelendiği bu deneylerde amonyak derişiminin üretilen anot sıvısının üzerindeki etkisi tespit edilmiş ancak bu etkinin deney süresince sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu durum, deney süresince kullanılan oranlarda amonyakın, elektroliz hücresinde her hangi bir birikime yol açmadığını ancak üretilen anot sıvısının içeriğini değiştirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla, her bir amonyak derişimi için gerçekleştirilen deneylerde elde edilen klor derişimi değerlerinin o serideki ortalaması alınarak amonyakın klor derişimi üzerindeki etkisini görmek mümkün olacaktır. Şekil 6.54 ve Şekil 6.55 her bir deneyde elde edilen toplam ve serbest hazır klor derişimlerinin ortalama değerleri ile hazırlanmıştır. Şekil 6.54 birinci seride elde edilen sonuçları, Şekil 6.55 ise ikinci seride elde edilen deney sonuçlarını içermektedir.

Birinci seri sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.54), elektroliz edilecek sudaki amonyak derişimi 1,3 mg/L olana kadar TK derişiminde belirgin bir düşüş görülmektedir. Ancak amonyak derişimi 1,3 mg/L'yi aştıktan sonra TK derişimindeki azalma oldukça yavaşlamıştır. Amonyak içermeyen elektrolit ile

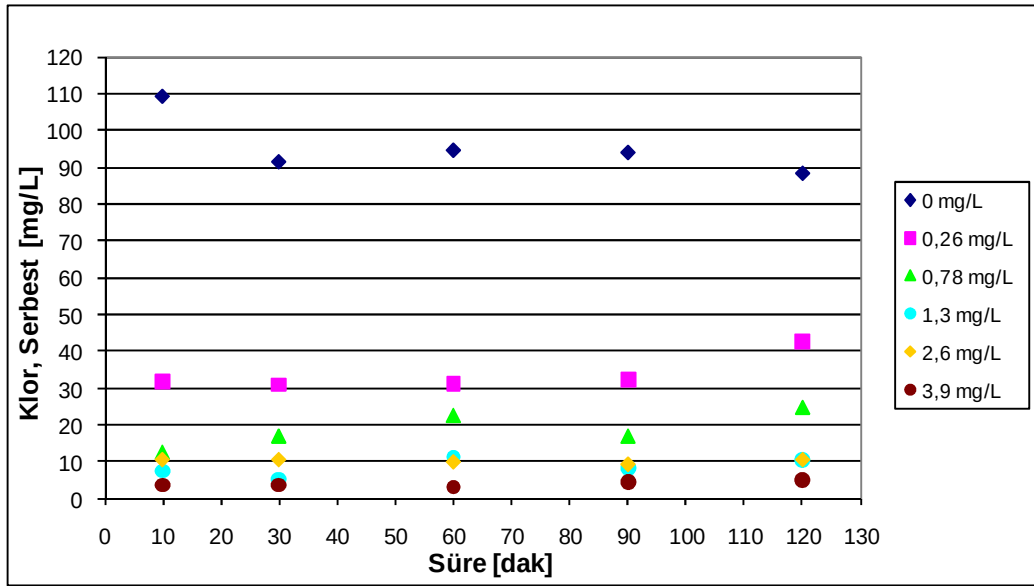
Üretilen anot sıvısındaki TK derişiminin ortalama değeri ~105mg/L iken, amonyak derişimi 1,3 mg/L olduğunda TK ~62mg/L'ye düşmüş, amonyak derişimi 3,9 mg/L olduğunda ise ortalama ~57,4 mg/L llmştr. Benzer eğilim SHK derişiminde de gözlenmekle birlikte ancak amonyak derişimi 1,3 mg/L olana kadar gözlenen düşüş daha keskindir. Amonyak içermeyen elektrolit ile üretilen anot sıvısındaki SHK derişiminin ortalama değeri ~95mg/L iken, amonyak derişimi 1,3 mg/L olduğunda SHK ~12 mg/L'ye kadar düşmüştür. Amonyak derişimi 3,9 mg/L olduğunda ise SHK derişimi ortalama ~10 mg/L'dir.



Şekil 6.51 :Amonyakın TK derişimine üretim süresince etkisi, II. Seri.



Şekil 6.52 :Amonyakın SHK derişimine üretim süresince etkisi, I. Seri.



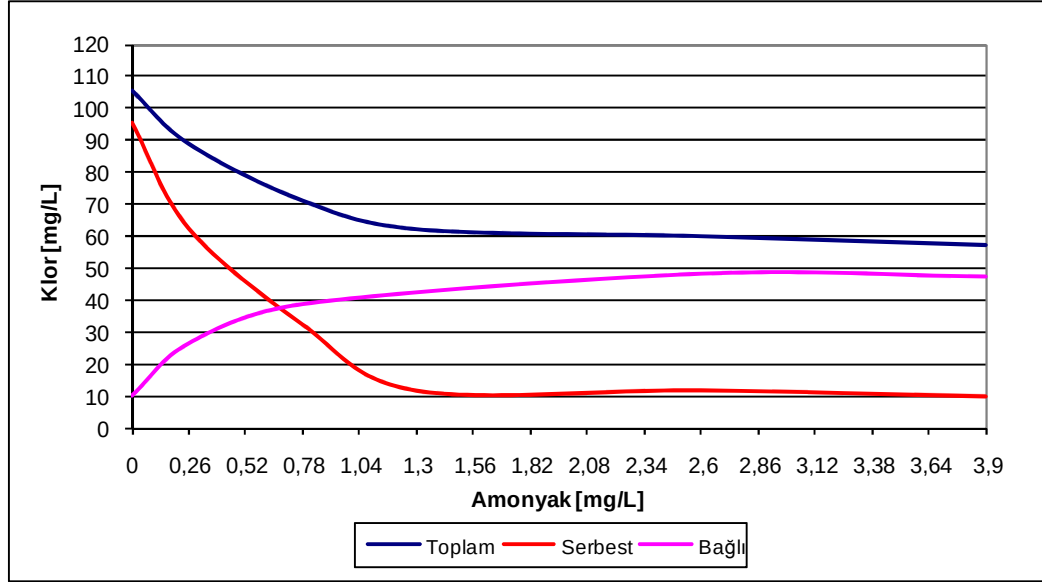
Şekil 6.53 :Amonyakın SHK derişimine üretim süresince etkisi, II. Seri.

Şekil 6.55 ile verilen ikinci seri deney sonuçları da aslında birinci seri sonuçlarına benzer bir eğilim göstermektedir. Şekil 6.54 Bu seride de elektroliz edilecek sudaki amonyak derişimi 1,3 mg/L olana kadar gerek TK gerekse serbest klor derişimlerinde belirgin bir düşüş görülmektedir. Ancak TK eğrisinde bu noktadaki tespit edilen düşüş genel eğilimden fazladır. Bu nokta ikinci seride amonyak derişiminin 1,3 mg/L olduğu deneyde elde edilen 5 farklı değerin (Şekil 6.51)ortalaması alınarak belirlenmiştir. Bu deneyde elde edilen TK değerleri, daha öncede vurgulandığı gibi, genel eğilime göre bir istisna oluşturmaktadır.

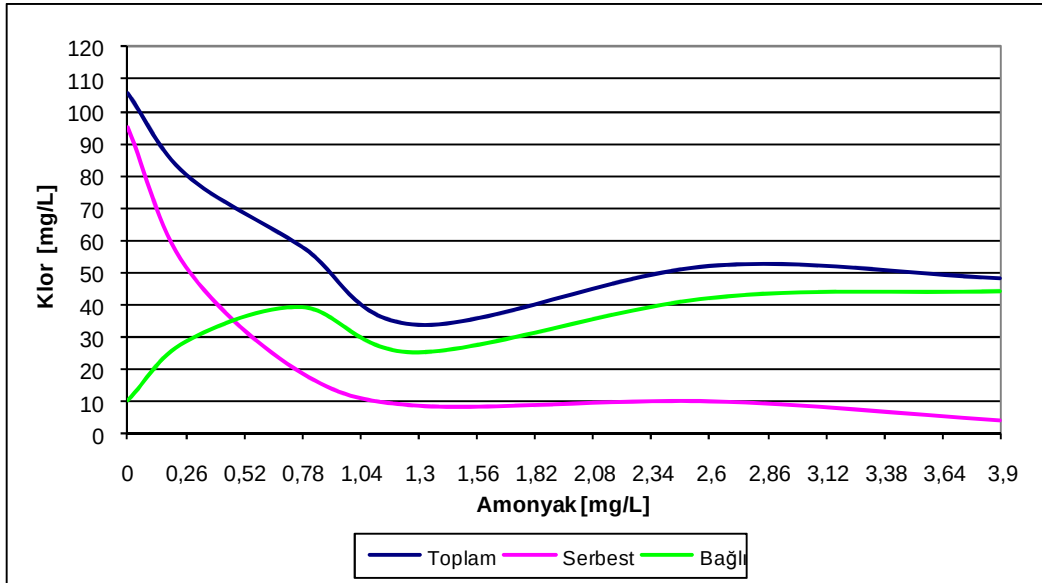
İkinci seri deneylerde amonyak içermeyen elektrolit ile üretilen anot sıvısındaki TK derişiminin ortalama değeri ~105mg/L iken, amonyak derişimi 1,3 mg/L olduğunda TK ~34 mg/L'ye düşmüş, amonyak derişimi 3,9 mg/L olduğunda ise ortalama ~48 mg/L ölçülmüştür. SHK derişiminde gözlenen azalma eğilimi ise birinci seride gözlenen SHK derişiminin azalma eğiline benzemektedir. Amonyak içermeyen elektrolit ile üretilen anot sıvısındaki SHK derişiminin ortalama değeri ~95mg/L iken, amonyak derişimi 1,3 mg/L olduğunda SHK ~9 mg/L'ye kadar düşmüştür. Amonyak derişimi 3,9 mg/L olduğunda ise SHK derişimi ortalama ~10 mg/L'dir.

TK ve SHK derişimlerinin farkıyla elde edilen bağlı hazır klor değerleri ise doğal olarak SHK eğrisinin tersi bir eğilim göstermiş, SHK derişimi azalırken artmış, TK eğrisine yaklaşmıştır. Elektrokimyasal süreçte elektrotlarda açığa çıkan SHK, elektrot yüzeyine yakın bölgede hızla amonyakla reaksiyon vererek kloraminlerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, üretilen dezenfektanın serbest hazır klor

derişiminde tespit edilen düşüş Bölüm 4.3.1 ile verilen kloramin oluşu ile ilgili bilgiler de göz önünde bulundurulduğunda, beklenen bir sonuçtur. Ancak toplam klor derişiminde tespit edilen düşüş, amonyak içeren balast suyu ile üretilecek dezenfektanın kalitesi açısından önemlidir.



Şekil 6.54 :Anot sıvısı kalitesi üzerinde amonyak derişiminin etkisi, I. Seri.



Şekil 6.55 :Anot sıvısı kalitesi üzerinde amonyak derişiminin etkisi, II. Seri.

Amonyak elektroliz hücre içerisinde HOCl ile verdiği tepkimenin yanı sıra bir takım farklı süreçlerden de geçmektedir ve bu süreçler sonunda amonyağın ortaya çıkaracağı ürünler üzerinde aktif klorun yanı sıra kullanılan elektrotların, akım yoğunluğunun, pH derecesinin önemi büyüktür (Liu ve diğ., 2009; Li ve Lui, 2009; Xiao ve diğ., 2009; Kapalka ve diğ., 2010). Bu süreçlerin sonuçları bizim

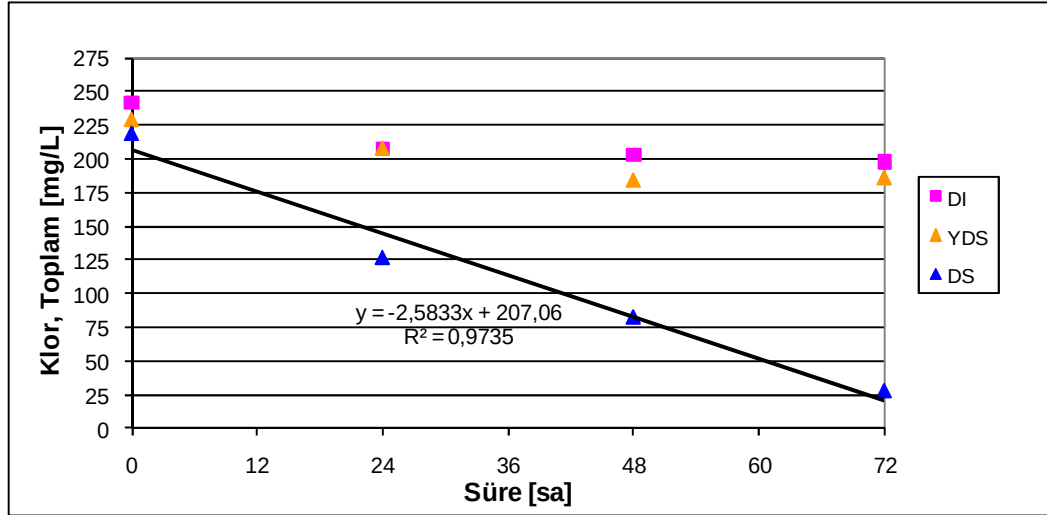
çalışmamızda üretilen dezenfektanın kalitesi açısından etkilidir. Ancak amonyakın balast suyu dezenfeksiyonuna etkisi iki şekilde görülecektir. Öncelikle, balast suyunun içereceği amonyak derişimine bağılı olarak, bu suyun arıtılması için yine bu suyla üretilecek dezenfektanın toplam ve serbest klor derişimleri, yani kalitesi, düşeceğı için gereken miktar artacaktır. Daha sonra üretilen dezenfektandaki serbest hazır klorun bir kısmı, arıtılacak balast suyundaki amonyakla tepkimeye gireceğı için serbest hazır klor miktarında ikinci bir düşüş olacaktır. Bu da dezenfektanın etkinliğini etkileyecektir. Bu nedenle alınan balast suyundaki amonyak derişimindeki artış, daha çok dezenfektan üretimi ihtiyacı doğuracaktır.

6.3 Elektroliz hücre ile üretilen dezenfektan anot sıvısının farklı koşullarda zamanla değışiminin saptanması

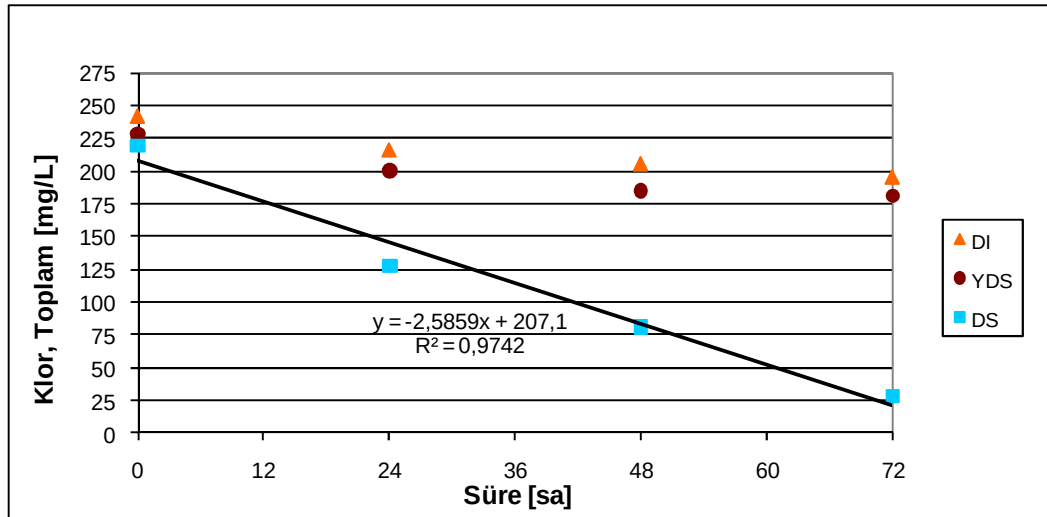
6.3.1 Anot sıvısında toplam ve hazır klor değışimi

Anot sıvısının doğrudan kullanılamayacağı durumlar için, üretiminin ardından ne kadar süre ile etkili olacağı büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde FTEC 100 kodlu elektroliz hücresi ile üretilen farklı anot sıvılarının toplam ve serbest hazır klor derişimlerinin zamana bağılı olarak değışimleri incelenmiştir. Deneylerde ilk olarak tuzluluğı %~18 olan üç farklı elektrolit ile (DI, YDS ve DS) üretilen anot sıvısının toplam ve SHK derişimlerinin laboratuvar ortamında ve karanlıkta değışimi takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar deiyonize su ile hazırlanan elektrolitle ve yapay deniz suyuyla üretilen anot sıvılarının deney süresi boyunca gösterdiği değışimin, deniz suyu ile üretilen anot sıvısına göre oldukça düşük olduğunu; bekleme süresi olan 72 saatin sonunda dahi önemli miktarlarda toplam ve serbest hazır klor içerdiklerini göstermektedir (Şekil 6.56 - Şekil 6.59).

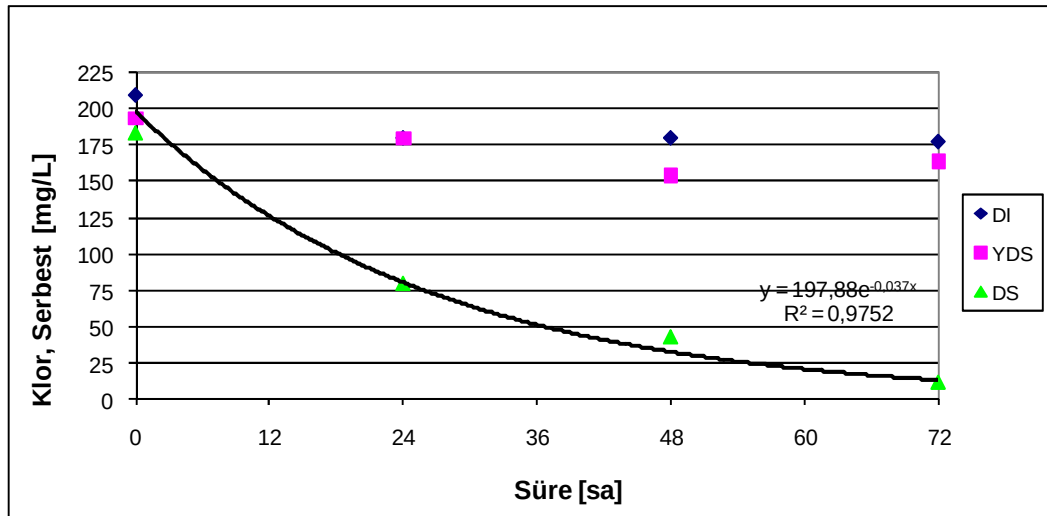
Bununla birlikte, deniz suyu ile üretilen anot sıvısının toplam ve serbest klor değışimleri incelendiğinde, bu anot sıvısının etkisini hızla kaybettiğı gözlenmektedir. Bu sonuçlar deniz suyu ile üretilen anot sıvısında toplam klorun 72 saat boyunca değışiminin doğrusal bir eğilim gösterdiğini (Şekil 6.56 ve Şekil 6.57), serbest hazır klorun bu süre zarfındaki değışiminin ise üstel bir şekilde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Şekil 6.58 ve Şekil 6.59). Bu deneylerde karanlıkta bekletilen anot sıvısının değışimleri ile laboratuvar ortamında beyaz ışık altında bekletilen anot sıvısı değışimleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 6.56 :Oda şartlarında bekletilen anot sıvısında toplam klor değişimi.



Şekil 6.57 :Karanlıkta bekletilen anot sıvısında toplam klor değişimi.



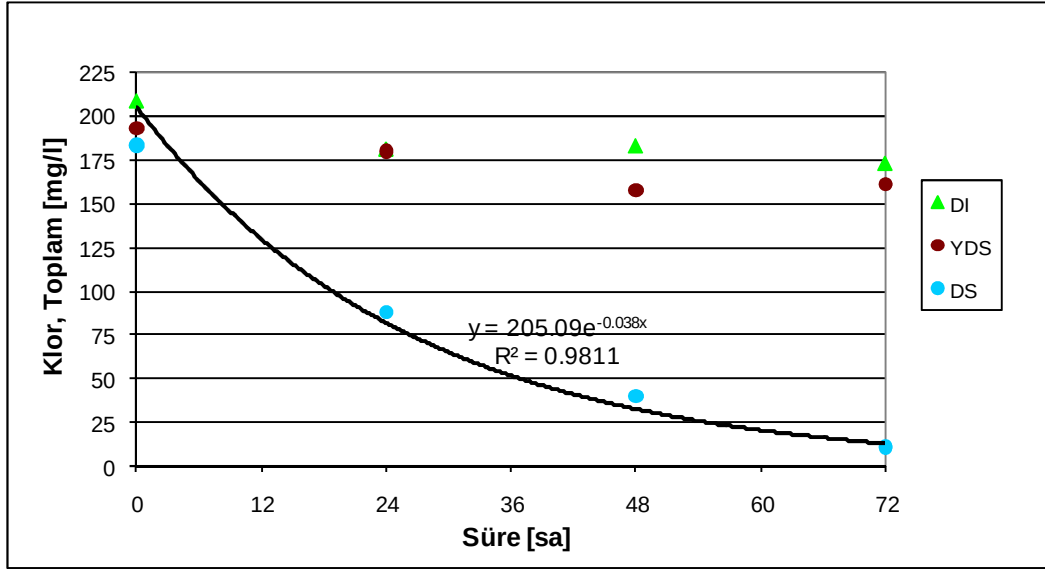
Şekil 6.58 :Oda şartlarında bekletilen anot sıvısında serbest hazır klor değişimi.

Deniz suyu ile üretilen anot sıvısında tespit edilen belirgin değişimin ardından deniz suyu ile yeni deneyler gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada gerçekleştirilen bu deneylerde elektrolit olarak iki farklı tuzlulukta (% 18 ve % 30) deniz suyu kullanılmıştır ve üretilen anot sıvısı laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Tamamlanan her deneyin ardından, aynı koşullarda bir de tekrar deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonuçları ile hazırlanan şekillerin göstergelerinde ilk deneyler “I” ile tekrar deneyleri “II” ile belirtilmektedir (Şekil 6.60 - Şekil 6.63).

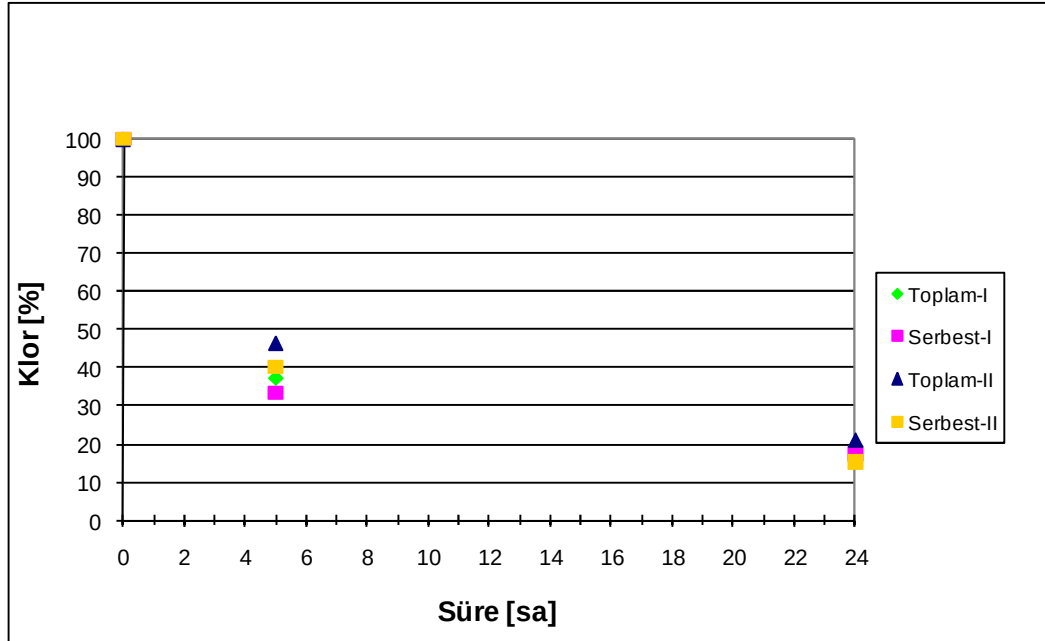
İkinci aşamada başlangıç deneylerinde anot sıvısı laboratuvar ortamında 24 saat süre ile bekletilmiştir. Şekil 6.60 ve Şekil 6.61 ikinci aşamanın ilk deneylerinde deney süresince anot sıvısında kalan klor derişimlerinin başlangıç değerlerine oranını vermektedir.

Tuzluluğu %18 olan anot sıvısında ilk 5 saatte toplam klorun, birinci deneyde %63’ü, ikinci deneyde %54’ü tükenmiştir. Bu süre içerisinde serbest hazır klorun birinci deneyde %60’ı, ikinci deneyde %57’si tükenmiştir. Bekleme süresi olan 24 saatin sonunda ise iki deneyde de toplam klorun ~%80’i, serbest hazır klorun ise ~%85’i tükenmiştir (Şekil 6.60).Tuzluluğu %30 olan anot sıvısında ilk 7 saatte birinci deneyde toplam klor derişimi %67 azalırken serbest hazır klor derişimi %75 azalmıştır. Aynı tuzlulukta ikinci deneyde ise, ilk 7 saatte toplam klor % 74 azalırken serbest hazır klor %77 azalmıştır; 24 saatin sonunda ise gerek toplam klorun gerekse serbest hazır klorun ~%87’si tükenmiştir (Şekil 6.61). Yukarıdaki sonuçlar İstanbul boğazından alınan deniz suyu ile üretilen anot sıvısının değişiminde ilk 5-7 saatin önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle ikinci aşamada deniz suyu ile gerçekleştirilen deneylere 7 saatlik bekleme süresinde daha sık örnek alınarak devam edilmiş, elektrolit olarak % 30 tuzlulukta deniz suyu kullanılmıştır.

Anot sıvısının üretimden sonraki ilk 7 saatte değişimine genel olarak bakıldığında gerek toplam gerekse serbest hazır klorun önemli bir kısmı bu süre zarfında tükenmektedir ve her iki deneyde de elde edilen sonuçlar paralellik göstermektedir (Şekil 6.62). Bununla birlikte bu tükenme 4. saatin sonuna kadar daha hızlı gerçekleşirken daha sonra yavaşlayarak devam etmektedir. Şekil 6.63 toplam ve serbest hazır klorun tükenmesinin 0.-4. ve 4.-7. saatler arasındaki tükenme hızlarının farkını vurgulamak amacı ile sadece ikinci deneyin sonuçları ile hazırlanmıştır. Bu sonuçlara göre gerek toplam klordaki azalma gerekse serbest hazır klordaki azalma, seçilen zaman dilimlerinde üstel fonksiyonlara uygun olarak gerçekleşmektedir.

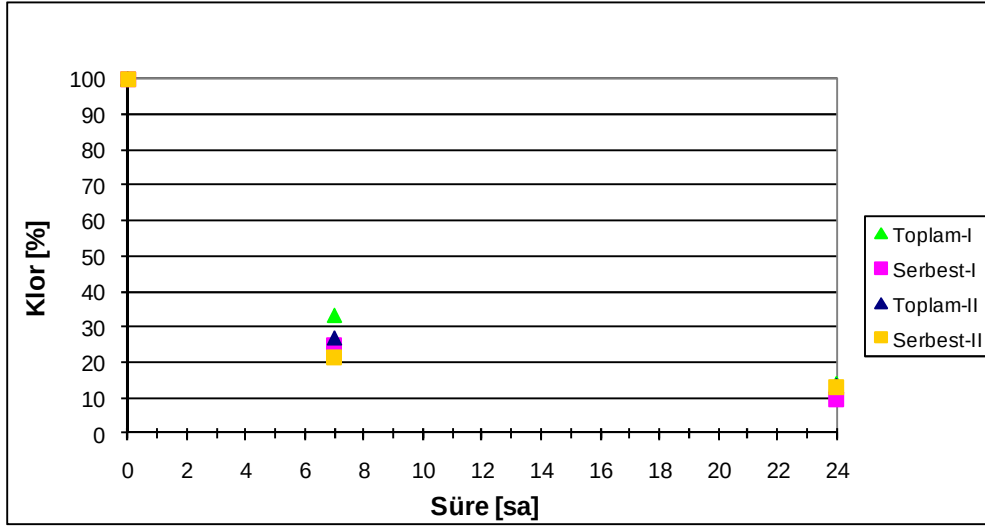


Şekil 6.59 :Karanlıkta bekletilen anot sıvısında serbest hazır klor değişimi.

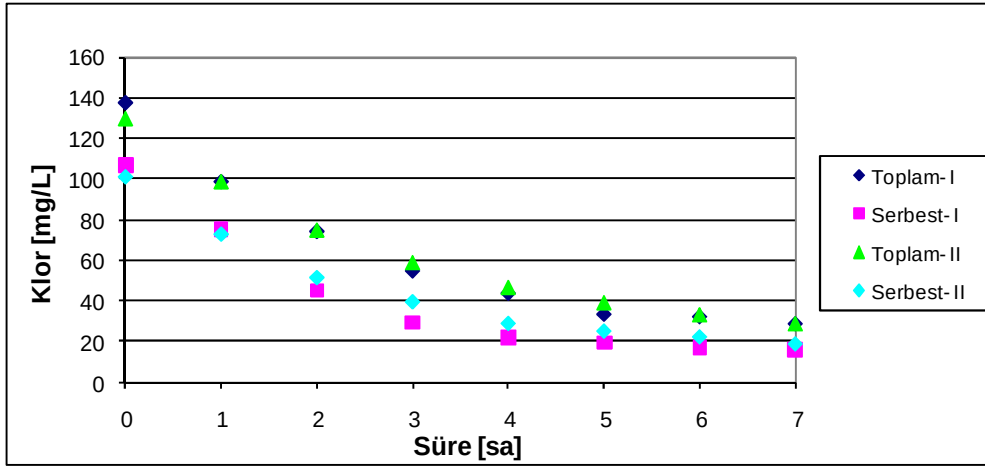


Şekil 6.60 :Anot sıvısında uzun süreli toplam ve serbest hazır klor değişimi; Elektrolit: DS (%18).

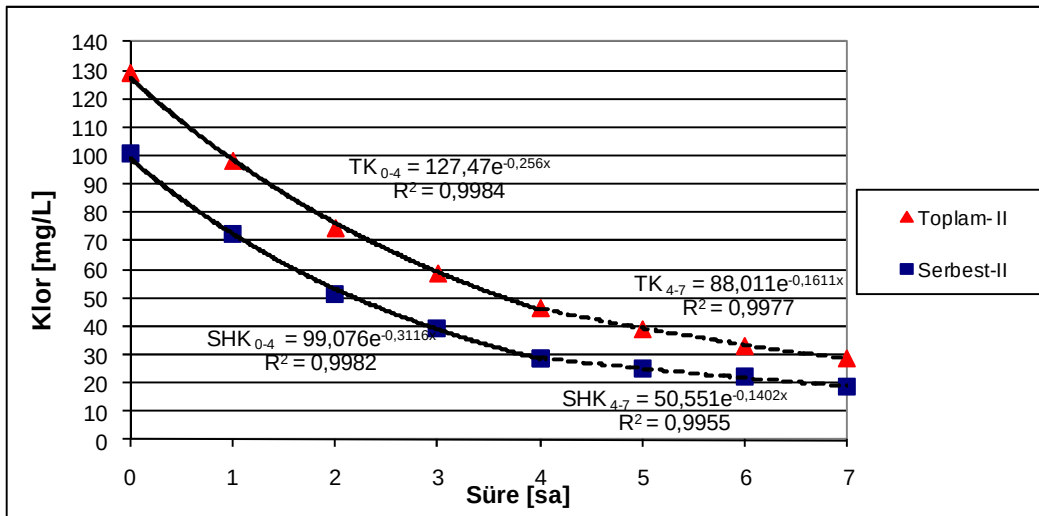
Bu fonksiyonlarda “e” sayısının kuvvetlerinin mutlak değerleri, birinci zaman dilimi olan 0.-4. saatler arasında daha büyüktür. İkinci zaman dilimi olan 4.-7. saatler arasında ise “e” sayısının kuvveti mutlak olarak azalmıştır. Bu da daha öncede vurgulandığı klor değerlerindeki azalmaların ilk dört saatte daha hızlı gerçekleştiğini, daha sonra yavaşladığını göstermektedir. Ayrıca serbest klordaki azalma, her iki zaman diliminde de, toplam klora göre daha hızlı gerçekleşmektedir (Şekil 6.63).



Şekil 6.61 :Anot sıvısında uzun süreli toplam ve serbest hazır klor değişimi; Elektrolit: DS (%30).



Şekil 6.62 :Anot sıvısında kısa süreli toplam ve serbest hazır klor değişimi.



Şekil 6.63 :Anot sıvısında zaman dilimine göre toplam ve serbest hazır klor değişimi .

Örneğin ikinci deneyde elde edilen toplam klor ilk dört saatte 129 mg/L'den ~47mg/L'ye düşmekte yani %64'ü tükenmektedir. Bu süre içerisinde serbest klorun ise %71,5'i tükenmekte, ~101 mg/L'den ~29 mg/L'ye düşmektedir Deneyin sonunda ise toplam klor başlangıçtaki değerinin %86'sını kaybederken serbest klor %90'ını kaybetmekte, sırası ile 18 mg/L ve ~11 mg/L değerlerine kadar düşmektedirler.

6.3.2 UV radyasyonunun anot sıvısı üzerinde etkisi

UV radyasyonunun anot sıvısı üzerindeki etkisinin belirlenmesi gerek anot sıvısını saklama koşullarının belirlenmesi için, gerekse anot sıvısı deniz ortamına bırakıldığında çevresel değerlendirme yapabilmek için önem arz etmektedir. Bilindiği gibi güneş tarafından yayılan ve yeryüzüne ulaşan UV radyasyonunun %98,7'si UV-A bandında ve kalanı UV-B bandındadır. UV-C radyasyonu ise ozon tabakasını aşamamakta ve yeryüzüne ulaşamamaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada ön deneyler, ITU Deniz Bilimleri laboratuvarında sterilizasyon sistemindeki UV-C lambası mevcut olduğu için, UV-C radyasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamada UV-A radyasyonu altında deneylere devam edilmiştir.

Ön deneylerde anot sıvısı üretiminde deiyonize su ile hazırlanan elektrolit, yapay deniz suyu ve deniz suyu olmak üzere %18 tuzluluğa sahip üç farklı su kullanılmıştır. Üretilen anot sıvısı UV-C ışığının yanı sıra kontrol amacı ile karanlıkta da bekletilmiştir. Bekleme süresince belli zamanlarda anot sıvısında toplam ve serbest hazır klor derişimleri takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2 ile verilmektedir.

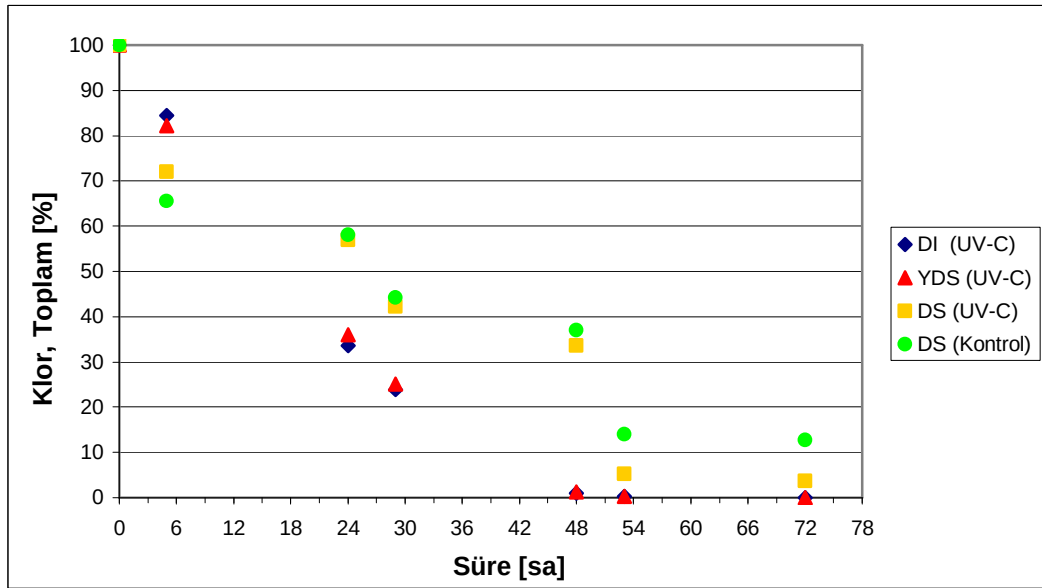
Şekil 6.64 ise deneyler süresince anot sıvılarında kalan klor derişimlerinin başlangıç değerlerine oranını vermektedir. Deiyonize su ile hazırlanan elektrolitle ve yapay deniz suyuyla üretilen anot sıvılarının karanlıkta derişimleri Bölüm 6.3.1 'de irdelendiği için şekle dâhil edilmemiştir. Ancak deniz suyundan üretilen ve kontrol amacıyla karanlıkta bekletilen anot sıvısının değerleri, UV-C radyasyonunun etkisinin daha iyi değerlendirilebilmesi için, söz konusu şekilde yer almıştır. Bu deneylerde UV-C radyasyonuna maruz kalan anot sıvıları ile yapılan analizlerde ilk beş saatin sonunda deniz suyu ile üretilen anot sıvısındaki TK derişimindeki düşüşün, deiyonize su ve musluk suyu ile üretilen anot sıvılarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.64).

Çizelge 6.2 :UV-C radyasyonunun anot sıvısı değişimine etkisi.

	Süre (Sa)	DI		YDS		DS	
		TK (mg/L)	SHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)
UV-C	0	241,25	208,75	228,75	193,13	219,38	183,13
	5	203,75	177,50	188,13	153,13	158,13	105,63
	24	81,25	48,75	82,50	58,13	125,00	80,00
	29	57,50	39,38	57,50	47,50	92,50	50,63
	48	2,40	1,40	2,90	1,80	73,75	36,25
	53	0,55	0,35	0,55	0,55	11,60	8,00
	72	0,10	0,00	0,10	0,00	8,00	5,45
KARANLIK	0	241,88	208,75	228,75	193,13	219,38	183,13
	5	220,63	191,25	210,63	183,75	143,75	103,75
	24	216,30	181,25	200,00	180,00	127,50	88,13
	29	205,00	177,50	200,63	166,25	96,88	60,00
	48	205,63	183,13	185,00	157,50	81,25	40,00
	53	205,00	181,88	191,88	161,88	30,63	11,88
	72	195,63	173,13	181,25	161,25	27,92	11,25

Ancak takip eden analizlerde durum değişmiş 24. saatte gerçekleştirilen analizden itibaren yapay deniz suyu ve deiyonize su ile hazırlanan elektrolit ile üretilen anot sıvılarının TK ve SHK derişimlerinde daha büyük düşüş belirlenmiştir. Bu elektrolitler ile üretilen ve UV-C'ye maruz kalan anot sıvılarında 48. saatte yapılan analizlerde toplam ve serbest hazır klor ihmal edilebilecek kadar düşük çıkarken, bu anot sıvılarıyla gerçekleştirilen kontrol deneylerinde sırasıyla ~206 mg/L, 185 mg/L TK belirlenmiştir (Çizelge 6.2). Deniz suyu ile üretilen ve UV-C radyasyonuna maruz kalan anot sıvısında 48. saatte başlangıçtaki toplam klorun %33'ü tespit edilirken, kontrol amacı ile karanlıkta bekletilen anot sıvısında ise 48. saatte başlangıçta tespit edilen toplam klorun %37'si kalmıştır (Şekil 6.64).

Gerçekleştirilen bu ön deneylerde UV geçirgenliği fazla olan deiyonize suyla hazırlanan elektrolit ve yapay deniz suyu kullanılarak üretilen anot sıvılarında beklendiği gibi UV-C altında klor derişimleri hızla azalmıştır. Deniz suyundan üretilen anot sıvısında ise UV-C radyasyonuna bağlı belirgin bir düşüş tespit edilememiştir. Bununla birlikte daha önce de vurgulandığı gibi deniz suyunun UV geçirgenliği, suyun bulanıklığı ve berraklığının yanı sıra UV radyasyonunun dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyu arttıkça, deniz suyunun UV geçirgenliği artmaktadır. Gerek yeryüzüne ulaşan güneş ışığının büyük bir bölümünün UV-A bandında olması, gerekse UV-A'nın dalga boyunun daha büyük bir spektrumda yer alması nedeni ile bundan sonraki deneyler UV-A ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.64 :UV-C radyasyonuna maruz kalan anot sıvılarında TK değişimi.

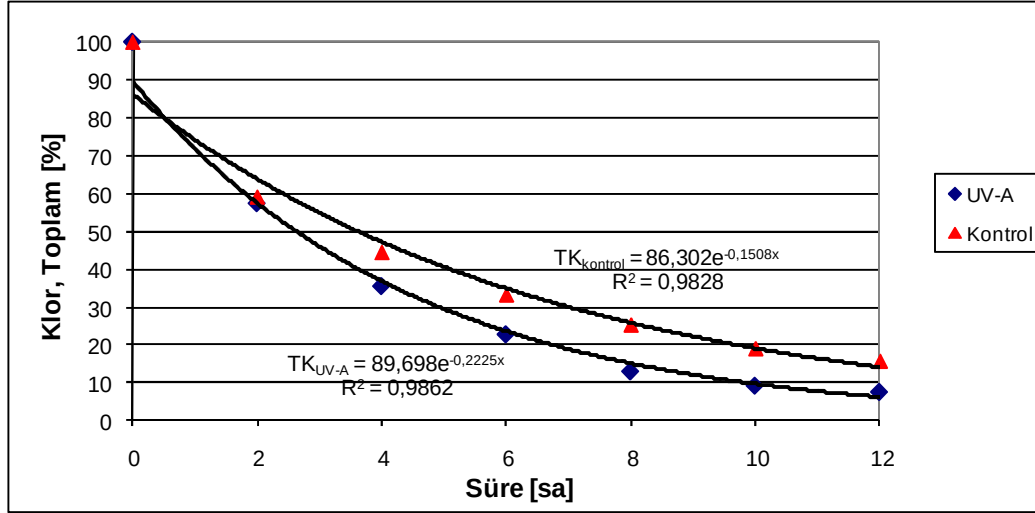
UV-A ile gerçekleştirilen deneylerde İstanbul Boğazı'nda Yeniköy'den alınmış olan ‰19,6 tuzluluktaki deniz suyu elektrolit olarak kullanılarak anot sıvısı üretilmiş, üretilen anot sıvısı UV-A ışığı altında ve de kontrol amacıyla karanlıkta bekletilmiştir. Bu deneylerin sonuçları Çizelge 6.3 ile verilmektedir. Bu deneylerde gerek toplam ve gerekse serbest hazır klor derişimleri ikinci saatin sonunda UV-A'ya maruz kalan ve karanlıkta bekletilen anot sıvılarında birbirine yakın çıkmıştır. Ancak dördüncü saatten sonra gerçekleştirilen analizlerde farklılıklar ortaya çıkmaya başlamış, UV-A'ya maruz kalan anot sıvısında klor bozunmasının daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3 :UV-A radyasyonunun deniz suyu ile üretilen anot sıvısının değişimine etkisi.

Süre (Sa)	UV-A		Kontrol	
	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)
0	225,63	177,5	225,63	177,5
2	129,38	91,88	133,13	91,25
4	80	46,88	100	58,75
6	51,25	29,17	74,58	51,67
8	29,17	16,67	56,67	33,33
10	20,63	15,94	42,5	26,88
12	16,88	10,625	35	20

Başlangıçta 225,63 mg/L olan TK UV-A altında bekletilen anot sıvısında dördüncü saatte 80 mg/L'ye düşerken, karanlıkta bekletilen anot sıvısında 100 mg/L'ye düşmüştür. Bu süre içerisinde başlangıçta 177,5 mg/L olan SHK ise UV-A altında

46,88 mg/L'ye düşerken karanlıkta 58,75 mg/L'ye düşmüştür. Toplam kor değerlerinin başlangıçtaki değerine oranları ile hazırlanan Şekil 6.65 UV-A'nın deniz suyundan üretilen anot sıvısı üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 6.65 :UV-A radyasyonunun deniz suyu ile üretilen anot sıvısının değişimine etkisi.

Her iki deneyde de TK bozunmasının hızı doğrusal olmayıp üstel birer fonksiyona uygun şekilde azalarak gerçekleşmektedir. Bu bozunmanın hızı ilk 4 saatte UV-A altında bekleyen anot sıvısında ortalama 36 mg/Lsa iken kontrol deneyinde 31 mg/Lsa olarak gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak UV-A altında 4. saatte toplam klorun %65'i bozunurken, kontrol deneyinde %56'sı bozunmuştur. Deney sonunda, yani on ikinci saatin sonunda ise UV-A altında toplam klorun %93'ü bozunurken kontrol deneyinde %84'ü bozunmuştur (Şekil 6.65).

6.3.3 Dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişimi

Dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişiminin tespiti, anot sıvısının balast suyu içerisindeki etkinlik süresinin ve balast suyunun anot sıvısı ile dezenfeksiyonu sonrasında deniz ortamına bırakıldığı zaman içereceği klor miktarının tahmin edilmesi açısından önemlidir.

Başlangıç deneylerinde %20 tuzlulukta elektrolit ile üretilen anot sıvısı iki farklı sıcaklıktaki (20 °C ve 8 °C) deiyonize suya, musluk suyuna ve deniz suyuna eklenmiştir ve 30 dakikalık sürede 5 dakikalık aralıklarla SHK derişimindeki değişim belirlenmiştir. Bu deneylerde eklenen anot sıvısının toplam hacme oranı %1'dir. Deney

sonuçları Çizelge 6.4 ile verilmektedir, tespit edilen klor derişimlerinin 1. dakikadaki değerlerine oranları ise Şekil 6.66 ve Şekil 6.67 ile gösterilmektedir.

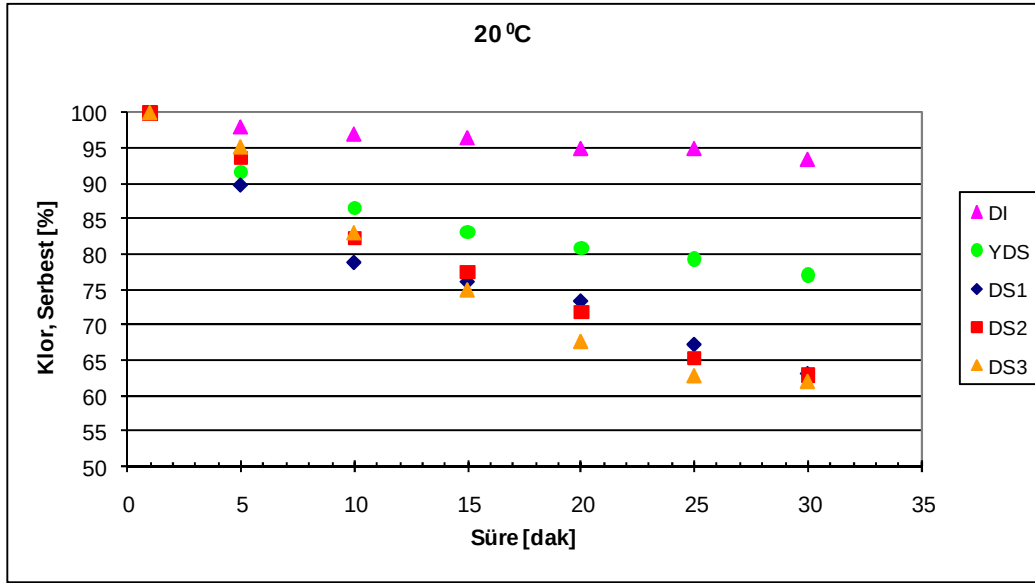
Çizelge 6.4 :Farklı sıcaklıklardaki sulara eklenen anot sıvısında SHK (mg/L) değışimi.

Süre (dak)	20 °C					8 °C		
	DI	YDS	DS1	DS2	DS3	DI	YDS	DS
1	0,98	0,89	0,73	0,62	0,62	0,95	0,95	0,64
5	0,96	0,815	0,66	0,58	0,59	0,92	0,88	0,59
10	0,95	0,77	0,58	0,51	0,56	0,91	0,86	0,52
15	0,94	0,74	0,56	0,48	0,47	0,87	0,85	0,52
20	0,93	0,72	0,54	0,45	0,42	0,88	0,81	0,47
25	0,93	0,71	0,49	0,41	0,39	0,87	0,79	0,47
30	0,91	0,69	0,46	0,39	0,39	0,85	0,81	0,45

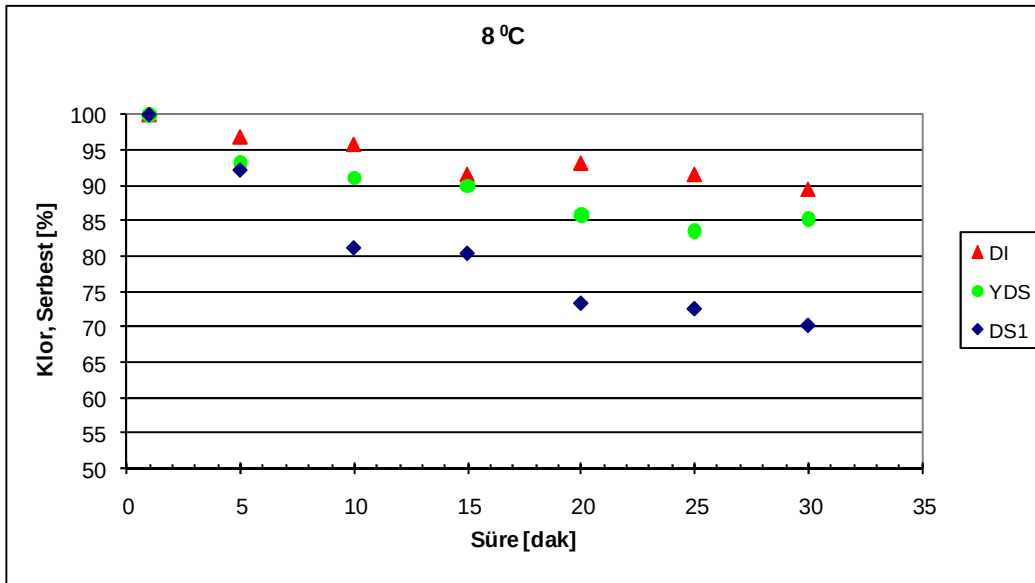
Gerek Çizelge 6.4 gerekse Şekil 6.66 ve Şekil 6.67 ile verilen değerler 1. dakikadan başlatılmıştır. Ancak eklenen anot sıvısındaki SHK derişimleri (Çizelge 5.14) göz önünde bulundurulduğunda, bir dakikalık sürenin dahi SHK derişiminin azalmasında önemli olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin DS1 ile ifade edilen deneyde, deniz suyuna ~114, 17 mg/L SHK derişimine sahip anot sıvısı %1 oranında eklenmiştir. Bu deneyde, hiç bozunma olmaması koşulu ile başlangıçtaki SHK derişiminin ~1,15 olması beklenmektedir. Bununla birlikte 1. dakikanın sonunda tespit edilen SHK 0,73 mg/L'dir (Çizelge 6.4). Ancak karıştırma ve numune alımı için gereken süre göz önünde bulundurulduğunda ilk analizin daha erken gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bu nedenle DS1 deneyinde eklenen anot sıvısındaki SHK derişiminin %36'sının ilk bir dakikada azaldığı kabul edilebilir. Deniz suyu ile gerçekleştirilen diğer deneylerde de benzer bir durum söz konusudur. Bu kabule göre ilk bir dakika içinde SHK derişimi deniz suyu ile gerçekleştirilen deneylerde %35-42, musluk suyu ile gerçekleştirilen deneylerde ise %5-10 azalmıştır.

İlk bir dakikadan sonra gerçekleştirilen analizlerin sonuçları dezenfekte edilecek suyun SHK azalmasıdaki önemini ortaya koymaktadır (Çizelge 6.4). Anot sıvısının 20°C'deki deiyonize suya eklenmesinden 30 dakika sonra SHK konsantrasyonunda tespit edilen düşüş %~6,5 iken bu düşüş aynı sıcaklıktaki musluk suyunda %~23 deniz suyunda ise %~37 olarak belirlenmiştir. Beklendiği gibi organik safsızlıklar arttıkça SHK konsantrasyonundaki azalmanın hızı artmaktadır. Özellikle deniz suyunda deniz suyunda klor tüketimine neden olan organik kökenli kirlenmenin İstanbul Boğazı'nda da olması nedeni ile (Yonsel, F., ve diğ., 2000) Yeniköy'den

temin edilen suya eklenen anot sıvısında serbest hazır klorun hızla tükenmesi doğaldır.



Şekil 6.66 :Farklı sulara eklenen anot sıvısında SHK değişimi (T: 20°C).



Şekil 6.67 :Farklı sulara eklenen anot sıvısında SHK değişimi (T: 8°C).

Bu deneylerde elde edilen diğer bir sonuç ise sıcaklık düştükçe serbest hazır klordaki düşüşün de azaldığıdır. Bu deneylerin tamamında kullanılan deniz suyu Yeniköy'den tek seferde alınmıştır. Deniz suyu ile üretilen anot sıvısıyla 20°C'de gerçekleştirilen üç deneyde de 30. dakika sonunda tespit edilen düşüş %37 civarında iken aynı su ile 8°C'deki düşüş 30. dakikada %30'dur. Musluk suyunda ise 30. dakikadaki düşüş 20°C'de %~23 iken 8°C'de %15 civarındadır (Şekil 6.67). Bununla birlikte deiyonize su ile gerçekleştirilen deneylerde, beklentinin aksine, düşük sıcaklıkta daha

büyük düşüş belirlenmiştir. Bunun sebebi her iki deneyde kullanılan deiyonize suyun farklı zamanlarda hazırlanmış olması ve 8°C’de kullanılan deiyonize suyun 20°C’de kullanılabileceğine göre bir miktar safsızlık içermesi ihtimalidir.

Başlangıç deneylerinin ardından gerçekleştirilen deneylerde anot sıvısının balast suyu içerisindeki etkinlik süresinin tespiti için İstanbul Boğazı’nda Yeniköy’den alınan deniz suyuna eklenen anot sıvısında klor değişimi uzun süre ile takip edilmiştir. Bu deneylerin bir kısmında hiç bir değişiklik yapılmayan ‰18 tuzluluğa sahip deniz suyuna yine bu deniz suyundan üretilen anot sıvısı eklenirken, bir kısmında NaCl eklenerek tuzluluğu ‰30’a çıkartılan deniz suyuna yine bu deniz suyundan üretilen anot sıvısı eklenmiştir. Bu deneylerde kullanılan anot sıvıları ve deniz suları ile ilgili bilgiler, deney yönteminin anlatıldığı kesimde Çizelge 5.15 ile verilmiştir. Deneylerin sonuçları EK E’de yer almaktadır.

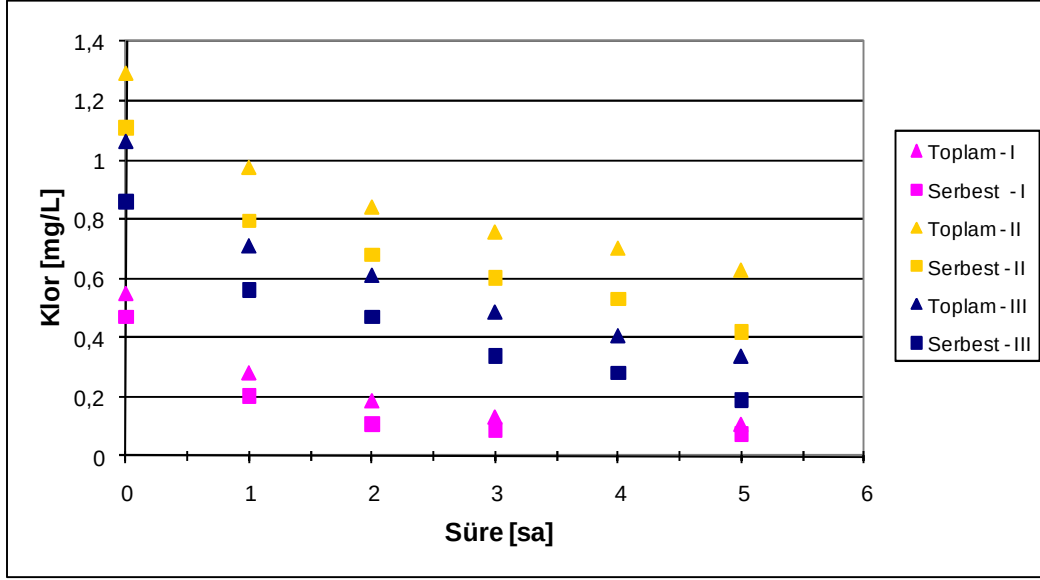
Deney sonuçları, deniz suyu ile üretilen anot sıvılarında her iki tuzlulukta da ilk beş saatin sonunda toplam ve serbest hazır klor derişiminin önemli bir oranının azaldığını göstermektedir. Dikkati çeken diğer bir nokta da, deneylerin çoğunda TK ve SHK derişimleri azalırken birbirlerine yaklaştığı, yani aralarındaki fark ile tespit edilen bağlı hazır klor derişiminde azaldığıdır (Şekil 6.68 ve Şekil 6.69). Bu durum deniz suyunda sadece serbest hazır klorun değil aynı zamanda bağlı hazır klorunda dezenfektan olarak kullanılması ile ilişkilidir.

Bölüm 6.2.3 da elde edilen sonuçlar anımsanacak olursa, ortamda sadece amonyak mevcut iken SHK bileşikler su içerisindeki amonyakla çeşitli tepkimeler vererek (Weber, 1972) kloraminlerin oluşmasını sağlamış, SHK azalırken bağlı hazır klor derişimi artmıştır. Ancak deniz suyunda organik safsızlıkların yanı sıra mikrobiyolojik kirlilik de söz konusudur. Bu nedenle sadece SHK derişimi değil, anot sıvısı eklendikten sonra ilk anda oluşan bağlı hazır klor da zamanla tükenmektedir.

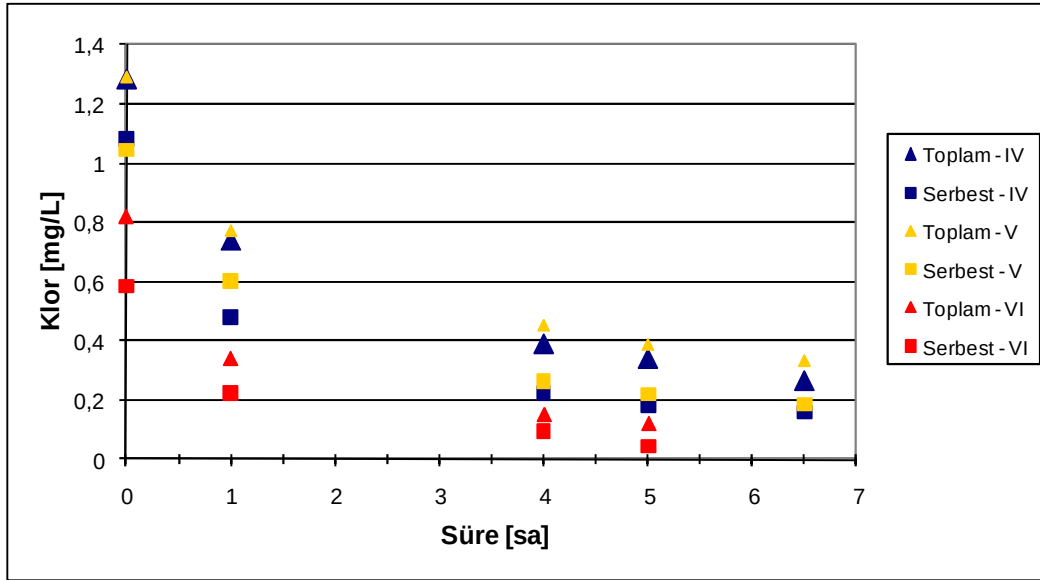
Her iki tuzlulukta gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde toplam ve SHK arasındaki farkın, deniz suyu tuzluluğu ‰ 30 olan deneylerde daha hızla azaldığı gözlenmektedir (Şekil 6.69).

Ayrıca bu deneylerde 5. saatin sonunda TK konsantrasyonlarındaki düşüş, tuzluluğun ‰ 18 olduğu deneylere göre daha fazladır. Başlangıçtaki toplam ve serbest hazır klor konsantrasyonları birbirine yakın olan iki ve beş numaralı deney sonuçları

incelendiğinde bu durum daha iyi anlaşılmaktadır (bkz. EK E). Tuzluluğun ‰ 18 olduğu iki numaralı deneyde TK ve SHK derişimleri sırası ile 1,30 mg/L ve 1,11 mg/L'dir (Şekil 6.68). Bu değerler tuzluluğun ‰ 30 olduğu beş numaralı deneyde ise sırasıyla 1,29 mg/L ve 1,05 mg/L'dir (Şekil 6.69).



Şekil 6.68 :Anot sıvısının deniz suyuunda bozunması; Tuzluluk: ‰18.



Şekil 6.69 :Anot sıvısının deniz suyuunda bozunması; Tuzluluk: ‰30.

Bekleme süresi 5 saat olduğunda iki numaralı deneyde TK derişimi 0,63 mg/L'ye düşerken beş numaralı deneyde 0,39 mg/L'ye, SHK derişimi ise iki numaralı deneyde 0,42 mg/L'ye beş numaralı deneyde ise 0,22 mg/L'ye düşmüştür. Her iki deneyde de TK ve SHK'un farkıyla bulunan bağılı hazır klor derişimleri ise, 5 saatlik

beklemenin sonunda, ikinci deneyde 0,19 mg/L'den 0,21 mg/L'ye yükselirken, beşinci deneyde 0,25 mg/L'den 1,7'ye düşmüştür.

Bu durum bir numaralı deneyin gerçekleştirildiği zamandan altı numaralı deneyin gerçekleştirildiği zaman kadar geçen sürede kullanılan deniz suyunda mikrobiyolojik kirlenmenin artması ile açıklanabilir. Daha önce de belirtildiği gibi tüm deneylerde kullanılan deniz suları, Yeniköy'den tek seferde alınmıştır. Deney numaraları aynı zamanda deney sırasını belirtmektedir. Laboratuvar ortamındaki bekleme süresince bu sudaki mikroorganizma sayısında artış olması muhtemeldir. Bilindiği gibi SHK'un yanı sıra BHK da bu organizmaların oksidasyonunda görev almaktadır. Bu nedenle organizma sayısındaki muhtemel artış BHK kullanımında da artışa yol açmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde BHK' un 5 saatlik bekleme süresince farkının, iki numaralı deney dışında, artan deney numarası ile artış eğiliminde olduğu gözlenmektedir.

6.4 Elektroliz hücre ile üretilen anot sıvısının mikrobiyolojik etkinliği

IMO tarafından istenen ve BSY Sözleşmesinde belirtilen deşarj edilebilir balast suyu standartlarına göre, mikroorganizmalar hariç olmak üzere, birim hacimde bulunabilecek organizma sayısı organizmaların boyutlarına göre belirlenmiştir (bkz. Çizelge 2.2). BaWaPla sisteminde kullanılacak elektroliz hücreler ile üretilen anot sıvısının biyolojik etkinliği proje kapsamında *Newcastle Upon Tyne* Üniversitesi (UNEW) tarafından, BSY Sözleşmesinde yer alan bu standartlara uygun olarak seçilen organizmalar üzerinde test edilmiştir (bkz. Bölüm 6.6). Bununla birlikte bu doktora çalışması kapsamında da anot sıvısının mikrobiyolojik organizmalar üzerinde etkinliğini gözlemek üzere bir takım çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu deneylerde standart hücre ile üretilen anot sıvısının biyolojik etkinliğini tespit etmek üzere iki tip deney yapılmıştır. Birinci tip deneylerde test organizmaları olarak dayanıklı *Bacillus Subtilis* sporları kullanılırken, ikinci tip deneylerde anot sıvısının Yeniköy'den alınan deniz suyu örneklerinde yer alan toplam canlı bakteriler üzerindeki etkinlik kapasitesi gözlenmiştir. Her iki tip deneyde de tuzluluğu ‰9 olan elektrolit ile üretilen anot sıvısı kullanılmıştır. Burada "toplam canlı bakteri" olarak tanımlanan bakteri sayısı aslında aerobik - mezofilik (oksijenli ortamda 25°C-40°C arası sıcaklıkta) olarak tanımlanan sınırlar içinde yaşayabilen, bazı patojen organizmaların da dâhil olduğu, çok geniş yelpazede yer alan bakterilerin sayısıdır.

Ancak bu çalışmada, balast tanklarında taşınacak organizmaların çok çeşitli olması nedeni ile de, mikroorganizma türü ve cinsi değil, toplam canlı bakteri sayısı dikkate alınmıştır.

Bacillus Subtilis sporları ile gerçekleştirilen deneylere toplam hacmin %5'i anot sıvısı olacak şekilde başlanmış ve her seferinde anot sıvısı miktarı artırılarak hacimce %90 anot sıvısı olana kadar devam edilmiştir. Başlangıçta ve çeşitli temas sürelerinin sonunda ekimler gerçekleştirilmiştir. 48 saate kadar temas süresi olan bu deneylerde *B. subtilis* sayısında düzey bazında bir düşüş tespit edilememiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5 :Standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının *B.subtilis* üzerinde etkisi.

Deney No	Anot sıvıları		Deney ortamı			Koloni oluşturan birim sayısı (CFU/mL)			
	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	AS oranı	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	0. dak	30. dak	120. dak	48. saat
1	66,75	58,00	%5	3,34	2,90	6,93E+08	5,87E+08	4,07E+08	
2	65,00	53,00	%10	6,50	5,30	5,15E+08	3,20E+08	3,07E+08	
3	68,75	57,00	%10	6,88	5,70	2,20E+08	1,85E+08	2,13E+08	
4	61,25	53,75	%10	6,13	5,34	4,07E+08	3,75E+08	3,37E+08	
5	70,50	66,75	%20	14,10	13,35	2,21E+08	1,80E+08	1,65E+08	
6	71,50	67,50	%30	21,45	20,25	3,27E+08	2,75E+08	3,40E+08	
7	69,50	66,00	%30	20,85	19,80	3,40E+08		2,83E+08	2,70E+08
8	69,50	66,00	%90	62,55	59,40	3,20E+08	2,80E+08	2,65E+08	

Bu deneyler standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının dayanıklı *B. Subtilis* sporları üzerinde etkinliğinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Bu elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının Yeniköy'den alınan deniz suyu örneklerinde yer alan toplam canlı bakteri üzerindeki etkisinin belirlenmesi için yapılan deneylere hacimce %10 anot sıvısı olacak şekilde başlanmıştır. Ancak bu sefer *B.Subtilis* ile elde edilen sonuçların aksine 30. dakikalık temas süresinin sonunda bile herhangi bir koloni oluşturan birime rastlanmamıştır. Bunun üzerine anot sıvısı oranı %5 ve ~%2,5e düşürülmüştür. Bu deneylerde kullanılan anot sıvıları, temas süreleri ve ekim sonuçları Çizelge 6.6 ile verilmektedir. Anot sıvısı, toplam hacme oranı %2,5 olacak şekilde deniz suyuna eklenerek başlangıçta ~1,8 mg/L TK sağlandığında, 15 dakikalık temas süresi sonunda toplam canlı bakteri sayısı iki düzey düşerken, hacim oranı %5 olacak şekilde eklenerek başlangıçta ~3,6 mg/L TK sağlandığında da ise aynı sürede üç düzey düşüş belirlenmiştir. Her iki deneyde de 30. dakikada alınan numuneler ile gerçekleştirilen ekimlerde herhangi bir koloni oluşturan birime rastlanmamıştır. Bu sonuçlar, *B. Subtilis* sporları ile gerçekleştirilen deneylerin

aksine, çok düşük oranlarda dahi anot sıvısı kullanıldığında deniz suyunda mevcut olan toplam canlı bakteri üzerinde yüksek oranda bir giderimin elde edilebileceğini göstermektedir.

Çizelge 6.6 :Standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının toplam canlı bakteri üzerinde etkisi.

Deney No	Anot sıvıları		Deney ortamı			Koloni oluşturan birim sayısı (CFU/mL)			
	TK	SHK	AS oranı	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	0. dak	15. dak	30. dak	40. dak
1	67,5	60	%10	6,75	6	3,30E+07		0	
2	72,75	67,75	%5	3,6375	3,3875	3,00E+06	5,00E+04		
3	72,75	67,75	%2,5	1,81875	1,69375	3,00E+06	1,00E+03		0

Son olarak, standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısının *B. Subtilis* sporları üzerinde etkinliğinin oldukça düşük olması nedeni ile, daha yüksek toplam ve serbest klor derişimi olan anot sıvısı üretebilme kapasitesine sahip olan FTEC500 ile üretilen anot sıvısının *Bacillus Subtilis* sporları üzerindeki etkinliği test edilmiştir

Çizelge 6.7 :FTEC 500 ile üretilen anot sıvısının *B. Subtilis* üzerinde etkisi.

Anot sıvısı		Deney ortamı			Koloni yapabilen birim sayısı (CFU/mL)		
TK	SHK	AS oranı	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	0. dak	60. dak	120. dak
640	430	91%	582,4	391,3	4,16E+08	2,76E+08	1,57E+07

İstanbul civarında bulunan deniz suyunun tuzluluğuna yakın olması için %20 tuzluluk kullanılarak elde edilen anot sıvısı doğrudan test ortamı olarak kullanılmıştır. 100 ml anot sıvısına 10 ml *Bacillus Subtilis* sporları içeren ürün eklenmiş başlangıçta, 60. dakikada ve 120 dakika sonunda ekimler yapılmıştır. 120 dakikanın sonunda koloni oluşturan mikroorganizma sayısında ancak bir düzey düşüş olduğu belirlenmiştir.

6.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu doktora çalışmasında, gemi üzerinde balast suyu arıtımında kullanılmak üzere BaWaPla Projesi ile hayata geçirilecek karma sistemde, dezenfektan üretimini yapacak elektrokimyasal hücrelerin geliştirilme ve optimizasyonu ile ilgili olan laboratuvar ölçekli deney, kontrol ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal hücrelerin geliştirildiği iki yıllık dönemde birbirinden farklı şekilde tasarlanmış 5 elektroliz hücresi ile çalışılmıştır. Bu hücreler sırasıyla standart elektroliz hücresi, FTEC 100, FTEC 500, EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240

adlandırılmıştır. İki yıllık süre zarfında öncelikli olarak elektroliz hücrelerinin performansları belirlenmiştir. Daha sonra elektrolit olarak kullanılacak su ile ilgili - sıcaklık, içerdiği Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları ve amonyak konsantrasyonu gibi- hücre dışı bazı etmenlerin üretilen dezenfektan sıvı üzerindeki etkisi araştırılmış ve üretilen dezenfektanın farklı koşullarda değişimi incelenmiştir. Bunlara ek olarak dezenfektan sıvının biyolojik etkinliğinin belirlenmesi için *B. Subtilis* sporları ve deniz suyunda toplam canlı bakteri takibi ile mikrobiyolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirileceği bu bölümde öncelikli olarak hücre performansına etkisi olan etmenler ele alınacak, ardından elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısı ile gerçekleştirilen deneylere değinilecektir. Bu değerlendirmeler ışığında en son gemi üzerinde kurulacak olan karma sistemde yer alacak elektroliz hücresinin seçimi ve bu seçimin nedenleri açıklanacaktır.

Standart elektroliz hücresi ile gerçekleştirilen başlangıç deneyleriyle elde edilen sonuçlar, deney sisteminin ve elektroliz hücrelerin çalışma koşullarının belirlenmesini sağlamış, bu deneyler daha sonraki aşamalarda diğer elektroliz hücreleri ile gerçekleştirilecek deneyler için altyapı oluşturmuştur. Standart hücre ile elde edilen sonuçlar, elektroliz için kullanılan akım şiddetindeki artışın üretilen anot sıvısında toplam ve serbest hazır klor derişimlerinde artışa yol açtığını göstermektedir. Akım şiddetinin yanı sıra, elektroliz edilecek deniz suyunun tuzluluğu da, üretilen dezenfektanın kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Deniz suyu tuzluluğunun artması, üretilen dezenfektanın toplam ve serbest hazır klor derişimlerinin artmasına yol açmaktadır. Ancak elektroliz sonucunda üretilen dezenfektanın toplam ve serbest hazır klor derişimlerindeki bu artışlar, tuzluluk veya akım şiddeti ile doğru orantılı olarak gerçekleşmemektedir.

Bununla birlikte elektroliz edilecek suyun tuzluluğunun sistemde sağlanacak akım şiddeti üzerinde de önemli etkisi vardır. Standart elektroliz hücresinin ardından diğer hücrelerle yapay deniz suyu kullanılarak gerçekleştirilen deneyler bunu açıkça ortaya koymaktadır. Örneğin FTEC 100 ile üç farklı elektrolit tuzluluğu (%10, %20 ve %30) ile gerçekleştirilen deneylerde, tuzluluğu dışındaki tüm koşullar aynı olmasına rağmen sağlanan akım şiddetleri birbirinden farklıdır. Elektrolit tuzluluğu %10 olduğunda üretim süresince elde edilen akım şiddeti değerleri hedeflenen 10A değerinin çok altında kalarak 1,3 A ile 3,8 A arasında değişmiştir. Elektrolit tuzluluğu %20 olduğunda elde edilen akım şiddeti üretim süresince artarak 8A'den

10A'e kadar yükselmiş, tuzluluk %30 olduğunda ise üretim süresince elde edilen akım şiddeti 10A olmuştur. FTEC 100'den daha büyük elektrot boyutlarına ve yüzey alanına sahip olan ancak diğer özellikleri FTEC 100 ile aynı olan FTEC 500'le de benzer şekilde farklı elektrolit tuzlulukları (%10, %20 ve %30) test edilmiştir. Ancak bu hücre için dört farklı maksimum akım şiddeti ayarı (30A, 40A, 50A ve 60A) kullanılmıştır. FTEC 500'ün elektrot yüzey alanlarının daha geniş olması nedeni ile maksimum akım şiddeti ayarı, FTEC 100 ile hedeflenenin oldukça üzerindedir. Bu deneylerde hedeflenen akım şiddeti 40A'den büyük olduğunda %10 tuzluluğa sahip elektrolit ile hedeflenen değerin altında kalınırken, diğer elektrolitlerle hedeflenen tüm akım şiddeti değerlerine ulaşılmıştır. Elektrot boyutları FTEC 100 ile aynı olan EC 100 Nr. 210 ve EC 100 Nr. 240 ile gerçekleştirilen deneylerde ise maksimum akım şiddeti ayarı 8A olarak sabit tutulurken maksimum voltaj ayarları değiştirilmiş ve yine üç farklı tuzluluğa sahip (%10, %20 ve %30) elektrolit ile çalışılmıştır. Sistemde uygulanan voltaj arttırıldıkça elde edilen akım şiddeti tüm tuzluluklarda yükselmiştir. Ancak akım şiddetindeki yükselmeler, daha büyük tuzluluklarda daha düşük voltajlarla sağlanabilmiştir.

Elektroliz hücresi performansını etkileyen diğer bir önemli etmen ise dezenfektan üretim hızıdır. Dezenfektan üretim hızı, deniz suyunun elektroliz hücresinden geçerken elektrokimyasal tepkimenin gerçekleştiği alanda kalış süresini belirlemektedir. Üretim hızı arttıkça, bu süre kısalmakta buna bağlı olarak üretilen dezenfektanın kalitesi düşmektedir. Örneğin FTEC 100 ile gerçekleştirilen deneylerde elektrolit tuzluluğu %30 maksimum akım şiddeti ayarı 10 A iken 50L/sa ve 75 L/sa hızlarında üretilen anot sıvılarının toplam klor derişimlerinde önemli farklılıklar belirlenmiştir. Üretim hızı 50 L/sa olduğunda elde edilen en yüksek klor derişimi ~246 mg/L, en düşük klor derişimi ~183mg/L iken 75 L/sa hızda ise bu değerler sırası ile ~129 mg/L ve ~102 mg/L'dir.

Bilindiği gibi balast suyunun özellikleri alındığı bölgeye ve mevsime göre değişmektedir. Bu değişken özellikler gemi üzerinde üretilecek olan dezenfektanın kalitesini doğrudan etkileyecektir. Aynı elektroliz hücreleri ile benzer koşullarda gerçekleştirilen yapay ve gerçek deniz suyu deneyleri bunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu deneylerin tamamında, benzer koşullarda gerçekleştirilmesine rağmen deniz suyu ile üretilen dezenfektanların klor derişimleri, yapay deniz suyu ile üretilen dezenfektanların klor derişimlerinden oldukça düşüktür. Hatta benzer

çalışma koşullarında sağlanan akım şiddetleri dahi farklıdır. Örneğin FTEC 500'le gerçekleştirilen YDS deneylerinin yanı sıra, DS deneylerinde de üç farklı elektrolit tuzluluğu test edilmiş (%9 %18 ve %30), ancak %30 tuzlulukta dahi hedeflenen akım şiddeti değerine ulaşamamıştır. Bu sonuçlar ışığında çalışmamızda deniz suyunun bölgesel ve mevsimsel olarak değişen özelliklerinden bazılarının üretilen dezenfektan kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi gerekli bulunmuş ve bu doğrultuda bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deniz suyu sıcaklığı, alınacak balast suyunun gerek mevsimsel olarak gerekse bölgesel olarak değişen en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Bu nedenle çalışmamızda iki farklı elektrolit sıcaklığının üretilen dezenfektan üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla soğutucuda (~9 °C) ve laboratuvar ortamında (~22 °C) bekletilen NaCl çözeltisi dezenfektan üretiminde elektrolit olarak kullanılmıştır. Her iki sıcaklıktaki elektrolitle üretilen dezenfektanın klor derişimleri karşılaştırıldığında tespit edilen farklılıklar, dezenfektanın kullanım amacı göz önünde bulundurulduğunda, ihmal edilebilecek düzeydedir.

Deniz suyunun içerdiği Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları, tuzluluk oranı ile birlikte bölgeden bölgeye değişmektedir. Bu nedenle çalışmamızda farklı Ca^{2+} ve Mg^{2+} derişimlerine sahip elektrolitlerle de hücre performanslarının gözlemlendiği bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmalarımızda kullanılan elektrolitlerin tuzluluğu %30 olacak şekilde sabit tutulmuş, sadece deniz suyu önemli miktarlarda bulunan ve tatlı suyun sertliğini de meydana getiren iyonlardan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının derişimi değiştirilmiştir. Bu şekilde elektrolit tuzluluğunun dezenfektan kalitesi üzerindeki etkisinden bağımsız olarak söz konusu iyonların etkisi incelenmiştir. Bu deneylerde %30 tuzlulukta ve istenilen sertlik derecelerine göre çeşitli derişimlerde NaCl, $CaCl_2$, ve $MgCl_2$ bileşiklerinin eklendiği deiyonize su elektrolit olarak kullanılmıştır. Deney sonuçları elektroliz edilecek suyun sertliğinin hücre performansını olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Aynı tuzluluğa sahip olmalarına rağmen, farklı sertlik derecelerinde elektrolitlerle üretilen dezenfektanın içerdiği toplam ve serbest hazır klor derişimleri değişmektedir. Kullanılan elektrolitin içerdiği Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının derişimleri artarak ortalama deniz suyu sertliğine yaklaştıkça hücre performansı düşmektedir. Bununla birlikte sözü edilen iyonların herhangi bir derişiminde üretim süresinin başlangıcında ve sonunda elde edilen dezenfektanların kalitesi farklılıklar göstermektedir. Bu da elektrolit içerisinde

mevcut olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi iyonların, elektroliz hücrelerinin elektrotları üzerinde birikerek tabaka oluşmasına ve anolit-katolit bölmeleri arasındaki membranda tıkanmalara neden olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bu tip bir elektrolitle çalışma süresi uzadıkça üretim esnasında ortaya çıkan atık su miktarında önemli artış olmaktadır. Bu nedenle elektrotlar üzerindeki söz konusu tabakalaşmanın ve membran üzerindeki birikmelerin giderilebilmesi için elektroliz hücresinin kutuplarının belirli aralıklarla ters çevrilerek çalıştırılması gerekmektedir (Bilgin ve Yonsel, 2009). Öngörülerimiz, proje ortaklarından LVPG GmbH ve elektroliz hücrelerini temin ettiğimiz FumaTech GmbH ile deneyler esnasında yapılan yazışmalarla desteklenmiş ve elektroliz hücrelerinin dizayn ve kullanımında alternatifler düşünülmesini gerektirerek kutupların farklı yönlerde çalıştırılması ile membran üzerindeki birikimlerin temizlendiği hücrelerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Deniz suyunun içerdiği organik kirleticiler gerek mevsimsel olarak (Yonsel ve diğ., 2000), gerekse bölgesel olarak değişim göstermektedir. Yerleşim yerlerine yakın kıyı bölgelerinden alınacak balast suyu bu tip kirleticileri de içereceği için çalışmamızda evsel atık sulara yüksek derişimlerde bulunan amonyağın elektrokimyasal dezenfektan üretimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı derişimlerde amonyak içeren fakat aynı tuzluluğa sahip (%30) elektrolitlerle dezenfektan üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, sertlik deneylerinin aksine, amonyak derişiminin üretilen anot sıvısının üzerindeki etkisinin deney süresince sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu da elektrolitte -deneylerde kullanılan oranlarda- mevcut olan amonyağın, deneyler süresince elektroliz hücresinde her hangi bir birikime dolayısı ile kirlenmeye yol açmadığının işaretidir. Ancak amonyak, üretilen dezenfektanın içeriğini değiştirmektedir. Amonyak derişimi arttıkça üretilen dezenfektanın toplam ve serbest hazır klor derişimlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş amonyak derişimi belli bir değere ulaştınca son bulmuş, bu noktadan sonra üretilen dezenfektanın klor derişimleri amonyak derişiminin artması ile değişim göstermemiştir. Elektrokimyasal süreçte elektrotlarda açığa çıkan aktif klor, elektrot yüzeyine yakın bölgede hızla amonyakla reaksiyon vererek kloraminlerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, üretilen dezenfektanın serbest hazır klor derişiminde tespit edilen düşüş Bölüm 4.3.1 ile verilen kloramin oluşu ile ilgili bilgiler de göz önünde bulundurulduğunda, beklenen bir sonuçtur. Ancak toplam klor derişiminde tespit edilen düşüş, amonyak

içeren balast suyu ile üretilecek dezenfektanın kalitesi açısından önemlidir. Bununla birlikte amonyağın atık sulardan elektrokimyasal yöntemlerle giderimi de son yıllarda üzerinde çalışılan önemli bir konudur. Yapılan çalışmalar amonyağın elektroliz hücre içerisinde hipokloröz asitle verdiği tepkimenin yanı sıra bir takım farklı süreçlerden de geçtiğini göstermektedir ancak bu süreçler henüz tam olarak açıklanabilmiş değildir. Yapılan çalışmalar, hücre içerisindeki süreçler sonunda amonyağın ortaya çıkaracağı ürünler üzerinde aktif klorun yanı sıra kullanılan elektrotların, akım yoğunluğunun, pH derecesinin önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Liu ve diğ., 2009; Li ve Lui, 2009; Xiao ve diğ., 2009; Kapalka ve diğ., 2010). Amonyağın elektroliz hücre içerisinde geçireceği süreçlerin sonuçları bizim çalışmamızda üretilen dezenfektanın kalitesi üzerinde de etkilidir. Ancak amonyağın balast suyu dezenfeksiyonuna etkisi iki şekilde görülecektir. Öncelikle, balast suyunun içereceği amonyak derişimine bağlı olarak, dezenfektan anot sıvısının toplam ve serbest klor derişimleri azaldığından arıtım için gereken anot sıvısı miktarı artacaktır. Daha sonra artılacak balast suyundaki amonyak, üretilen dezenfektandaki serbest hazır klorun bir kısmı ile da tepkimeye gireceği için serbest hazır klor miktarında ikinci bir düşüşe daha neden olarak dezenfektanın etkinliğini azaltacaktır. Bu sonucu da “alınan balast suyundaki amonyak derişimindeki artış = daha çok dezenfektan üretimi ihtiyacı” şeklinde özetleyebiliriz.

Gemi üzerinde dezenfektan üretiminde kullanılacak balast suyunun bölgelere ve mevsimlere göre farklılık göstermesinin yanı sıra, üretilecek dezenfektan kullanım esnasında da farklı koşullara maruz kalabilir. Örneğin, anot sıvısının üretimden sonra doğrudan kullanılması yerine, gemi üzerinde depolanması ve sonradan kullanılması tercih edilebilir. Ayrıca anot sıvısı farklı deniz suları kullanılarak üretileceği gibi farklı deniz sularının da dezenfeksiyonunda kullanılacaktır. Dezenfekte edilecek deniz suyunun yapısı da dezenfeksiyon amacı ile eklenen anot sıvısının, su içerisindeki indirgenmesinde etkili olacaktır. Bu nedenle çalışmada dezenfektan anot sıvısının farklı saklama koşullarında zamanla değişiminin yanı deiyonize su, musluk suyu ve deniz suyuna eklendikten sonra zamana bağlı olarak bozunması belirlenmiştir.

Anot sıvısının doğrudan kullanılamayacağı durumlar için, üretiminin ardından ne kadar süre ile etkili olacağı büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmamızda ilk olarak tuzluluğu %~18 olan üç farklı elektrolit ile (DI, YDS ve DS) üretilen anot

sıvısının toplam ve serbest hazır klor derişimlerinin laboratuvar ortamındaki ve karanlıktaki değişimi de takip edilmiştir. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar deiyonize su ile hazırlanan elektrolitle ve yapay deniz suyu ile üretilen anot sıvılarının deney süresi boyunca gösterdiği değişimin deniz suyu ile üretilen anot sıvısına göre oldukça düşük olduğunu, bekleme süresi olan 72 saatin sonunda dahi önemli miktarlarda toplam ve serbest hazır klor içerdiklerini göstermiştir. Bununla birlikte, deniz suyu ile üretilen anot sıvısının toplam ve serbest klor değerlerinin hızla düştüğü gözlenmiştir. Daha sonraki aşamada deniz suyu ile üretilen anot sıvısının daha kısa sürelerde değişimi takip edilmiştir. Bu deneyler, İstanbul boğazından alınan deniz suyu ile üretilen anot sıvısının değişiminde ilk 7 saatin önemini ortaya koymaktadır. Bu süre zarfında, gerek toplam gerekse serbest hazır klorun önemli bir kısmı tükenmektedir. Bununla birlikte bu tükenme 4. saatin sonuna kadar daha hızlı gerçekleşirken daha sonra yavaşlayarak devam etmektedir. Anot sıvısının değişiminin incelendiği bu deneylerde karanlıkta bekletilen anot sıvısının değerleri ile laboratuvar ortamında beyaz ışık altında bekletilen anot sıvısı değerleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bir sonraki aşamada güneş tarafından da yayılan UV radyasyonuna maruz kalan anot sıvısındaki değişim takip edilmiştir.

UV radyasyonu ile gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları iki açıdan önemlidir. Anot sıvısı ile dezenfekte edilen balast suyu, yükleme limanında tekrar deniz ortamına deşarj edilecektir. Deşarj edilen balast suyunda, eklenen anot sıvısı nedeni ile toplam ve serbest hazır klor bulunma olasılığı vardır. Söz konusu balast suyu deniz ortamında çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere maruz kalacaktır. Güneş tarafından yayılan UV radyasyonu bu etkilerden bir tanesidir. Gemi üzerinde üretilen anot sıvısının, eklendiği balast suyu ile deniz ortamına bırakılması halinde deniz ortamındaki ömrünün tespiti çevresel açıdan gereklidir. Bu nedenle UV radyasyonunun anot sıvısı üzerinde etkisinin belirlenmesi önemlidir. Bunlara ek olarak anot sıvısı doğrudan balast akımına verilemeyecekse ve bekletilmesi gerekecekse, bekletilme süresince saklanma koşullarının belirlenmesi açısından da önemlidir.

Yeryüzüne ulaşan UV radyasyonunun önemli bir kısmı UV-A bandındadır, ozon tabakasını aşamayan UV-C radyasyonu yeryüzüne ulaşmamaktadır. Deniz suyunun UV geçirgenliği ise bulanıklığının ve berraklığının yanı sıra UV radyasyonunun dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyu arttıkça, deniz suyunun UV geçirgenliği

artmaktadır. Bu nedenle deniz suyunda etkisi en fazla görülecek UV radyasyonu, UV-A bandındadır. Bununla birlikte bizim çalışmamızda iki tip UV kaynağı kullanılmıştır. Başlangıç deneyleri laboratuvarımızda hâlihazırda var olan UV-C ile gerçekleştirilirken daha sonra UV-A radyasyonunun etkisi de incelenmiştir.

Başlangıç deneylerinde değişimi incelenecek anot sıvısı üretiminde deiyonize su, musluk suyu ve deniz suyu olmak üzere %18 tuzluluğa sahip üç farklı elektrolit kullanılmıştır. Üretilen anot sıvısı UV-C ışığının yanı sıra kontrol amacı ile karanlıkta da bekletilmiştir. Gerçekleştirilen bu ön deneylerde deiyonize su ile hazırlanan elektrolit ve yapay deniz suyu kullanılarak üretilen anot sıvılarında, UV geçirgenlikleri fazla olduğu için, klor derişimleri hızla azalmıştır, deniz suyundan üretilen anot sıvısında ise UV-C radyasyonuna bağlı belirgin bir düşüş tespit edilememiştir. Daha sonraki aşamada UV-A radyasyonunun deniz suyundan üretilen anot sıvısının değişimine etkisi incelenmiştir. Bu deneylerde gerek toplam ve gerekse serbest hazır klor derişimleri ikinci saatin sonunda UV-A'ya maruz kalan ve karanlıkta bekletilen anot sıvılarında birbirine yakın çıkmıştır. Ancak dördüncü saatten sonra gerçekleştirilen analizlerde farklılıklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Dördüncü saatten sonra UV-A'ya maruz kalan anot sıvısında klor bozunmasının daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Bununla beraber on ikinci saatin sonunda UV-A altında toplam klorun %93'ü bozunurken kontrol deneyinde %84'ü bozunmuştur. Bu sonuçlar anot sıvısı ile arıtımın ardından denize deşarj edilecek balast suyunda eğer hala toplam klor mevcutsa, deniz ortamında güneşle temas halinde bozunmasının hızlanacağını göstermektedir.

Dezenfektanla organizmaların temas süresi dezenfeksiyon verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle çalışmamızda dezenfekte edilecek suya eklenen anot sıvısında klor değişimi incelenmiştir. Bu deneyler ayrıca balast suyunun anot sıvısı ile dezenfeksiyonu sonrasında deniz ortamına bırakıldığı zaman içereceği serbest ve toplam hazır klor miktarının tahmin edilmesi açısından da önemlidir. Bu aşamada başlangıçta %20 tuzlulukta elektrolit ile üretilen anot sıvısı iki farklı sıcaklıktaki (20 °C ve 8 °C) deiyonize suya, musluk suyuna ve deniz suyuna eklenerek ilk 30 dakikadaki serbest hazır klor değişimi takip edilmiştir. Bu deneyler ilk bir dakikalık sürenin dahi serbest hazır klor derişiminin azalmasında önemli olduğu göstermiştir. İlk bir dakikadan sonra gerçekleştirilen analizlerin sonuçları dezenfekte edilecek suyun serbest hazır klor azalmasıdaki önemini ortaya koymaktadır. Örneğin Anot

sıvısının 20°C'deki deiyonize suya eklenmesinden 30 dakika sonra serbest hazır klor konsantrasyonunda tespit edilen düşüş %~6,5 iken bu düşüş aynı sıcaklıktaki musluk suyunda %~23 deniz suyunda ise %~37 olarak belirlenmiştir. Doğal olarak organik safsızlıklar arttıkça serbest hazır klor konsantrasyonundaki azalmanın hızı artmaktadır. Özellikle deniz suyunda klor tüketimine neden olan organik kökenli kirlenmenin İstanbul Boğazı'nda da mevcut olması nedeni ile (Yonsel, F., ve diğ., 2000) Yeniköy'den temin edilen suya eklenen anot sıvısında serbest hazır klorun hızla tükenmesi doğaldır. Bu deneylerde elde edilen diğer bir sonuç ise sıcaklık düştükçe serbest hazır klordaki düşüş de azalmaktadır. Deniz suyu ile gerçekleştirilen deneylerde yukarıda da belirtildiği gibi 30. dakika sonunda tespit edilen düşüş 20°C'de %37 civarında iken 8°C'deki düşüş 30. dakikada %30'dur. Başlangıç deneylerinin ardından gerçekleştirilen deneylerde anot sıvısının balast suyu içerisindeki etkinlik süresinin tespiti için İstanbul Boğazı'nda Yeniköy'den alınan deniz suyuna eklenen anot sıvısında klor değişimi uzun süre ile takip edilmiştir. Deney sonuçları ilk beş saatin sonunda toplam ve serbest hazır klor konsantrasyonunun önemli bir oranının azaldığını göstermektedir. Dikkati çeken diğer bir nokta da, deneylerin çoğunda toplam klor ve serbest hazır klor derişimleri azalırken birbirlerine yaklaştığı, yani aralarındaki fark ile tespit edilen bağlı hazır klor derişiminin de azaldığıdır. Bu durum deniz suyunda sadece serbest hazır klorun değil aynı zamanda bağlı hazır klorunda dezenfektan olarak kullanılması ile ilişkilidir.

Bu çalışmada anot sıvısının dezenfektan olarak etkisinin tespiti için de bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde test organizması olarak Ozmotik stres, ısı ve kimyasallara karşı oldukça dayanıklı olan *Bacillus Subtilis* sporları kullanılırken ve anot sıvısının Yeniköy'den alınan deniz suyu örneklerinde yer alan toplam canlı bakteri üzerindeki etkisi de gözlenmiştir. Burada "toplam canlı bakteri" olarak tanımlanan bakteri sayısı aslında aerobik - mezofilik (oksijenli ortamda 25°C-40°C arası sıcaklıkta) olarak tanımlanan sınırlar içinde yaşayabilen, bazı patojen organizmaların da dâhil olduğu, çok geniş yelpazede yer alan bakterilerin sayısıdır. Ancak bu çalışmada, balast tanklarında taşınacak organizmaların çok çeşitli olması nedeni ile de, mikroorganizma türü ve cinsi değil, toplam canlı bakteri sayısı dikkate alınmıştır. Dezenfektan olarak standart elektroliz hücresi ve FTEC 500 ile üretilen anot sıvıları kullanılmıştır. Standart hücre ile üretilen anot sıvılarının toplam klor

derişimleri ortalama ~70 mg/L civarındayken serbest hazır klor derişimleri ~65 mg/L civarındadır. FTEC 500 ile üretilen anot sıvısının ise toplam klor derişimi 640 mg/L, serbest hazır klor derişimi 430 mg/L'dir.

Bu deneylerde anot sıvısının dayanıklı *Bacillus Subtilis* sporlarının üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Standart elektroliz hücresi ile üretilen anot sıvısı ile gerçekleştirilen deneylerde, kullanılan dezenfektanın oranı hacimce %90 olana kadar çeşitli karışım oranlarında deneylere devam edilmiştir. Deney ortamı hacimce %90 anot sıvısı olmasına rağmen 48 saatlik temas süresi sonunda dahi *B. subtilis* sayısında düzey bazında bir düşüş tespit edilememiştir. Bir sonraki aşamada *Bacillus Subtilis* sporları içeren üründen 10 ml, FTEC 500 ile üretilen 100 ml anot sıvısına eklendiğinde ise 120 dakikanın sonunda koloni oluşturan mikroorganizma sayısında bir düzey düşüş olduğu belirlenmiştir. Ancak birçok çalışmada test organizması olarak kullanılan *B. Subtilis* sporlarının, çok dayanıklı mikroorganizmalar arasında olduğu göz ardı edilmemelidir. Anot sıvısının Yeniköy'den alınan deniz suyu örneklerinde yer alan toplam canlı bakteri üzerindeki etkisi, *Bacillus Subtilis* sporlarının aksine, oldukça yüksektir. Standart hücre ile üretilen anot sıvısı, toplam hacme oranı %2,5 olacak şekilde deniz suyuna eklenerek başlangıçta ~1,8 mg/L TK sağlandığında, 15 dakikalık temas süresi sonunda toplam canlı bakteri sayısı iki düzey düşerken, hacim oranı %5 olacak şekilde eklenerek başlangıçta ~3,6 mg/L TK sağlandığında da ise aynı sürede üç düzey düşüş belirlenmiştir. Her iki deneyden 30. dakikada alınan numuneler ile gerçekleştirilen ekimlerde ise herhangi bir koloni oluşturan birime rastlanmamıştır. Bu sonuçlar, *B. Subtilis* sporları ile gerçekleştirilen deneylerin aksine, çok düşük oranlarda dahi anot sıvısı kullanıldığında deniz suyunda mevcut bazı patojenlerin de dâhil olduğu toplam canlı bakteri dezenfeksiyonu için yüksek bir etkinlikle kullanılabileceğini göstermektedir.

Daha önce de vurgulandığı gibi, bu doktora çalışmasında, BaWaPla Projesi'nin elektrokimyasal uygulamasını içeren iki yıllık dönemde birbirinden farklı şekilde tasarlanmış 5 elektroliz hücresi ile çalışılmıştır. Doktora çalışmasının en önemli hedefi gemi üzerinde balast suyu arıtımında kullanılmak üzere BaWaPla Projesi ile hayata geçirilecek optimal bir karma sistemde, dezenfektan üretimini yapacak elektrokimyasal hücrelerin belirlenmesidir. Tasarım olarak birbirinden farklı olan beş elektroliz hücresinin her biri ile gerçekleştirilen performans deneyleri gerek hücrenin

özelliklerine, gerekse bir önceki aşamada test edilen hücre ile gelinen aşamaya göre şekillenmiştir. Bu deneyler birbirinden farklılık göstermesine rağmen temel amaç belli işletim koşullarında maksimum toplam ve serbest klor derişimi içeren dezenfektan üretimidir. Çizelge 6.8 bu beş hücre ile birbirine yakın işletim koşullarında elde edilen yaklaşık toplam klor değerleri ile hazırlanmıştır. Bu çizelgede YDS sütunları musluk suyu ile hazırlanan ve ‰20 tuzluluğa sahip elektrolitlerle elde edilen değerleri, DS sütunları ise Yeniköy’den alınan ve ‰18 tuzluluğa sahip deniz suyu ile elde edilen değerleri ifade etmektedir.

Çizelge 6.8 Benzer koşullarda farklı hücreler ile üretilen dezenfektanlar.

Elektroliz Hücresi	Anot sıvısı		Katot sıvısı	
	YDS	DS	YDS	DS
Standart	75 mg/L	X	X	X
FTEC 100	150 mg/L	70 mg/L	X	X
FTEC 500	470 mg/L	240 mg/L	X	X
EC 100 Nr.201	140 mg/L	120 mg/L	90 mg/L	13 mg/L
EC 100 Nr.240	160 mg/L	50 mg/L	140 mg/L	25 mg/L

Çizelge 6.8 incelendiğinde en yüksek toplam klor derişiminin FTEC 500 ile elde edildiği gözlenmektedir. Ancak hatırlanacak olursa (bkz. Bölüm 5.3) FTEC 100 ve FTEC 500 arasındaki tek fark elektrot boyutlarıdır. FTEC 500 de elektrotlar 175x175 boyutundayken diğer hücrelerin elektrotları 88x42 mm boyutundadır. Elektrot boyutlarının büyümesi, üretilen anot sıvısının daha yüksek derişimde toplam klor içermesini sağlamıştır. Diğer elektroliz hücrelerinde de elektrotların yüzey alanlarının genişlemesiyle aynı sonucun gözleneceği açıktır.

Standart elektroliz hücresinde her iki elektrot genişletilmiş ızgara (*grid*) şeklinde tasarlanmıştır. FTEC 500 de ise anot, standart hücreden farklı olarak, kompakt düzlemsel biçimde tasarlanmıştır¹. Bu değişiklik toplam klor konsantrasyonunda önemli artış sağlamıştır (Çizelge 6.8). EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu elektroliz hücrelerinin elektrotları özel bir geometriye sahiptir. Bu geometriyle, gerekli hallerde, elektroliz hücrelerin gemi üzerinde seri bağlanabilmesi amaçlanmaktadır. Bu hücrelerin FTEC 100 ve standart hücreden en önemli farkı, titanyum elektrotlar üzerindeki metal oksit kaplamanın standart kaplamadan farklı

¹ Elektroliz hücreleri ile ilgili teknik detaylar FumaTech GmbH. ile yapılan yazışmalardan ve buradan temin edilen yayınlanmamış dökümanlardan elde edilmiştir.

oluşudur¹. Ayrıca bu hücrelerin elektrotlarında metal yüzey ile kaplama arasında kullanılan ek katman kutupların ters yönde çalışmasına olanak tanımaktadır¹. Bu Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının etkisinin incelendiği deney sonuçları anımsanacak olursa oldukça önemlidir (bkz. Sayfa 135). Deniz suyunun içerdiği Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları nedeni ile gerek katot üzerinde oluşabilecek çökeltiler gerekse membranda meydana gelecek tıkanmalar FTEC 100 ile çalışıldığında kutupların kısa süreli olarak ters yönde çalıştırılması ile giderilebilmektedir. Ancak bu esnada ortaya çıkacak olan ürün dezenfektan olarak kullanılamamaktadır. Bununla birlikte EC100 Nr. 201 ve EC100 Nr. 240 kodlu hücrelerde kutuplar ters çevrildiğinde yine dezenfektan bir sıvı olarak kullanılabilen katot sıvısı üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Çizelge 6.8 'de verilen değerlere dönecek olursak, EC 100 Nr. 240'ın YDS deneylerinde en yüksek klor konsantrasyonunu sağladığı, bunun yanı sıra dezenfektan olarak katot sıvısı üretimi yapabildiği anlaşılmaktadır. Bununla beraber bu hücre deniz suyu ile dezenfektan üretiminde EC 100 Nr. 201 kadar etkin olamamıştır. Gemi üzerinde kullanılacak elektrokimyasal sistemin asıl hedefinin yüksek derişimde klor içeren anot sıvısı üretmek olduğu göz önünde bulundurulursa, en efektif elektroliz hücresinin EC100 Nr. 201 olduğu açıktır. Bu hücrenin kutuplarının ters yönlerde çalıştırılabilmesi çok önemli bir avantajdır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında BaWaPla projesi için geliştirilen elektroliz hücresi tasarlanmış ve Ağustos 2009'da Blyth-İngiltere'de kurulan büyük ölçekli pilot sistemde de kullanılarak test edilmiştir.

6.6 BaWaPla Pilot Sistemi

BaWaPla projesi, başlangıç aşamasında gemi üzerinde balast suyu arıtımı için üçlü bir karma sistem (filtre + UV + elektrokimyasal) geliştirilmesi olarak planlanmıştır. Ancak filtreleme işlemi sonrasında ikincil arıtmayı gerçekleştirecek UV ve elektrokimyasal sistemlerin geliştirme çalışmaları esnasında kazanılan bilgi ve deneyimle, bir adet üçlü karma sistem (filtre + UV + elektrokimyasal) yerine, iki farklı ikili karma sistemle de (filtre + UV ve filtre + elektrokimyasal) gerekli verimin sağlanabileceği (BaWaPla, D 3.4; BaWaPla, D 4.2) gözlemlenmiştir. Bunun üzerine, gerektiği zaman üçlü olarak da çalıştırılabilecek BaWaPla pilot sistemi (Şekil 6.70) önce *Newcastle Upon Tyne Üniversitesi'nin Dove Laboratuvarı'nda* inşa edilmiş,

ancak daha sonra buradaki deniz suyu depolarının yeterince steril olmaması nedeni ile sitem *Blyth- Newcastle*'a taşınarak testler burada gerçekleştirilmiştir.

Pilot sisteminde birincil arıtma için iki adet perde içeren ve 100 m³/sa debi ile çalışabilecek perde filtre kullanılmıştır. Bu perde filtrelerden ilki iri taneleri uzaklaştırarak, ikinci hassas filtrenin zarar görmesini engellemektedir. İkinci perdenin 40µm olan aralıkları, bu boyuttan büyük olan ve birinci filtreden geçmeyi başaran organizmaların balast tankına girmesine engel olmaktadır. Filtre - elektrokimyasal ikili karma sistemde ikincil arıtmanın sağlanması için dezenfektan üretecek elektrokimyasal bileşende ise her biri 500 L/sa anot sıvısı üretme hızına çıkabilecek 6 adet elektroliz hücresi kullanılmıştır (BaWaPla, D 3.2).

BaWaPla Projesi kapsamında geliştirilen elektroliz hücresi elektrokimyasal sisteminin kalbini teşkil etmektedir. Projede hücre tasarımı ve işletim parametrelerinin belirlenmesinde doktora çalışmasında yapılan deneyler ve *Newcastle Upon Tyne* Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen mikrobiyolojik testlerin sonuçları dikkate alınmıştır (BaWaPla, D 3.5). Geliştirilen hücrenin elektrotları FTEC 500 ile aynı boyutları sahiptir ve EC100 Nr. 201 ile aynı malzeme ve geometride tasarlanmıştır. Bu şekilde geliştirilen hücrenin dezenfektan üretim kapasitesi artırılırken kutupların yönleri değiştirilerek de çalışması sağlanmıştır. Ancak bu hücrede anolit ve katolit bölmelerini ayırmak üzere iyon değişim membran yerine diyafram kullanılmıştır. (Voightländer, 2010).

Pilot sistem 100 m³/sa hızla çalışabilecek kapasitede dizayn edilmiştir ancak bütçe problemleri nedeni ile gemi üzerinde çalıştırılamamış, karada test edilmiştir. Deniz suyu gemilerin balast suyu aldığı Blyth limanından doğrudan balast tankı koşullarını sağlayan iki adet çelik tanka alınmıştır (Şekil 6.71). Tankların dış ortamdan izole edilmesiyle ışık ve havanın tank içindeki organizmalara ulaşması engellenmiştir. (BaWaPla, D 5.3)

Pilot sistemin biyolojik verimliliğini test için $\geq 50\mu\text{m}$ organizmaları temsil etmek üzere tuzlu su karidesi olan *Artemia salina* ve $\geq 10 < 50$ organizmaları temsil etmek üzere tek hücreli yeşil alg *Tetraselmis suecica* kullanılmıştır. Sistemin mikrobiyolojik verimliliği test etmek için test sahasından temin edilen ve 7 farklı cinse (*Vibrio*, *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Pseudoaltromonas*, *Serratia*, *Bacillus*, *Tenacibaculum*, *Proteus* ve *Cytophage*) ait olan yaklaşık 40 bakteri izolatu

kullanılmıştır. Tüm testlerde deniz suyu önce Blyth limanından saklama tankına pompalanmış (Şekil 6.72), burada IMO tarafından istenen organizma sayısına ulaşılacak şekilde test organizmaları eklenmiştir. (BaWaPla, D 5.3).



Şekil 6.70 :BaWaPla Pilot Sistemi: Filtre-UV-Elektrokimyasal Sistem, Blyth, Ağustos 2009.



Şekil 6.71 :BaWaPla Pilot Sisteminde kullanılan Tanklar, Blyth, Ağustos 2009.



Şekil 6.72 :BaWaPla Pilot Sistemi ve Tank Bağlantıları, Blyth, Ağustos 2009.

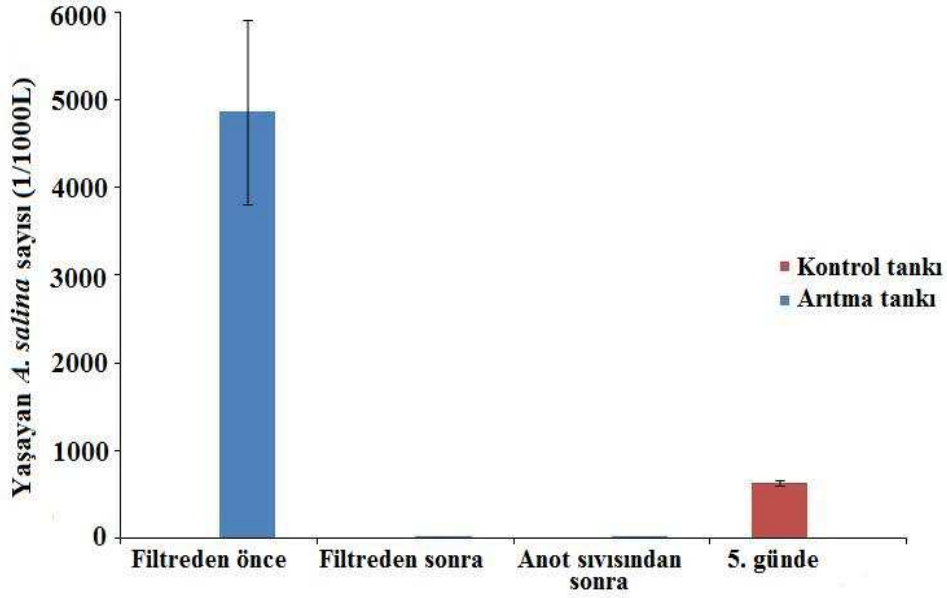
Pilot sistem testleri iki tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde testlerden sadece birinin sonuçlarına yer verilecektir. Bu sonuçlar proje ortaklarından *Newcastle Upon Tyne Üniversitesi* tarafından hazırlanan proje raporundan alınmıştır (BaWaPla, D 5.3). Söz konusu testte kullanılan anot sıvısı ve arıtma tankında ölçülen parametreler Çizelge 6.9 ile verilmektedir.

Çizelge 6.9 :Pilot sistem testlerinde ölçülen parametreler.

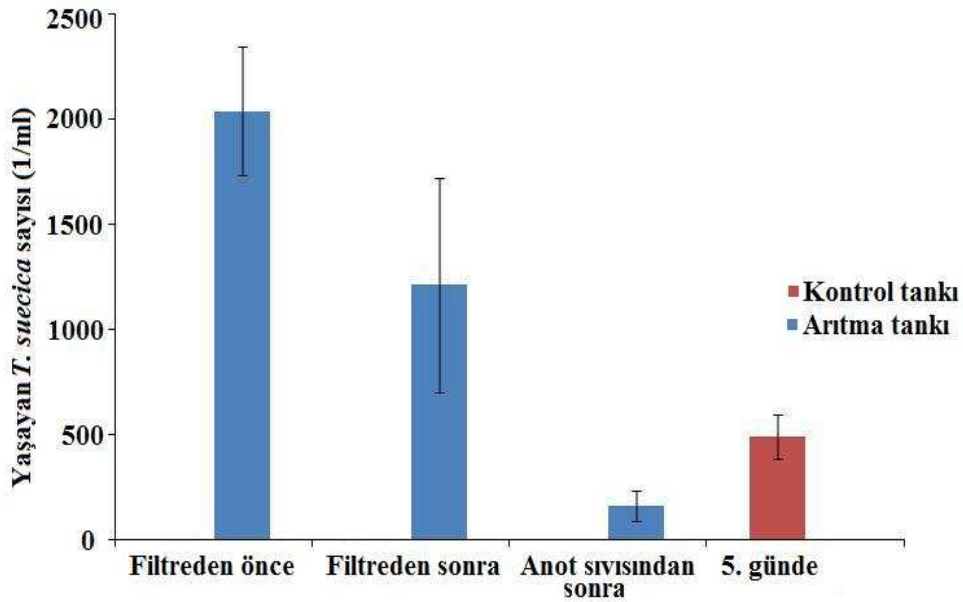
	Serbest Hazır Klor (mg/L)	pH	Sıcaklık (°C)	Redoks Potansiyeli (mV)
Üretilen anot sıvısı	160,4	5,6	12	948
Arıtma tankı (0. gün)	3,56	7,5	12,4	786
Arıtma tankı (5. gün)	0,14	7,7	12,9	388

Deneyde anot sıvısı, deniz suyunda %11,9 oranında bulunacak şekilde karıştırılarak arıtma tankında başlangıçta 3,56 mg/L serbest hazır klor sağlanmıştır. Testlerde birincil arıtımı gerçekleştiren filtre, *Artemia salina* gideriminde oldukça iyi sonuçlar vermiştir (Şekil 6.73), ancak bakterilerin azalmasında belirgin bir etki sağlayamamıştır. Bununla birlikte ikincil arıtımı yapan anot sıvısı, *T. Suecica* dâhil olmak üzere (Şekil 6.74), filtreden geçebilen organizmaların giderilmesinde oldukça etkili olmuştur. Anot sıvısı eklemesinin ardından hemen aynı gün yapılan mikrobiyolojik ekimlerde inkübasyon sürelerinin sonunda herhangi bir koloni

yapabilen birime rastlanmamıştır. Anot sıvısı eklemesinin 5. gününde yapılan mikrobiyolojik ekimlerde ise inkübasyon sürelerinin sonunda *Vibrio* sayımında yine herhangi bir koloni yapan birime rastlanmazken Coliform, *Pseudomonas* cinslerinde ve bazı heterotrofik bakterilerde yeniden hareketlenme belirlenmiştir.



Şekil 6.73 :Arıtma sonrası yaşayan *A. salina* sayısı (BaWaPla, D 5.3'den uyarlanmıştır).



Şekil 6.74 :Arıtma sonrası yaşayan *T. suecica* sayısı (BaWaPla, D 5.3'den uyarlanmıştır).

Pilot tesis deneylerinde elde edilen veriler bütün olarak değerlendirildiğinde, deniz suyunun özellikleri ve organizma yükü gibi test koşullarında, arıtma tankında başlangıçta 3-3,5 mg/L SHK sağlanacak şekilde anot sıvısı eklendiğinde, söz konusu

organizmaların gideriminde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği dikkati çekmektedir. Beş günlük test süresi sonunda arıtma tankındaki SHK derişimi de oldukça düşük seviyelere inmiştir. (Çizelge 6.9). Gerek mikroorganizmalarda elde edilen yüksek giderim oranı, gerekse SHK’da tespit edilen düşüş Doktora çalışması esnasında elde edilen laboratuvar sonuçlarının işaret ettiği doğrultudadır (bkz. Bölüm 6.5)

Blyth’da gerçekleştirilen testlerde filtre-UV ikilisi ile de proje kapsamında başarılı sonuçlar elde edilmiş ve projenin bu kısmından sorumlu ortaklar tarafından rapor edilmiştir.

Sonuç olarak Blyth-İngiltere’de yapılan testlerde gemi koşulları başarılı bir şekilde simule edilerek pilot sistem test edilmiştir. Test sonuçlarına göre filtre sonrasında ikinci arıtımı gerçekleştiren anot sıvısı ve UV ile ayrı ayrı başarılı sonuçlar elde edilerek IMO standartları sağlanmıştır. Bu testler bir adet üçlü karma sistem (filtre + UV + elektrokimyasal) yerine iki farklı ikili karma sistemin de (filtre + UV ve filtre + elektrokimyasal) başarılı olduğunu göstermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Balast suyu arıtımı için son 10-15 yılda geliştirilen ve kullanılan sistemlerde mekanik, fiziksel ve kimyasal prensiplere dayanan birçok seçenek göz önünde bulundurulmuştur. Üzerinde çalışılan yöntemlerden bazıları belli sucul canlılar üzerinde etkili olmasına rağmen hedef alınan tüm canlılar üzerinde etkili olabilecek belirli bir yöntem bulunamamıştır. Bu da bir kaç basamaktan oluşacak karma sistemlerle, kurulacak sistemin esnekliği artırılmasının ve hedef alınan organizma yelpazesinin genişletilmesinin önemini göstermektedir.

Bu doktora çalışması 15.11.2006-15.05.2010 tarihleri arasında Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı tarafından desteklenen 031529 kontrat numaralı bir araştırma projesi olan BaWaPla Projesi kapsamında tamamlanmıştır. Bu projeye UV ve filtre gibi bilinen balast suyu arıtımı teknolojilerinin yanı sıra, deniz suyunun elektrolizini gerçekleştirecek yeni bir elektrokimyasal teknolojinin de dâhil olduğu karma bir balast suyu arıtma sisteminin hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. Bu karma sistem içindeki her bir bileşenin IMO ve MEPC tarafından işaret edilen farklı biyolojik hedeflerin etkisizleştirilmesinde görev alması amaçlanmıştır. Proje sonunda hem üçlü karma sistemin (filtre+UV+elektrokimyasal sistem), hem de ikili kombinasyonların (filtre+UV ve filtre+elektrokimyasal sistem) ayrı ayrı test edilebileceği bir pilot sistem inşa edilerek Blyth-İngiltere’de test edilmiştir. Bu doktora çalışması da BaWaPla Projesi kapsamında elektrokimyasal teknolojilerin kullanıldığı sistemde, deniz suyunun elektrolizi ile dezenfektan üretiminin gerçekleştiği elektrokimyasal hücrelerin geliştirilme ve optimizasyon aşamasındaki laboratuvar çalışmalarını ve bu çalışmaların değerlendirmelerini içermektedir.

Balast suyu dezenfeksiyonu için önerilen kimyasalların (ozon, klor, hidrojen peroksit ve diğer bazı dezenfektanların) gemi üzerinde depolanması ve kullanılması mürettebat güvenliği ve çevre açısından bazı riskler içermektedir. Bu kimyasallar için ayrılacak depolanma alanı ise gemi üzerinde mekân kısıtlaması nedeni ile problem olmaktadır. Bu nedenle balast suyu dezenfeksiyonu için dışarıdan kimyasal eklenmesi yerine, klor dezenfeksiyonunda önemli bir rol oynayan serbest hazır klor

bileşiklerinin (HOCl ve OCl^-) gemi üzerinde elektrolitik olarak yerinde (*in-situ*) üretimi önemli avantajlar içermektedir. Öncelikle bu kimyasalların depolanması için özel alan ihtiyacının ortadan kalkarken, taşınmaları ve kullanılmaları esnasında karşılaşılabilecek problemler de ortadan kaldırılacaktır.

Balast suyu arıtımını tamamlayacak dezenfektanın farklı deniz suyu özelliklerinde optimum performans gösterecek şekilde üretilmesi gerekmektedir. Elektrokimyasal yöntemle üretilen dezenfektanın yapısı elektroliz edilecek sıvının kimyasal içeriğine, elektroliz hücresi tasarımına, elektrotlar ve membran seperatör için seçilecek malzemeye ve elektriksel akım gibi işletim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Doktora çalışması kapsamında Proje sürecinde iki yıllık dönemde birbirinden farklı şekilde tasarlanmış 5 elektroliz hücresi ile çalışılmıştır. Bu süre zarfında öncelikli olarak elektroliz hücresi performansları test edilmiş, nihai olarak BaWaPla sisteminde yer alacak elektroliz hücresi belirlenmiştir. Elektroliz hücre belirlenmesinin yanı sıra dezenfektan üretiminde kullanılacak su ile (elektrolit) ile ilgili hücre dışı bazı etmenlerin üretilen dezenfektan sıvı üzerindeki etkisi araştırılmıştır ve üretilen dezenfektanın farklı koşullarda değişimi incelenmiştir. Bunlara ek olarak dezenfektan sıvının biyolojik etkinliğinin belirlenmesi için bir takım mikrobiyolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında ulaşılan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1- Elektroliz hücrelerin performansları değerlendirildiğinde gerek elektrot geometrisi gerekse kullanılan malzeme bakımından en uygun elektroliz hücresinin EC100 Nr. 201 olduğu belirlenmiştir. Benzer işletim koşullarında en yüksek klor derişimine sahip dezenfektan üretimi bu hücre ile gerçekleştirilmiştir. Bu hücrenin kutupları ters yönde çalıştırıldığında, elektrot temizliğinin yanı sıra dezenfektan üretimine devam edilebilmesi önemli bir avantajdır. Sistemin kullanılacağı gemiye bağlı olarak bu hücrenin boyutlandırılması, gerekirse seri bağlanarak sistemin balast suyu arıtım kapasitesi ve performansının artırılması mümkündür.
- 2- Deniz suyunun elektrolizi ile üretilen dezenfektanın toplam ve serbest hazır klor derişimi, yani etkinliği, elektroliz hücresinde sağlanan akım şiddetindeki artış ile artmaktadır

- 3- Elektroliz sonunda elde edilen dezenfektanın içeriği, dezenfektan üretiminde kullanılacak deniz suyu tuzluluğu ile doğrudan ilişkilidir. Deniz suyu tuzluluğunun artması üretilen dezenfektanın etkinliğini arttırmaktadır. Bununla birlikte deniz suyu tuzluluğu hücre içerisinde sağlanan akım şiddeti üzerinde de etkilidir. Benzer işletim koşullarında farklı elektrolit tuzlulukları ile çalıştırıldığında sistemde sağlanan akım şiddeti tuzluluğa bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır.
- 4- Dezenfektan üretim hızı, deniz suyunun elektroliz hücresinden geçerken elektrokimyasal tepkimenin gerçekleştiği alanda kalış süresini belirlemektedir. Üretim hızı arttıkça, bu süre kısaltmakta buna bağlı olarak üretilen dezenfektanın kalitesi düşmektedir.
- 5- Deniz suyu sıcaklığı, alınacak balast suyunun gerek mevsimsel olarak gerekse bölgesel olarak değişen en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Ancak elektroliz edilecek deniz suyunun sıcaklığının sistem verimi üzerinde belirgin bir etkisi yoktur.
- 6- Deniz suyunda mevcut Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi iyonlar elektroliz hücrelerinin elektrotları üzerinde birikerek tabaka oluşmasına ve anolit-katolit bölmeleri arasındaki membranda tıkanmalara neden olmaktadır. Bunun sonucunda herhangi bir sertlik derecesinde dezenfektan üretimi süresince elde edilen dezenfektanların kalitesi değişmekte, süre ilerledikçe düşmektedir. Bu nedenle elektrotlar üzerindeki söz konusu tabakalaşmanın ve membran üzerindeki birikmelerin giderilebilmesi için elektroliz hücresinin kutuplarının belirli aralıklarla ters yönde çalıştırılması gerekmektedir.
- 7- Amonyak, yerleşim yerlerine yakın kıyı bölgelerinden alınacak balast sularında evsel atık deşarjları nedeni ile yüksek derişimlerde bulunma olasılığı olan bir kirleticidir. Deniz suyunun içereceği amonyak derişimine bağlı olarak, bu suyla üretilecek dezenfektanın toplam ve serbest klor derişimleri, yani kalitesi, düşecektir. Daha sonra üretilen dezenfektandaki serbest hazır klorun bir kısmı, arıtılacak balast suyundaki amonyakla tepkimeye gireceği için serbest hazır klor miktarında ikinci bir düşüş olacaktır. Sonuç olarak deniz suyunda çözünmüş olarak bulunan amonyak ve amonyum tuzları gerek dezenfektan üretimini gerekse dezenfeksiyon sürecini

etkileyecektir. Bu nedenle alınan balast suyundaki amonyak derişimindeki artış, daha çok dezenfektan kullanımı ihtiyacı doğuracaktır.

- 8- Dezenfektan anot sıvısı, gemi üzerinde deniz suyundan üretilmesi halinde depolanmadan doğrudan balast akımına verilerek kullanılmadır. Anot sıvısının içerdiği toplam ve serbest hazır klor bileşikleri zamanla bozunmakta ve anot sıvısının etkinliği bekleme süresince değişmektedir. Bu süre dezenfektanın üretileceği deniz suyunun içeriğine bağlı olarak değişmekle birlikte saatler düzeyindedir. Dezenfektan gemi üzerinde bekletilecekse güneş ışığına maruz bırakılmamalıdır. UV radyasyonu bozunmayı hızlandırmaktadır.
- 9- Anot sıvısının deniz suyuna eklendikten sonraki etkinlik süresi, söz konusu deniz suyuna bağlı olmakla birlikte saatler düzeyindedir. Bu nedenle balast suyu dezenfeksiyonunda temas süresi ve doz ayarlaması yapılması gerekmektedir.
- 10- Anot sıvısı deniz suyunda mevcut mikroorganizmaların gideriminde çok yüksek etkiye sahiptir. Bu etki anot sıvısının içerdiği klor derişimine bağlı değişmektedir. BaWaPla sisteminde kullanılan hücreler, yüksek derişimde klor içeren dezenfektan üretme yeteneğine sahiptir.
- 11- Anot sıvısı ile arıtılan balast suyu denize deşarj edildiğinde hala düşük derişimlerde bağlı ve serbest hazır klor içerebilir. Çevresel açıdan değerlendirildiğinde anot sıvısının çabuk bozunması ve güneş ışığının bu bileşiklerin bozunmasını hızlandırması anot sıvısının olumlu bir özelliğidir.
- 12- Gemi üzerinde üretilcek anot sıvısı değişen işletim koşulları ve deniz suyu özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Laboratuvar verileri ile oluşturulacak modellerin sistem otomasyonunda kullanılması farklı durumlarda uygun dezenfektan üretimi sağlayacaktır.

Bu doktora çalışması kapsamında elektroliz hücre performansları ve üretilen dezenfektanla ilgili yapılan değerlendirmeler ışığında BaWaPla projesinde kullanılmak üzere yeni bir hücre geliştirilmiştir. Bu elektroliz hücresi BaWaPla pilot sisteminde yer alan elektrokimyasal bileşende test edilmiştir. Bu çalışmada yapılan değerlendirmelerin yanı sıra proje ortaklarından *Newcastle Upon Tyne Üniversitesi*

tarafından gerçekleştirilen biyolojik testlerin sonuçları da dikkate alınarak, pilot sistemin işletim parametreleri belirlenmiştir.

Pilot sistem testleri Blyth-İngiltere’de gerçekleştirilmiştir. Testlerde G8 rehberlerinde belirtilen boyutlara uygun olarak $\geq 50\mu\text{m}$ organizmaları temsil eden tuzlu su karidesi *Artemia salina*, $\geq 10 < 50$ organizmaları temsil eden tek hücreli yeşil alg *Tetraselmis suecica* ve test sahasından temin edilen ve 7 farklı cinse (*Vibrio*, *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Pseudoaltromonas*, *Serratia*, *Bacillus*, *Tenacibaculum*, *Proteus* ve *Cytophage*) ait olan yaklaşık 40 bakteri izolatu kullanılmıştır. Organizmaların arıtılacak balast suyunda bulunma yoğunluklarında da yine G8 rehberinde istenen minimum şartlarda sağlanmıştır. Gerçekleştirilen testlerde bu organizmaların giderimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Benzer başarı, BaWaPla projesinde geliştirilen diğer sistem olan filtre ve UV kombinasyonu ile de yakalanmıştır. Her iki sistem de IMO tarafından imzaya açılan “Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi” sözleşmesinde yer alan deşarj standartlarını sağlamıştır. BaWaPla sistemlerinin her ikisi de IMO onayına hazır durumdadır. Bununla birlikte sistemin kombinasyonları için izlenmesi gereken onay süreci farklıdır.

BaWaPla sistemlerinden filtre ve UV kombinasyonu aktif madde kullanmadığı için, taraf devlet idaresi tarafından verilecek “Tip Onay Sertifikası”nın alınmasıyla bu sistem için onay süreci sonlanacaktır. Ancak BaWaPla sistemlerinden aktif madde kullanan filtre-elektrokimyasal sistem ikilisi için bu süreçlerinin uzunluğu ve maliyeti, aşılması gereken önemli bir problemdir.

BaWaPla sisteminde kullanılacak elektrokimyasal hücrenin geliştirilmesi, optimizasyonu ve en uygun çözümün belirlenmesi ile bu doktora çalışması hedefine ulaşarak BaWaPla projesinin uluslararası platformda başarılı olmasına önemli katkılar sağlamıştır. Buna ek olarak BaWaPla Sisteminin onaylanması halinde, sistem farklı tipte gemilerde, değişen deniz suyu ve işletim koşullarında çalıştırılacaktır. Doktora çalışma kapsamında elde edilen veri ve bilgiler, ilerleyen zamanda da sistem otomasyonu için kullanılmaya devam edecektir.

Bununla birlikte bu çalışma, elektrokimyasal hücre ile deniz suyundan dezenfektan elde edilmesi esnasında birçok parametrenin göz önünde bulundurulması gerekliliğini ortaya koymakta, yapılacak yeni laboratuvar çalışmalarının önemini göstermektedir. Özellikle elektrokimyasal hücre tasarımında kullanılan malzeme,

elektrot yüzey alanı, elektrot kutuplarının farklı akım yönünde kullanımının dışında, birçok hücre dışı etmen de üretilen dezenfektanın etkinliğinde belirleyici olmaktadır. Bu doktora çalışması esnasında takip edilen ısı, ışık, UV radyasyonu, Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları ve amonyak bileşiklerinin etkilerinin yanı sıra balast suyunda bulunabilecek diğer organik kirleticilerin ve elektrot üzerinde çökelti oluşturabilecek diğer iyonlarının etkilerinin araştırılması ve bunların etkilerinin modellenmesi, sistem otomasyonunun mükemmelleşmesini sağlayacaktır.

Türk deniz alanlarına yıllık ortalama 23 milyon ton balast suyu taşındığı tahmin edilmektedir ve bu taşınımın 10 milyonu sadece İstanbul Bölge Müdürlüğü altında yer alan limanlara gerçekleşmektedir (Olgun ve diğ., 2009). Türkiye'nin Gemilerin Balast Suları ve Sedimanının Kontrolü ve Yönetimi Sözleşmesi'ni 2011 senesinde imzalaması için karar verilmiş olup gerekli süreç başlatılmıştır (Korçak, 2010). Sözleşmenin yürürlüğe girmesi ile yaklaşık 900 Türk Bayraklı gemiye arıtım cihazı takma zorunluluğu gelecektir (Olgun ve diğ., 2009). Ancak Balast suyu yönetimi konusunda ülkemizde şu ana kadar yapılmış olan bilimsel araştırmalar ve teknoloji geliştirme girişimleri oldukça sınırlı düzeylerde kalmıştır. Gerek arıtım cihazlarının var olan ve yeni inşa gemilere dahil edilmesi esnasında gerekse, bu cihazların onay süreçlerinde önemli bir bilgi birikimi ihtiyaç olacaktır. Bu doktora çalışması ile kazanılan deneyim bu bilgi açığının giderilmesi için de önemlidir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Wahab, S. A. ve Al-Wesbahi, M. A.,** 2009. Brine Management Substituting Chlorine with On-Site produced sodium hypochlorite for Environmentally Improved Desalination Processes, *Water Resouce Management*, **23**, 2437-2454.
- Aguirre-Macedo, M.L., Vidal-Martinez, V. M., Herrera-Silveira, J. A., Valdés-Lozano, D.S., Herrera-Rodríguez, M., Olvera-Novoa, M.A.,** 2008. Ballast water as a vector of coral pathogens in the Gulf of Mexico:nThe case of the Cayo Arcas coral reef, *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 1570–1577.
- Akdoğan, R.,** 1975. *İngilizce-Türkçe Ansiklopedik Denizcilik Sözlüğü*, İstanbul.
- Andruschenko, A., Dukhanin A., Rabotnyov, V., Skanunov Y., Tishkin, S.,** 2004. Hydrodynamic transonic treatment and filtration of ship ballast water. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 264-270.
- Anlar Güneş, Ş.,** 2007. Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi ve Deniz Çevresinin Korunması, *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, **56**, 1-37.
- Aliotta, J. Rogerson, A., Campbell, C.B., Yonge, M.,** 2003. Ballast water treatment by electro-ionization. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p: 61-69.
- Armstrong, G.,** 2003. Ballast system design for flow through exchange of ballast water. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p:162-166.
- Asano, T., Burton F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G.,** 2007. *Water reuse: issues, technologies, and applications*, Metcalf&Eddy, Inc., ABD.
- Avrupa Birliği Komisyonu,** 2006. Towards a future Maritime Policy for the Union: A European vision for the oceans and seas, Green Paper, COM(2006) 275 final, Volume II-Annex, 6 Temmuz 2006, Brüksel.
- Azar Daryany, M. K., Massudi, R., Hosseini, M.,** 2008. Photoinactivation of *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* Suspended in Phosphate-Buffered Saline-A Using 266- and 355-nm Pulsed Ultraviolet Light, *Current Microbiology*, **56**, 423-428.

- Bai, X., Zhang, Z., Bai, M., Yang, B., Bai, M.,** 2005. Killing invasive species of Ship's ballast water in 20t/h system using hydroxyl radicals, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, **25**, no:1, February.
- Bailey, S. A,** 2004. Sediments as a dispersal vector of a aquatic invertebrates: an estimation of propagule pressure associated with 'no ballast on board' vessels, Doktora Tezi, University of Windsor, Faculty of Graduate Study and Research, Windsor, Ontario, Kanada.
- Bailey, S. A., Nandakumar, K., Duggan, I.C., van Overdijk, C.D.A, Johengen, T.H., Reid, D.F., MacIsaac, H.J.,** 2005. In situ hatching of invertebrate diapausing eggs from ships' ballast sediment, *Diversity and Distributions*, **11**, 453-460.
- Bailey, S. A., Nandakumar, K., MacIsaac, H.J.,** 2006. Does saltwater flushing reduce viability of diapausing eggs in ships ballast sediment, *Diversity and Distributions*, **12**, 328-335.
- BaWaPla, D 3.2,** The assembly of the full-scale BaWaPla system, Yazarlar: Pazouki, K. ve diğ., (www.bawapla.com).
- BaWaPla, D 3.4,** The Biological effectiveness of the BaWaPla system, Yazarlar: Carney, K. J. ve diğ., (www.bawapla.com).
- BaWaPla, D 3.5,** BaWaPla system improvement and optimization, Yazarlar: Pazouki, K. ve diğ., (www.bawapla.com).
- BaWaPla, D 4.2,** Simulation analysis and development of control algorithm, Yazarlar: Pazouki, K. ve diğ., (www.bawapla.com).
- BaWaPla, D 5.3,** Biological, technical and operational assessment and recommendations for system's operational optimization, Yazarlar: Carney, K. J. ve diğ., (www.bawapla.com).
- Bax N., Williamson, A., Agüero, M., Gonzalez, E., Geeves, W.,** 2003. Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity, *Marine Policy*, **27**, 313-323.
- BD,** 2009. *Difco & BBL Manual, Manual of Microbiological Culture Media*, ikinci baskı, ISBN 0-9727207-1-5, Becton, Dickinson and Company, Maryland, ABD.
- Berkem A. R., Baykut S.,** 1980. *Fizikokimya*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Bearman, G. (Ed),** 1989. *Seawater: Its Composition, Properties and Behaviour*: Pergamon Press, New York, ABD.
- Bilgin, B.,** 2008. Türkiye'nin Akdeniz'de Balıkçılık Yönetimi Çerçevesinde Avrupa Birliği Ortak Balıkçılık Politika'sına uyumu, AB Uzmanlık Tezi, T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Dış İlişkiler ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Bilgin Güney C., Yonsel F.,** 2008. Balast Suyu arıtımında .alternatif Yöntemler, *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik kongresi*, 24-25 Kasım 2008, İstanbul, Bildirler Kitabı, Cilt 1.

- Bilgin Güney, C. ve Yonsel, F.**, 2009. Onboard electrochemically generation of disinfectant for ballast water treatment, *13th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean IMAM 2009*, İstanbul, 12-15 Ekim. 2009.
- BM Enformasyon Merkezi**, 2001. Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi, BM Enformasyon Merkezi UNIC, Ankara, 5 Nisan.
- Boldor, D., Balasubramanian, S., Purohit, S., Rusch, K.A.**, 2008. Design and implementation of a high continuous microwave heating system for ballast water treatment, *Environmental Science and Technology*, **42**, 4121-4127.
- Browning Jr., W. J. ve Browning III, W. J.**, 2003. Ballast treatment by de-oxygenation – The AquaHabistat™ System. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p:51-60.
- Browning Jr., W.J., Davis, J. P., Browning III, W. J.**, 2004. Progress report on AquaHabistat deoxygenation system. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 26-33.
- Cangelosi, A.A., Knight, I.T., Balcer, M., Wright, D., Dawson, R., Blatchley, C., Reid, D., Mays, N., Taverna, J.**, 2003. The Great Lakes Ballast Technology Demonstration Project: Biological effectiveness test program (including *MV Regal Princess* trials). In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p:88-94.
- Carlton, J. T.**, 1979. History, biogeography, and ecology of the introduced marine and estuarine invertebrates of the Pacific Coast of North America, Doktora Tezi, Ecology in The Graduate Division, University of California, Berkeley, ABD.
- Cevik C., Yokes, M.B., Cavas, L., Erkol, L.I., Derici, O.B., Verlaque, M.**, 2007. First report on *Caulerpa taxifolia* (Bryopsidales, Chlorophyta) on the Levantine Coast (Turkey, Eastern Mediterranean), *Eustarine, Coastal and Shelf Science*, **74**, 549-556.
- Chu, K.H., Tam, P. F., Fung, C. H., Chen, Q. C.**, 1997. A biological survey of ballast water in container ships entering Hong Kong, *Hydrobiologia*, **352**, 201-206.
- Cirik, Ş. ve Akçalı, B.**, 2004. Denizel ortamda yabancı türlerin taşınıp yerleşmesi: biyolojik istilanın kontrolü, hukuksal, ekolojik ve ekonomik yönleri, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, **19**, 507-527.

- Cluskey, D.K.M., Holdø A.E., Calay, R.K.**, 2005. A critical review of ballast water treatment techniques currently in development, *ENSUS 2005, 3rd International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, Newcastle, UK, 13-15 Nisan.
- Cluskey, D.K.M ve Holdø A.E.**, 2009. Optimizing the hydrocyclone for ballast water treatment using computational fluid dynamics, *International Journal of Multiphysics*, **3**, 221-234.
- Cohen, A.N.**, 1996. Biological invasions in The San Fransisco Eustary: a comprehensive regional analysis, .Doktora Tezi, Energy and Resources in The Graduate Division, University of California, Berkeley, ABD.
- Cordell, J. R., Lawrence, D.J., Ferm, N.C., Tear L.M., Smith, S.S., Herwig, R.P.**, 2009. Factors influencing densities of non-indigenous species in the ballast water of ships arriving at ports in Puget Sound, Washington, United States, *Aquatic Conservation: Marine and Fresh Water Ecosystems*, **19**, 322-343.
- Cutler, S. J. Cutler, H.G., Glinski, J., Wright, D., Dawson, R., Lauren, D.**, 2004. SeaKleen[®], a potential product for controlling aquatic pests in ships' ballast water. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 164-174.
- Dang, K., Yin, P., Sun, P., Xiao, J., Song, Y.**, 2004. Application study of ballast water treatment bt electrolyzing seawater, In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 103-110.
- Delaedt Y. Daneels, A., Declerck, P., Behets, J., Ryckeboer, J., Peters, E., Ollevier, F.**, 2008. The impact of electrochemical disinfection on escheria coli and Legionella pneumophila in tap water, *Microbial Research*, **163**, 192—199.
- de Lafontaine, Y. Despatie, S.P., Wiley, C.**, 2008. Effectiveness and potential toxicological impacts of the Peraclean[®] Ocean ballast water treatment technology, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **71**, 355-369.
- de Lafontaine, Y., Despatie, S.P., Veilleux, E', Wiley, C.**, 2009. Onboard ship evaluation of the effectiveness and the potential environmental effects of Peraclean[®] Ocean for balast water treatment in very cold conditions, *Environmental Toxicology*, **24**, 49-65.
- Derek, K. G., Duggan, I.C., MacIsaac., H.J.**, 2006. Can sodium hypochlorite reduce the risk of species introductions from diapausing invertebrate eggs in non-ballast ships?: *Marine Pollution Bulletin*, **52**, 689-695.
- Dickman, M. ve Zang, F.**, 1999. Mid-ocean Exchange of container vessl ballst water.2: Effects of vessel type in the transport of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, Mexico, to Hong Kong, China, *Marine Ecology Progress Series*, **176**, 253-262.

- Dobroski, N., Takata, L., Scianni, C., Falkner, M.,** 2007. Assessment of the efficacy, availability and environmental impacts of ballast water treatment systems for use in California waters, produced for California State Legislature, California State Land Commission Marine Facilities Division, California, A.B.D., December 2007.
- Dobroski, N. Scianni, C., Gehringer, D., Falkner, M.,** 2009. Assessment of the efficacy, availability and environmental impacts of ballast water treatment systems for use in California waters, produced for California State Legislature, California State Land Commission Marine Facilities Division, California, A.B.D., Ocak 2009.
- Dragsund, E., Andersen, A.B., Johannessen, B.O.,** 2003. Ballast water treatment by ozonation. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003, *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p: 21-30.
- Dragsund, E., Johannessen, B.O., Andersen, A.B., Nøklebye, J.O.,** 2004. Corrosion effects of ballast water treatment methods. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 291-299.
- Drees K. P., Abbaszadegan, M., Maier, R.M.,** 2003. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage, *Water Research*, **37**, 2291-2300.
- Endresen, Ø., Sörgård, E., Andersen, A.B., Bitner-Gregersen, E.,** 2002. Implications of open ocean ballast water exchange, *ENSUS 2002, International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, Newcastle, UK, 16-18 Aralık.
- Endresen, Ø., Sörgård, E., Behrens, H.L., Andersen, A.B.,** 2003. How much ballast?, Global Ballast Water management Programme, *Ballast Water News*, Issue 14, July – September 2003
- Endresen Ø., Behrens, H.L., Brynestad, S., Andersen, A.B., Skjong, R.,** 2004. Callenges in ballast water management, *Marine Pollution Bulletin*, **48**, 615-623.
- EPA,** 1999. Wastewater technology fact sheet Ultraviolet Disinfection, United States Environmental Protection Agency, **EPA 832-F-99-064**, Washington, ABD, September.
- Faimali, M. Garaventa, F., Chelossi, E., Piazza, V., Saracino, O.D., Rubino, F., Mariottini, G.L., Pane, L.,** 2006. A new photodegradable molecule as a low impact ballast water biocide: efficacy screening on marine organisms from different trophic levels, *Marine Biology*, **149**, 7-16.
- Falkner, M., Takata, L., Gilmore, S., Dobroski, N.,** 2007. 2007 Biennial report on .the California Marine Invasive Species Program, Produced fort he California State Legislature.

- Feng, C., Suzuki, K., Zhao, S., Sugiura, N., Shimada, S., Maekawa, T.,** 2004. Water disinfection by electrochemical treatment, *Bioresource Technology*, **94**, 21-25.
- Firestone, J. ve Corbett, J.J.,** 2005. Coastal and Port Environments: International Legal and Policy Responses to Reduce Ballast Water Introductions of Potentially Invasive Species, *Ocean Development & International Law*, **36**, 291–316.
- Fuchs, R., Steiner, N., de Wilde, I., Voigt, M.,** 2003. Peraclean® Ocean- a potential ballast water treatment option. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p:76-80.
- Fuchs, R., de Wilde, I.,** 2004. Peraclean® Ocean- a potentially environmentally friendly and effective treatment option for ballast water. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 175-180.
- Gollasch, S.,** 2006. Overview on introduced aquatic species in European and navigational and adjacent waters, *Helgol Mar. Res* , **60**, 84-89.
- Gollasch, S., David, M., Voigt, M., Dragsund, E., Hewitt, C., Fukuyo, Y.,** 2007. Critical review of the IMO international convention on the management of ships' ballast water and sediment, *Harmful Algae*, **6**, 585-600.
- Göktürk D.,** 2005. İstanbul Limanlarında Balast Suyu Örneklemeleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Temel Bilimleri Anabilim Dalı Deniz Biyolojisi Programı, İstanbul, Şubat 2005, Tez Danışmanı: Bayram Öztürk.
- Gray, D.,** 2007. Ballast water treatments to limit the transfer of nonindigenous species between freshwater ports, Yüksek Lisans Tezi, University of Windsor, Faculty of Graduate Study and Research, Windsor, Ontario, Kanada.
- Gregg, M. D., Hallegraeff, G. M.,** 2007. Efficacy of three commercially available ballast water biocides against vegetative microalgae, dinoflagellate cysts and bacteria, *Harmful Alge*, **6**, 567-584.
- Grigorovich I.A., Colautti, R.I., Mills, E.L., Holeck, K., Ballert, A.G., MacIsaac, H.J.,** 2003. Ballast-mediated animal introductions in the Laurentian Great Lakes: retrospective and prospective analyses, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **60**, 740-756.
- Guo M., Hu, H., Bolton, R. J., El-Din, M.G.,** 2009. Comparison of low- and medium-pressure ultraviolet lamps: Photoreactivation of *Escherichia coli* and total coliforms in secondary effluents of municipal wastewater treatment plants, *Water Research*, **43**, 815-821.

- Hallegraeff, G.M.**, 1998. Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies, *Marine Ecology Progress Series*, **168**, 297-309.
- Hallegraeff, G.M., Valentine, J.P., Marshall, J.A., Bolch, C.J.**, 1997. Temperature tolerance of toxic dinoflagellate cysts: application to the treatment of ships' ballast water, *Aquatic Ecology*, **31**, 47-52.
- Hamer, J. P., McCOLLIN, T. A., LUCAS, I.A N.**, 2000. Dinoflagellate Cysts in Ballast Tank Sediments: Between Tank Variability, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 731-733.
- Hammer M. J., Hammer M.J., Jr.**, 2004. *Water and Wastewater Technology*, Fifth Edition, Prentice-Hall, Inc., 2004, New Jersey, ABD.
- Hesse, K., Casey, M., Zhou, P., Aslan, F., Schmid, A., Leigh, A., Santos, A.**, 2004. The TREBAWA ballast water project. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 231-242.
- Hess-Erga O., Attramadal, K.J.K, Vadstein, O.**, 2008. Biotic and abiotic particles protect marine heterotrophic bacteria during UV and ozone disinfection, *Aquatic Biology*, **4**, 147-154.
- Hewitt, C. ve Campbell, M.L.**, 2007. Mechanisms for prevention of marine bioinvasions for better biosecurity, *Marine Pollution Bulletin*, **55**, 395-401.
- Hijnen, W.A.M., Beerendonk, E.F., Medema, G.J.**, 2006. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review, *Water Research*, **40**, 3 – 22.
- Holm, E. R. Stamper, D.M., Brizzolara, R.A., Barnes, L., Deamer, N., Burkholder, J. M.**, 2008. Sonication of bacteria, phytoplankton and zooplankton: Application to treatment of ballast water, *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 1201-1208.
- Husain, M. Felbeck, H., Apple, R., Altshuller, D., Quirmbach, C.**, 2004. Ballast water treatment by de-oxygenation with elevated CO₂ for a shipboard installation – a potentially affordable solution. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 48-64.
- Hülsmann, N. ve Galil, B.S.**, 2001. The effects of freshwater flushing on marine heterotrophic protists-implications for ballast water management, *Marine Pollution Bulletin*, **42**, 1082-1086.
- IMO**, 1998. MARPOL – 25 years, Focus on IMO, London, UK, October.
- IMO**, 1999. Focus on IMO, Alien invaders - putting a stop to the ballast water hitchhikers, IMO, International Maritime Organization, 25 Augustos 1999.

- IMO**, 2004. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, International Maritime Organization, London, UK, 14 Şubat.
- IMO**, 2008. Methodology for information gathering and conduct of work of the GESAMP-BWWG, BWM.2/Circ.13, 10 Haziran 2008.
- Joachimsthal, E.L., Ivano, V., Tay, S.T.-L., Tay, J.-H.**, 2004. Bacteriological examination of ballast water in Singapore Harbour by flow cytometry with FISH, *Marine Pollution Bulletin*, **49**, 334–343.
- Jofessen, K.D. ve Markussen, S.**, 2002. Biological de-oxygenation of ballast water, *ENSUS 2002, International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, Newcastle, UK, 16-18 Aralık.
- Johnson, J.M.**, 2001. Chlorine production from anhydrous hydrogen chlorine in a molten salt electrolyte membrane cell, Doktora tezi, Kimya Mühendisliği, Georgia Institute of Technology, Kasım 2001, ABD.
- Jonnalagadda, S. B. ve Nadupalli S.**, 2004. Effluent tretment using electrochemically bleached seawater-oxidative degradation of pollutants, *Talanta*, **64**, 18-22.
- Jorquera, A. M., Valencia, G., Eguchi, M., Katayose, M., Riquelme, C.**, 2002. Disinfection of seawater for hatchery aquaculture systems using electrolytic water treatment, *Aquaculture*, **207**, 213-224.
- Joyce, E., Phull, S.S., Lorimer, J.P., Mason, T.J.**, 2003. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. Astudy of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species, *Ultrasonic Sonochemistry*, **10**, 315-318.
- Jungfer, C., Schwartz, T., Obst, U.**, 2007. UV-induced dark repair mechanisms in bacteria associated with drinking water, *Water Research*, **41**, 188-196
- Kapalka, A. Katsaounis, A., Michels, N.L., Leonidova, A., Souentie, S., Comninellis, C., Udert, K.M.**, 2010. Ammonia oxidation to nitrogen mediated by electrogenerated active chlorine on Ti/ptO_x-IrO₂, *Electrochemistry Communications*, doi: 10.1016/j.elecom.2010.06.019.
- Karaminas, L.**, 2000. An investigation of ballast water management methods with particular emphasis on the risks of sequential method. *Lloyd's Register of Shipping*, June.
- Kazumi, J.**, 2007. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessel Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway, *Transportation Research Board Special Report 291*, prepared for Committee on the St. Lawrence Seaway, University of Miami, Florida, A.B.D. May 2007.
- Kerwick, M.I. Reddy, S.M., Chamberlain, A.H.L., Holt, D.M.**, 2005. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection?, *Electrochimica Acta*, **50**, 5270-5277.

- Khelifa, A., Moulay, S., Hannane, F., Benslimene, S., Hecini, M.,** 2004. Application of experimental design method to study the performance of electrochlorination cells, *Desalination*, **160**, 91-98.
- Kim, E., Shin, K., Kang, J.H., Pak, D., Lee, K.P., Lee, I.S., Rhie, K.,** 2006. Consideration on the environmental acceptability and biological effectiveness of the electrochemical disinfection system for ballast water management, Oceans 2006- Asia Pacific Conference, , Singapore, 16-19 May.
- Kim, E. Shin, K., Lee, K.P.,** 2008. Development of technologies on test facility and procedures for the land-based test as a type approval test at ballast water treatment system, *OCEANS'08 MTS/IEEE Kobe-Techno-Ocean'08 - Voyage toward the Future, OTO'08*, Kobe-Japan, 9-11 April 2008.
- Knowler D.,**2005. Reassessing the costs of biological invasion: Mnemiopsis leidy in Black Sea, *Ecological Economics*, **52**, 187– 199.
- Korçak, M.,** 2010. *Türk Boğazlarında Balast Suyu Yönetimi, Denizcilik Müsteşarlığı, Denizcilik Faaliyetleri, Marmara ve Türk Boğazlarında Çevresel Riskler Ve Alınabilecekler Tedbirler Konferansı*, 30 Temmuz 2010.
- Kornmueller, A.,** 2007. Review of fundamentals and specific aspects of oxidation technologies in marine waters, *Water Science & Technology*, **55**, no 12, 1-6.
- Kraft, A., Stadelmann, M., Blaschke, M., Kreysig, D., Sandt, B., Schröder, F., Rennau, J.,** 1999a. Electrochemical water disinfection Part 1: Hypochlorite production from very dilute chloride solutions, *Journal of Applied Electrochemistry*, **29**, 861-868.
- Kraft A., Blaschke, M., Kreysig, D., Sandt, B., Schröder, F., Rennau, J.,** 1999b. Electrochemical water disinfection Part 2: Hypochlorite production from potable water, chlorine consumption and the problem of calcareous deposits, *Journal of Applied Electrochemistry*, **29**, 895-902.
- Kriesel, I., Kolodny, Y., Cairns, W.L., Galil, B.S., Sasson, Y., Joshi, A.V., Cangelosi, A. Blatchley III, E.R., TenEyck, M.C., Blacer, M.D., Brodie, P.,** 2004. The ternary effect for ballast water treatment. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 5-18.
- Lavoie, D.M., Smith, L.D., Ruiz, G.M.,** 1999. The Potential for Intracoastal Transfer of Non-indigenous Species in the Ballast Water of Ships, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **48**, 551–564.
- Lee D.J. ve Gordon R.M.,** 2006. Economics of Aquaculture And Invasive Aquatic Species—An Overview, *Aquaculture Economics & Management*, **10**, 83–96.

- Leffler, C. E., Rogerson, A., Paul, W., Germaine, G., Elliot, M., Antonelli, V., Grubs, S., Campbell, C., Beall, G., Salamone, A.,** 2004. Electro-sanitization of ballast water. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 111-120.
- Leppäkoski E., Gollasch S.,** 2006. Risk assessment of ballast water mediated species introductions – a Baltic Sea Approach.
- Levings, C.D., Cordell, J.R., Ong, S., Piercey, G.E.,** 2004. The origin and identity of invertebrate organisms being transported to Canada's Pacific coast by ballast water, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **61**, 1–11.
- Lewis, P.N., Hewitt, C.L., Riddle, M., McMinn, A.,** 2003. Marine introductions in the Southern Ocean: an unrecognized hazard to biodiversity, *Marine Pollution Bulletin*, **46**, 213–223.
- Linden, D.,** 1995. *Handbook of Batteries*, Mc-Graw Hill Inc., USA., ISBN: 0-07-037921-1.
- Li X. Y., Ding, F., Lo, P.S.Y., Sin, S.H.P.,** 2002. Electrochemical disinfection of saline wastewater effluent, *Journal of Environmental Engineering*, August, 697-704.
- Li, L. ve Liu, Y.,** 2009. Ammonia removal in electrochemical oxidation: Mechanism and pseudo-kinetics, *Journal of Hazardous Materials*, **161**, 1010-1016.
- Liu, Y., Li, L., Goel, R.,** 2009. Kinetic study of electrolytic ammonia removal using Ti/IrO₂ as anode under different experimental conditions, *Journal of Hazardous Materials*, **167**, 959-965.
- Ma, Y., Xiong, H., Tang, S., Yang, Q., Li, M.,** 2009. Comparison of the community structure of planktonic bacteria Comparison of the community structure of planktonic bacteria, *Progress in Natural Science*, **19**, 947–953.
- Mackey, T.P., Tagg, R.D., Parsons, G.M.,** 2000. Technologies for ballast water management, *8th ICMES/SNAME New York Metropolitan Section Symposium*, New York, ABD, May 22-23.
- Mackey, T.P. ve Wright, D.A.,** 2002. A filtration and UV based ballast water treatment technology: Including a review of initial testing and lessons learned aboard three cruise ships and two floating test platforms, *ENSUS 2002, International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, Newcastle, UK, 16-18 Aralık.
- Mamlook, R., Badran, O., Abu-Khader, M.M., Holdo, A., Dales, J.,** 2008. Fuzzy sets analysis for ballast water treatment systems: best available control technology, *Clean Techn Environ Policy*, **10**, 397–407.
- Masschelein, W. J. ve Rice, R. G.,** 2002. *Ultraviolet light in water and wastewater sanitation*, ISBN 1-56670-603-3, CRC Press LLC, A.B.D.

- Matheickal, J.T., Waite, T.D., Mylvaganam, S.T.**, 2003. Ballast water treatment by filtration. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p: 7-20.
- Matousek, R. C., Hill, D.W., Herwig, R.P., Cordell, J.R., Nielsen, B.C., Ferm, N.C., Lawrence, D.C., Perrins, J.C.**, 2006. Electrolytic sodium hypochlorite system for treatment of ballast water, *Journal of Ship Production*, **22**, No:3, 160-171.
- Matsunaga, T. Nakayama, T., Wake, H., Takahashi, M., Okochi,M, Nakamura, N.**, 1998. Prevention of marine biofouling using a conductive paint electrode, *Biotechnology and Bioengineering*, **59**, no: 3, August 5, 1998, 374-378.
- McCharty, S. A. ve Khambaty, F. H.**, 1994. International dissemination of epidemic *Vibrio cholerae* by cargo ship ballast and other nonpotable waters, *Applied and Environmental Microbiology*, July 1994, 2597-2601.
- McConnell, M.**, 2002. Globallast Legislative Review-Final Report GloBallast Monograph Series No.1. IMO London UK.
- McCollin, T., Quilez-Badia, G., Josefsen, K.D., Gill, M.E., Mesbahi, E., Frid, C.L.J.**, 2007. Ship board testing of a deoxygenation ballast water treatment, *Marine Pollution Bulletin*, **54**, 1170-1178.
- McCollin, T., Shanks, A.M., Dunn, J.**, 2008. Changes in zooplankton abundance and diversity after ballast water exchange in regional seas, *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 834-844.
- McGee S., Piorkowski, R., Ruiz, G.**, 2006. Analysis of recent vessel arrivals and ballast water discharge in Alaska: Toward assessing ship-mediated invasion risk, *Marine Pollution Bulletin* (2006), doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.06.005.
- Medcof, J.C.**, 1975. Living Marine animals in a ships' ballast water, *Proceedings of the National Shellfisheries Association*, **65**, 11-12.
- MEPC**, 2008a. Procedure for approval of ballast water management systems that make use of active substances, RESOLUTION MEPC.169(57), Annex 1, adopted on 4 April 2008.
- MEPC**, 2008b. Guidelines for approval of ballast water management systems, RESOLUTION MEPC.174(58), Annex 4, adopted on 10 October 2008.
- MEPC**, 2010. Installation of Ballast Water Management Systems On New Ships In Accordance With The Application Dates Contained In The Ballast Water Management Convention (Bwm Convention), RESOLUTION MEPC.188(60), Annex 1, adopted on 24 March 2010.
- MESB (Michigan Environmental Science Board)**, 2002. Critical review of ballast water biocides treatment demonstration project using copper and sodium hypochlorite, A science report to Governor John Engler, Michigan, ABD, September.

- Mesbahi E.**, 2004. Latest results from testing seven different technologies under the EU MARTOB project-Where do we stand now?. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 210-231.
- Mesbahi E., Norman, R., Peng, M.W.C.**, 2007. An intelligent simulation model for design and costing on high temperature ballast water treatment systems, *Marine Technology*, **44**, no:3, 194-202 .
- Mimura H, Katakura R., Ishida H.**,2005. Changes of microbial populations in a ship's ballast water and sediments on a voyage from Japan to Qatar, *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005) 751–757.
- Minton, M.S., Verling, E., Miller, W.A., Ruiz, G.M.**, 2005. Reducing propagule supply and coastal invasions via ships: effect of emerging strategies, *Frontiers in Ecology and the Environment*, **3**, 304-308.
- Mountfort, D., Dodgshun, T., Taylor, M.**, 2003. Ballast water treatment by heat – New Zealand Laboratory & Shipboard trials. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p: 45-50.
- National Research Council**, 1996. Stemming The Tide Controlling Introductions of Nonindigenous Species by Ships' Ballast Water, Committee on Ships' Ballast Operations, Marine Board, Commission on Engineering and Technical Systems, National Academy Press, Washington, D.C., 1996.
- Nichols, D.**, 2001. Implications of the introduction and the transfer of non-indigenous marine species with particular reference to Canadian marine aquaculture, Yüksek Lisans Tezi, School of Graduate Studies, Marine Studies, Memorial University of Newfoundlandi October, Canada.
- Nilsen, B., Nilsen, H., Mackey, T.**, 2003. The OptiMar Ballast System. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p: 126-136.
- Niimi, A.J.**, 2000. Influence of vessel transit patterns on developing a ballast water treatment strategy for exotic species, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 253-256.
- Occhipinti-Ambrogi A., Savini D.**, 2003. Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems, *Marine Pollution Bulletin*, **46**, 542-551.
- Oemcke D., Mountfort D.**, 2001. Treatment of ballast water: Can we stop red tides arriving?, *NZWWA 2001 Annual Conference Papers*.

- Oemcke, D.J. ve van Leeuwen, J.**, 2003. Chemical and physical characterization of ballast water. Part 2: Determining the efficiency of ballast Exchange, *Journal of Marine Environmental Engineering*, **7**, 65-76.
- Oemcke, D. J., van Leeuwen, J. H.**, 2004. Seawater ozonation of *Bacillus subtilis* spores: implications for the use of ozone in ballast water treatment, *Ozone: Science and Engineering*, **26**, 389-491.
- Oemcke, D. J., van Leeuwen, J. H.**, 2006. Ozonation of marine dinoflagellate alga *Amphidinium* sp.- implications for ballast water disinfection, *Marine Pollution Bulletin*, **52**, 1023-1033.
- Oemcke, D. J. Parker, N., Mountfort, D.**, 2004. Effect of uv irradiation on viability of micro scale and resistant forms of marine organisms: implications for the treatment of ships' ballast water, *Journal of Marine Environmental Engineering*, **7**, 153-172.
- Oğur, R., Tekbaş, Ö.F., Hasde, M.**, 2004. Klorlama Rehberi (İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması), Gülhane Askeri Tıp Akademisi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara.
- Oğur R. ve Güler Ç.**, 2004. 21.nci Yüzyılda Niçin Klorlama?, *TSK Koruyucu Hekimik Bülteni*, **3**, 186-195.
- Okochi, M., Lim, T.-K., Nakamura, N., Matsunaga, T.**, 1997. Electrochemical disinfection of drinking water using an activated-carbon-fiber reactor capable of monitoring its microbial fouling, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **47**, 18-22.
- Olenin, S., Gollasch S., Jonuşas, S., Rimkute, I.**, 2000. En-Route Investigations of Plankton in Ballast Water on a Ship's Voyage from the Baltic Sea to the Open Atlantic Coast of Europe, *Internat. Rev. Hydrobiol.*, **85**, 577-596.
- Olgun, A., Korçak., M., Dönertaş, A.S., Günay, K., Kale, U., Buyuran T.**, 2009. Balast suyu ile taşınan zararlı sucul organizmaların kontrolü ve yönetimi, TUBITAK MAM ve Denizcilik Müsteşarlığı, Mayıs 2009.
- Panizza, M. ve Cerisola, G.**, 2000. Electrochemical Oxidation as a Final, Treatment of Synthetic Tannery, Wastewater, *Environmental Science and Technology*, **38**, 5470-5475.
- Parsons, M. G.**, 2003. Considerations in the design of primary treatment for ballast systems, *Marine Technology*, **40**, no: 1, 49-60.
- Parsons, M. G ve Harkins, R. W.**, 2000. The Great Lakes Ballast Technology Demonstration Project Filtration Mechanical Test Program, *Marine Technology*, **37**, 129-140.
- Parsons, M. G ve Harkins, R. W.**, 2002. Full-scale particle removal of three types of mechanical separation devices for the primary treatment of ballast water, *Marine Technology*, **39**, 211-222.
- Pazouki K., Mesbahi, E., Moloney, S.R., Carney, K.J., Delany, J.E.**, 2008. Modelling, simulation and optimisation of an onboard ballast water treatment system, *International Conference on Biofouling and Ballast Water Management*, 5-6 Şubat 2008, Goa Hindistan.

- Perrins, J. C., Cooper, W.J., van Leeuwen, J.H., Herwig, R.P.,** 2006a. Ozonation of seawater from different locations: Formation and decay of total residual oxidant - implications for ballast water treatment, *Marine Pollution Bulletin*, **52**, 1023-1033.
- Perrins, J. C., Cordell, J.R., Ferm, N.C., Grocock, J.L., Herwig, R.P.,** 2006b. Mesocosm experiment for evaluating the biological efficacy of ozone treatment of marine ballast water, *Marine Pollution Bulletin*, **52**, 1756-1767.
- Quilez-Badia, G., McCollin, T., Josefsen, K.D., Vourdachas, A., Gill, M.E., Mesbahi, E., Frid, C.L.J.,** 2008. On board short time high temperature treatment of balast water: A field trial under operational conditions, *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 127-135.
- Radan, D. ve Lovric, J.,** 2002. Ballast water heat treatment options and possibilities, 15th *International Symposium of Theory and Practice of shipbuilding SORTA 2002*, Trogir, Hirvatistan, 14-15 Kasım.
- Rajeshwar K. ve Ibanez J.G.,** 1997. *Environmental Electrochemistry Fundamentals and Applications in Pollution Abatement*, Academic Press, 1997, California.
- Raikow, D. F., Reid, D., Maynard, E.E., Landrum, P.F.,** 2006. Sensitivity of aquatic invertebrate resting eggs to SeaKleen[®] (menadione): A test of potential ballast tank treatment options, *Environmental Technology and Chemistry*, **25**, no.2, 552-559.
- Raaymakers, S.,** 2002a. IMO Ballast Water Update-2002, Ballast Water Paper 2002, IMO.
- Raaymakers, S.,** 2002b. The ballast water problem: Global ecological, economic and human health impacts, Paper presented at the *RECS/IMO joint seminar on ballast water management and technologies*, Dubai UEA 16-18 December 2002.
- Raaymakers S.,** 2004. Foreword, In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: iii-v.
- Ramaiah, N., Kolhe, V., Sadhasivan, A.,** 2004. Abundance of pollution indicator and pathogenic bacteria in Mumbai waters, *Current Science*, **87**, 25 August.
- Resmi Gazete,** 1996. Biyolojik Çeşitlik Sözleşmesi, 27 Aralık 1996, sayı: 22860.
- Rigby, G. Hallegraeff, G.M., Sutton, C.,** 1999. Novel ballast water heating technique offers cost-effective treatment to reduce the risk of global transport of harmful marine organisms, *Marine Ecology Progress Series*, **191**, 289-293.
- Rigby, G., Taylor, A., Hallegraeff, G.M.,** 2003. Ballast water treatment by heat. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p: 31-34.

- Rigby, G., Hallegraeff, G.M., Taylor, A.,** 2004. .Does Heat Treatment offer a superior ballast water treatment option?. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 67-79.
- Rigby, G. ve Taylor, A.,** 2001. Ballast water management and treatment options, *International Maritime Technology*, **113**, 79-99.
- Riley, J. P. ve G. Skirrow** [Ed], 1975. *Chemical Oceanography*, Cilt 1 (2. Basım), Academic Press.
- Röpell, H. ve Mann, T.,** 2004. A new modular concept for the treatment of ships ballast water-the Haman project. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 271-273.
- Ruiz, G.M., Murphy, K.R., Verling, E., Smith, G., Chaves, S., Hines, A.H.,** 2005. Ballast water exchange: Efficacy of treating ships's ballast water to reduce marine species transfers and invasion success?, Final Report submitted to: US Fish and wildlife service, American Petroleum Institute and Prince William Sound Regional Citizens' Advisory Council, 952.410.051110.BWE&NIS.doc.
- Salt, Y. ve Dinçer, S.,** 2006. Özel ayırma işlemlerinde bir seçenek, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2006/4, 1-23.
- Salvi, D. A., Boldor, D., Sabliov, C.M., Rusch, K.A.,** 2008. Numerical and experimental analysis of continuous microwave heating of ballast water as a preventive treatment for introduction of invasive species, *Journal of :Marine Environmental Engineering*, **0**, 45-64.
- Samsunlu, A.,** 2005. *Çevre Mühendisliği Kimyası*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Saracco, G. Solarino, L., Aigotti, R., Specchia, V., Maja, M.,** 2000. Electrochemical oxidation of organic pollutants at low electrolyte concentrations, *Electrochimica Acta*, **46**, 373–380.
- Sassi, J., Rytönen, J., Vuorio, S., Leppäkoski E.,** 2002. The development and testing of ultrasonic and ozon devices for ballast water treatment, *ENSUS 2002 - International conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, School of Marine Sciences and Technology, University of Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 16-18 December.
- Sawyer, C. N., McCarty, P.L., Parkin, G.F.,** 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*, Fourth edition, McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, New York.
- Smit, M. G. D. Ebbens, E., Jak, R.G., Huijbregts, M.A.J.,** 2008. Time and concentration dependency in the potentially affected fraction of species: The case of Hydrogen peroxide treatment of ballast water, *Environmental Technology and Chemistry*, **27**, no.3, 746-753.

- Souders, P. ve Stone, T.**, 2000. Global spread of microorganisms by ships Ballast water discharged from vessels harbours a cocktail of potential pathogens, *Nature*, **408**, 49-50.
- Srinivasan, S.**, 2006. *Fuel Cells From Fundamental to applications*, Springer Science+Business Media, New York, ABD.
- Stocks, D. T. O'Reilly, M., McCracken, W.**, 2004a. Treatment of ballast water in the NOBOB ship using heat. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 80-87.
- Stocks, D. T., O'Reilly, M., McCracken, W.**, 2004b. Sodium hypochlorite as a ballast water biocide. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, 137-148.
- Subba Rao D.V.**, 2005. Comprehensive review of the records of the biota of the Indian Seas and introduction of non-indigenous species, *Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems*, **15**, 117-146.
- Sutherland, T., Levings, C.D., Elliott, C.C., Hesse, W.W.**, 2001. Effect of ballast water treatment system on survivorship of natural populations of marine plankton, *Marine Ecology Progress Series*, **210**, 139-148.
- Sutherland, T., Levings, C.D., Elliott, C.C., Hesse, W.W.**, 2003. The influence of cyclonic separation and UV treatment on the mortality of marine plankton. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p:120-125.
- Tamburri, M.N., Wasson, K., Matsuda, M.**, 2002. Ballast water deoxygenation can prevent aquatic introductions while reducing ship corrosion, *Biological Conservation*, **103**, 331-341.
- Tamburri, M.N., Little, B.J., Ruiz, G.M., Lee, J.S., McNulty, P.D.**, 2004. Evaluation of Venturi Oxygen StrippingTM as a ballast water treatment to prevent aquatic invasions and ship corrosion. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 34-47.
- Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F.**, 2006a. Crumb rubber filtration: a potential technology for ballast water treatment, *Marine Environmental Research*, **61**, 410-42.
- Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F.**, 2006b. The Effects of Various Factors on Ballast Water Treatment Using Crumb Rubber Filtration: Statistic Analysis, *Environmental Engineering Science*, **23**, 561-569.

- Tang ,Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F.,** 2009. Enhanced performance of crumb rubber filtration for ballast water treatment, *Chemosphere*, **74**, 1396-1399.
- Thornton, G.A., Chapman, J. E.,** 2004. The use of heat for ballast water disinfection – the AquaTherm method. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 88-102.
- Thurman, H.V.,** 1997. *Introductory Oceanography*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, ABD.
- Tosa, K., Hirata, T.,** 1999. Photoreactivation of enterohemorrhagic Escherichia coli following UV disinfection, *Water Research*, **33**, 361-366.
- TS-EN 973,** 2003. İçme ve Kullanma Sularının Arıtımında Kullanılan Kimyasallar-Sodyum Klorür-İyon Değiştiricilerin Rejenerasyonu İçin, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tsolaki, E., Pitta, P., Diamadopoulos, E.,** 2010. Electrochemical disinfection of simulated balast water using Artemi Salina as indicator, *Journal of chemical engineering*, **156**, 305-312.
- Tünay O.,** 1996. *Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler*, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1996, İstanbul.
- Tünay, O. ve Kabdaşlı, I,** 1996. *Fiziksel Kimya*, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1996, İstanbul.
- Tzankova, Z. P.,** 2007. Addressing ballast - mediated marine invasions in the United States and Australia: The science and politics of defining and managing ecological risks, Doktora tezi, Environmental Science, Policy and Management in Graduate Division, University of California, Berkley-A.B.D.
- van den Bergh, J.C.J.M., Nunes, P.A.L.D., Dotinga, H. M., Kooistra, W.H.C.F., Vrieling, E.G., Peperzak, L.,** 2002. Exotic harmful algae in marine ecosystems: an integrated biological–economic–legal analysis of impacts and policies, *Marine Policy*, **26**, 59–74.
- Vianna da Silva, J.S. ve da Costa Fernandez, F.,** 2004. Use of chlorine for ballast water treatment. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 158-163.
- Viitasalo, S., Sassi, J., Rytkönen, J., ,** 2005. Ozone, Ultraviolet Light, Ultrasound, and Hydrogen Peroxide As Ballast Water Treatments-Experiments with Mesozooplankton in Low Saline Brackish Water, *Journal of Marine Environmental Engineering*, **8**, 35-55.
- Vijayaraghavan, K., Ramanujam, T.K., Balasubramanian, N.,** 1999. In situ hypochlorous acid generation for the treatment of syntan wastewater, *Waste Management*, **19**,319-323.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J.M.,** 1997. Human Domination of Earth’s ecosystem, *Science*, 277,494-499.

- Voigtländer, F.**, 2010. Kişisel Görüşme.
- Vourdachas A. ve Mesbahi, E.**, 2002. Design and effectiveness of a high temperature thermal treatment for ballast water, *ENSUS 2002, International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, Newcastle, UK, 16-18 Aralık.
- Waite, T.D., Kazumi, J., Lane, P.V.Z., Farmer, L.L., Smith, S. G., Smith, S.L., Hitchcock, G., Capo, T. R.**, 2003. Removal of natural populations of marine plankton by a large-scale ballast water treatment system, *Marine Ecology Progress Series*, **258**, 51-63.
- Wake, H., Takahashi, H, Takimoto, T., Takayanagi, H., Ozawa, K., Kadoi, H., Okochi, M., Matsunaga, T.**, 2006. Development of electrochemical antifouling system for seawater cooling pipelines of power plant using titanium, *Biotechnology and Bioengineering*, **95**, No:3, 468-473.
- Weber Jr., J.W.**, 1972. *Physicochemical Process For Water Quality Control*, Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs.
- Woodward, J.B., Parsons, M.G, Troesch, A.W.**, 1994. Ship operational and safety aspects of ballast water exchange at sea, *Marine Technology*, **31**, no: 4, 315-326.
- Wonham, M.,J., Walton, W.J., Ruiz, G.M., Frese, A.M., Galil, b.S.**, 2001. Going to the source: role of the invasion pathway, in determining potential invaders, *Marine Ecology Progress Series*, **215**, 1–12.
- Wonham, M.,J. Bailey, S., MacIsaac, H.J., Lewis, M.A.**, 2005. Modelling the invasion risk of diapausing organisms transported in ballast sediments, *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, **62**, 2386-2398.
- Wright, D.A. ve Dawson, R.**, 2003. SeaKleen® - A potential natural biocide for ballast water treatment. In: Raaymakers, S. (Ed.), 2003. *1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London, p:73-75.
- Wright, D.A., Dawson, R., Mackey, T.P., Cutler, H.G., Cutler, S.J** , 2004. Some shipboard trials of ballast water treatment systems in the United States. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21–23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 243-257.
- Wright, D.A., Dawson, R., Cutler, S.J., Cutler, H.G., Orano-Dawson, C.E., Graneli, E.**, 2007. Naphtoquinones as a broad spectrum biocides for treatment of ships ballast water: toxicity to phytoplankton and bacteria, *Water Research*, **41**, 1294-1302.
- Wright, D.A. ve Mackey, T.P.**, 2006. Shipboard and dockside trials of ballast water treatment technology, *Naval Engineers Journal*, **118**, issue:3, 37-43.
- Xiao, S., Qua, J., Zhao, X, Liu, H., Wan, D.**, 2009. Electrochemical process combined with UV light irradiation for synergistic degradation of ammonia in chloride-containing solutions, *Water Research*, **43**, 1432-1440.

- Yonsel, F., Bilgin, C., Gülşen, C.,** 2000. İstinye Deresinin İstanbul Boğazına Taşıdığı Kirlilik. *UKMK-IV Bildiri Kitabı* 2. Cilt S, 769-774, 4-7 Eylül 2000, İstanbul Üniversitesi Avcılar-İstanbul ISBN: 975-404-615-8.
- Yonsel, F. ve Bilgin Güney, C.,** 2010. Electrochemical chlorine generation applications for ballast water treatment, *International Conference on ship design and operation for environmental Sustainability* 10 - 11 March 2010, RINA Hq, London, UK Bildiriler kitabı, sayfa: 95-103, ISBN: 978-1-905040-69-8.
- Zang, F. ve Dickman, M.,** 1999. Mid-ocean Exchange of container vessl ballst water.1: Seasonal factors affecting the transport of harmful diatoms and dinoflagellates, *Marine Ecology Progress Series*, **176**, 243-251.
- Zhang, S. Yang, C.D., Gong, W., Wang, Q., Xiao, J., Zhang, H., Wang, Q.,** 2004. Effects of the chlorination treatment for ballast water. In: Matheickal, J.T., Raaymakers, S. (Eds.), 2004. *2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, IMO, London, 21-23 July 2003: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.15. IMO: London, p: 148-157.
- Zhou, P., Leigh, T., Aslan, F., Hesse, K.,** 2005a, TREWABA system optimization and tests, *ENSUS 2005, 3rd International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability*, Newcastle, UK, 13-15 Nisan.
- Zhou, P., Leigh, T., Aslan, F., Hesse, K.,** 2005b. Design optimization and tests of TREWABA system an onboard treatment of ballast water, *Proceedings of the 12 th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean - IMAM 2005*, Lisboa, Portugal, 26-30 September, Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources- Guedes Soares, Garbatov & Foncesca (eds) 2005 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0415 39036 2, Vol: 2 1759-1766.
- Url-1** <www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/closindx.htm>, alındığı tarih 12.09.2009.
- Url-2** <<http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>>, alındığı tarih 17.09.2009
- Url-3** <<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>>, alındığı tarih 20.09.2009.
- Url-4** <<http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>>, alındığı tarih 20.09.2009.
- Url-5** <<http://www.cbd.int/convention/convention.shtml>> alındığı tarih 22.09.2009.
- Url-6** <<http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-06/official/cop-06-20-en.pdf>>, alındığı tarih 22.09.2009.
- Url-7** <<http://www.fao.org/fishery/ccrf/2/en>> , alındığı tarih 22.09.2009.
- Url-8** <<http://www.imo.org>> , alındığı tarih 12.02.2010.
- Url-9** <www.fumatech.com> , alındığı tarih 26.04.2010.
- Url-10** <<http://www.nodc.noaa.gov>>; alındığı tarih 06.10.2010.

EKLER

EK A: FTEC 100 ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

EK B: FTEC 500 ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

EK C: EC 100 Nr. 201 ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

EK D: EC 100 Nr. 240 ile gerçekleştirilen performans deneylerinin sonuçları

EK E: Deniz suyuna eklenen anot sıvısının değişimi

EK A

Çizelge A.1 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰10; Akım Şiddeti: 10 A (1. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			TK (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	730			10	1,8		1,8														
30	676			10	1,3		1,3			20,25			4			5100			6,64		
120	819			10	3,8		3,8			59,75			6,75			4700			5,72		

Çizelge A.2 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰20; Akım Şiddeti: 10 A (1. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	1073	931	876	10	9,5	10	8,7	10	7,6												
30	1053	909	924	10	9,2	10	7,5	10	5,7	117	126,3	61,67	9,25	4,13	1,88	11250	10875	10125	4,17	6,3	6,37
120	958	901	941	10	9,35	10	8,9	10	7,9	140,4	120,4	85	6	3,25	2,75	11400	9875	9875	5,31	6,44	6,14

Çizelge A.3 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰20; Akım Şiddeti: 16 A (1. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	905	928	934	10	10	10	10,2	8,5	6,6												
30	936	940	942	10	10	10	10,3	8,5	6,8	109,2	98,75	81,67	3,38	10	2	7750	8500	11875	6,17	6	6,09
120	918	934	944	10	10	10	10,3	10	10,5	112,5	121,3	106,3	6,13	3,13	2	9375	10000	8625	6,34	6,21	6,1

Çizelge A.4 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰30; Akım Şiddeti: 10 A (1. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	920	944	915	8,6	8,86	8,42	9,2	10	10												
30	900	951	925	8,5	9,68	8,28	10	10	10	186,3	136,3	129,4	9,5	2,38	2,63	16625	14875	12625	6,29	6,03	6,55
120	889	931	924	8,61	9,48	8,26	10	10	10	183,1	136,9	118,8	6,5	2,75	2,25	15500	15000	12875	6,77	6,35	6,54

Çizelge A.5 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰30; Akım Şiddeti: 16 A (1. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	946	936		10	10		11,6	14,5													
30	987	937		10	10		13,2	13,7		177,5	180,6		15,38	3,25		16625	13625		5,52	6,39	
120	934	928		9,5	10		15,9	13,4		261,9	190,6		11	2,88		13000	12500		6,37	6,66	

Çizelge A.6 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰20; Akım Şiddeti: 10 A (2. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	934		913	10		8,11	8,1		10												
30	951		913	10		8,57	9,1		10	162,5		116,9	2,625		2,75	10625		9125	5,65		6,69
120	923		906	9,13		8,76	10		10	170		111,3	2,75		10,5	4877		9375	6,5		6,79

Çizelge A.7 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰20; Akım Şiddeti: 16 A (2. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	934		923	10		10	10,1		12,9												
30	953		930	10		10	12,4		10,8	200		88,13	3,33		51,63	11250		10625	6,09		6,45
120	923		920	10		10	12,4		10,5	178,8		100	45		51,25	10125		12375	6,62		6,63

Çizelge A.8 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰30; Akım Şiddeti: 10 A (2. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	918		915	6,93		7,73	10		10												
30	921		921	7,5		8,41	10		10	201,3		102,5	56,63		62,86	16875		14875	6,67		6,69
120	916		915	7,73		8,65	10		10	197,5		109,4	9,75		63,04	14875		16125	6,74		6,75

Çizelge A.9 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰30; Akım Şiddeti: 16 A (2. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	930			8,81			15,9														
30	933			9,75			15,9			258,8			49,5			14750			6,53		
120	923			9,5			15,9			267,5			51			17625			6,75		

Çizelge A.10 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰20; Akım Şiddeti: 10 A (3. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	816			10			2,4														
30	864			10			5,1			83,33			52,92			12950			7,07		
120	893			9,7			10			140			105,8			11800			6,8		

Çizelge A.11 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰20; Akım Şiddeti: 106A (3. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	933			10			10,7														
30	935			10			10,4			162,1			135,8			12800			6,36		
120	923			10			11,4			163,3			130,4			12000			6,52		

Çizelge A.12 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰30; Akım Şiddeti: 10 A (3. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	871			6,7			10														
30	900			7,78			10			230,6			200			18950			6,88		
120	901			8			10			245,6			205			16200			6,84		

Çizelge A.13 : FTEC 100-YDS; Tuzluluk: ‰30; Akım Şiddeti: 16 A (3. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	986			9,7			15,9														
30	940			10			13,6			188,8			159,4			15950			6,4		
120	923			10			15,9			169,4			140,6			19400			6,64		

Çizelge A.14 : FTEC 100-DS; Tuzluluk: ‰18; Akım Şiddeti: 10 A (3. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	819			10			9														
30	842			10			2,8			34,58			21,25			9850			7,56		
120	867			10			3,9			42,5			27,08			9850			7,6		

Çizelge A.15 : FTEC 100-DS; Tuzluluk: ‰18; Akım Şiddeti: 16 A (3. Seri).

Süre (dak)	Redoks (mV)			Voltaj (V)			Akım şiddeti (A)			Toplam klor (mg/L)			Serbest klor (mg/L)			Klorür (mg/L)			pH		
	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa	50 L/sa	60 L/sa	75 L/sa
0	891			10			11														
30	894			10			6,4			85,83			65,83			10250			7,33		
120	873			10			4,6			54,17			34,58			9500			7,4		

EK B**Çizelge B.1 : FTEC 500 – YDS; Tuzluluk: ‰10.**

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti (A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1001	1109	8,81	8,41	29,9	29,9	322,5	268,75	17,5	110	9250	3000	3,47	3,05
40	1113	1116	10	9,9	36,9	39,9	282,5	260	150	132,5	5013,75	5010	3,08	2,98
50	1106	1115	10	10	31,9	39,1	311,25	323,75	189,38	194,38	5700	5875	2,96	3,31
60	1116	1108	10	10	43,1	43,1	258,75	291,25	167,5	216,88	5475	5530	3,01	3,41

Çizelge B.2 : FTEC 500 – YDS; Tuzluluk: ‰10, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti (A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1101	1085	9,36	8,66	29,9	29,9	261,25	261,25	174,33	189,38	5725	6450	3,18	3,77
40	1107	1112	10	10	35,9	38,9	363,75	363,75	245	213,75	5100	5575	0	2,91
50	1098	1109	10	10	22,3	43,4	131,25	136,25	71,25	83,13	5375	3700	3,03	3,39
60	1111	1107	10	10	34,4	44,2	278,75	390	146,25	266,88	4750	4700	2,93	3,35

Çizelge B.3 : FTEC 500 – YDS; Tuzluluk: ‰20.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti (A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1081	1092	6,53	6,19	29,9	29,9	308,75	270	204,38	212,5	10650	10600	3,52	3,29
40	1095	1001	7,63	6,81	39,9	39,9	427,5	475	256,25	289,38	13800	14550	3,35	5,58
50	1096	1001	9,09	7,64	49,9	49,9	530	570	411,25	426,25	11050	12200	3,48	5,64
60	1091	1059	10	8,31	52,1	59,9	545	660	446,25	472,5	14050	12050	3,44	5,36

Çizelge B.4 : FTEC 500 – YDS; Tuzluluk: ‰20, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti (A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1081	1081	6,64	6,3	29,9	29,9	332,5	332,5	227,5	270	10800	11700	3,11	3,56
40	1085	984	8,17	7,1	39,9	39,9	445	475	343,75	360	17150	13550	3,71	5,87
50	1084	1088	8,95	8,42	49,9	49,9	447,5	555	378,75	406,25	12450	12600	3,14	3,54
60	1101	1110	10	8,62	53,5	59,9	577,5	522,5	415	367,5	11200	11400	3,45	3,13

Çizelge B.5 : FTEC 500 – YDS; Tuzluluk: ‰30.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1090	981	5,18	5,77	29,9	29,9	332,5	360	241,25	271,25	14700	14450	3,53	3,94
40	1097	1087	6,5	6,04	39,9	39,9	295	410	261,25	221,25	18250	18550	2,92	3,05
50	1096	1000	7,2	6,48	49,9	49,9	582,5	575	373,75	361,25	19125	17437,5	3,57	5,77
60	1095	987	9,68	6,88	59,9	59,9	607,5	697,5	377,5	461,25	17937,5	18375	3,44	5,86

Çizelge B.6 : FTEC 500 – YDS; Tuzluluk: ‰30, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1079	1069	5,48	5,47	29,9	29,9	330	330	186,25	201,25	17375	18312,5	3,21	3,37
40	1097	995	6,49	6,05	39,9	39,9	417,5	505	237,5	261,25	19000	17812,5	3,17	5,84
50	1072	995	9,07	6,79	49,9	49,9	452,5	535	297,5	361,25	17312,5	17687,5	3,65	5,94
60	1078	985	7,99	7,32	59,9	59,9	595	722,5	473,75	432,5	18062,5	18187,5	3,9	6,22

Çizelge B.7 : FTEC 500 –DS1; Tuzluluk: ‰18.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	943	934	10	10	26,2	20,9	286,25	225	196,88	198,75	11625	10625	5,82	6,24
40	941	932	10	10	19,2	17,8	145	145	47,5	35,63	10625	10750	6,24	6,59
50	935	923	10	10	17,4	15,5	117,5	125	54,38	52,5	9625	9750	6,23	6,62
60	934	933	10	10	15,8	15,1	132,5	130	66,25	62,5	11250	11750	6,33	6,53

Çizelge B.8 : FTEC 500 –DS1; Tuzluluk: ‰18, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	936	970	10	10	16,3	14	140	140	66,25	90,63	12125	13250	6,33	6,63
40	931	919	10	10	17,2	14,5	161,25	148,75	136,88	103,13	11625	10625	6,29	6,97
50	930	920	10	10	20,2	14,4	240	156,88	178,75	97,5	12875	10500	6,39	6,86
60	933	930	10	10	17,6	14	197,5	127,5	143,75	109,38	11625	10875	6,34	6,64

Çizelge B.9 : FTEC 500 –DS2; Tuzluluk: ‰18.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	1059	930	10	10	29,9	25,8	306,25	263,75	217,5	193,13	9500	10750	5,57	6,42
40	953	930	10	10	30,9	27,7	318,75	297,5	246,25	218,75	10250	10750	6,37	6,64
50	945	928	10	10	31,7	28,2	330	310	250	218,75	9750	9375	6,6	6,61
60	943	927	10	10	28,5	25,8	297,5	242,5	217,5	177,5	10250	10125	6,67	6,85

Çizelge B.10 : FTEC 500 –DS2; Tuzluluk: ‰18, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	934	919	10	10	28,1	26,6	263,75	263,75	235	190	9875	9875	6,54	6,88
40	925	919	10	10	31,2	26	325	275	246,25	216,25	9250	8375	6,56	6,86
50	921	928	10	10	35,2	26,4	391,25	285	303,75	215	9375	8875	6,59	6,83
60	923	920	10	10	27,2	22,6	273,75	231,25	196,25	166,25	9375	9875	6,77	6,98

Çizelge B.11 : FTEC 500 –DS2; Tuzluluk: ‰9.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	919	912	10	10	18	16,5	142,5	142,5	125	90	4625	5000	6,8	6,84
40	908	907	10	10	19,6	16,7	170,63	140	128,13	106,88	4625	4687,5	6,54	6,72
50	903	902	10	10	17,7	15,3	151,25	121,25	140	107,5	4875	4687,5	6,76	6,76
60	911	0	10	0	16,3		155	125,63	131,88	103,75	4500	4312,5	6,52	6,7

Çizelge B.12 : FTEC 500 –DS2; Tuzluluk: ‰9, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	910	925	10	10	15,4	18,8	188,75	188,75	131,88	165	4687,5	4937,5	6,55	5,99
40	908	932	10	10	18,3	17,1	175,63	204,38	141,25	166,25	4687,5	4687,5	5,91	5,75
50	908	925	10	10	15,9	19,3	183,13	174,38	145	133,75	4375	4687,5	5,74	0
60	914	910	10	10	19	18	155	158,13	93,75	123,75	4875	4875	6,56	6,38

Çizelge B.13 : FTEC 500 –DS2; Tuzluluk: ‰30.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	959	915	7,41	975	29,9	29,9	316,25	316,25	268,75	238,75	18000	16625	6,07	6,66
40	949	926	8,44	10	39,9	35,9	476,25	431,25	406,25	371,25	17250	15750	4,43	6,65
50	936	917	10	10	46,1	37,2	521,88	420,33	457,83	368,75	16000	16250	6,44	6,74
60	941	913	9,07	10	59,9	39,8	670,33	476,56	617,19	418,75	17500	15750	6,48	6,4

Çizelge B.14 : FTEC 500 –DS2; Tuzluluk: ‰30, tekrar.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	936	928	6,81	8,51	29,9	29,9	366,25	366,25	361,25	342,5	16375	17125	6,73	5,56
40	959	925	10	10	39,9	38,6	478,13	440,63	414,06	390,63	15500	14625	6,25	6,58
50	913	911	10	10	45,1	38,4	579,69	459,38	514,06	381,25	17500	16125	6,37	6,5
60	917	912	10	10	44,7	39,2	560,71	455,36	480,36	398,21	15625	15500	6,26	6,65

Çizelge B.15 : FTEC 500 –DS3; Tuzluluk: ‰18.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	928	907	8,11	10	29,9	26,4	331,25	270	293,75	230	8250	8750	6,58	6,71
40	914	910	10	10	31,4	25,9	356,25	265	321,25	215	9500	11750	6,68	6,82
50	900	907	10	10	35	26,6	397,5	275	358,75	235	10000	9750	6,66	6,72
60	895	909	10	10	30,3	24,6	290	261,25	260	232,5	9125	9625	6,31	6,82

Çizelge B.16 : FTEC 500 –DS3; Tuzluluk: ‰9.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	935	993	8,29	10	29,9	17,2	275,63	150,63	263,13	139,38	4500	4312,5	6,64	7,03
40	885	894	10	10	22,3	16,7	196,88	139,38	179,38	119,38	5062,5	5250	6,87	7,12
50	884	908	10	10	20,1		180,63	124,38	160	103,75	4812,5	4812,5	6,9	6,82
60	888	884	10	10	14,3	13,5	133,75	120,63	107,5	97,5	4437,5	4687,5	6,85	6,9

Çizelge B.17 : FTEC 500 –DS3; Tuzluluk: ‰30.

Maksimum Akım Şiddeti (A)	Redoks (mV)		Voltaj (V)		Akım Şiddeti(A)		Toplam Klor (mg/L)		Serbest Klor(mg/L)		Klorür (mg/L)		pH	
	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀	t ₀	t ₁₀
30	914	914	8,78	9,66	29,9	29,9	331,25	331,25	273,44	295,31	19500	17250	6,69	6,58
40	925	917	9,1	10	39,9	36,2	485,94	393,75	450	337,5	17375	17125	6,4	6,75
50	925	920	10	10	46,1	35,4	531,25	417,19	503,13	382,81	16750	15000	6,55	6,76
60	955	904	10	10	46,4	34,3	576,56	418,75	542,19	379,69	16375	16500	6,55	6,86

EK C

Çizelge C.1: EC 100 Nr. 201 ile değişen V_{maks} ayarlarında elde edilen akım şiddetleri.

Vmaks (V)	DI: ‰10			MS: ‰10			MS: ‰15			MS: ‰20		
	Voltaj	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)	Voltaj	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)	Voltaj	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)	Voltaj	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)
2	1,99	0	216	1,99	0	92	1,99	0	381	1,99	0	447
4	4	0	964	4	1	844	4	0,6	745	4	1	826
6	6	0,3	1002	6	1	852	6	1,5	818	6	2,5	864
8	8,01	0,4	1000	8,01	1,4	877	8	2,4	848	8	4,8	893
10	10	1	1044	10	1,8	892	10	3,7	876	10	7	907
12	12,01	1,2	1052	12,01	1,3	824	12,01	6,1	902	9,98	7,9	945
14	14	1,4	1053	14	2	842	12,95	7,9	918	9,74	7,9	944
16	16,01	1,5	1057	16,01	3	866	11,6	7,9	919	9,56	7,9	942
18	18	1,8	1059	18	4,5	897	12	7,9	921	9,55	7,9	940
20	20,01	1,8	1062	18,5	7,9	928	12,14	7,9	922	9,66	7,9	936

Çizelge C.2: EC 100 Nr. 201 ile değişen tuzluluk ve voltaj ayarlarında anot sıvısı üretimi.

	Süre (dak)	Redoks (mV)	Voltaj	Akım Şiddeti (I)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	Klorür (mg/L)	pH	T°C
DI: %10 Vmax: 10	0	1048	10	1,6					
	30	928	10	0,3	5,00	2,50	6500	5,14	18,7
	120	1001	10	0,4	5,50	2,50	7150	4,32	18,8
MS: %10 Vmax: 10	0	879	10	2					
	30	892	10	1,8	24,25	15,50	5950	6,29	22,8
	120	895	0	2	28,75	19,75	5750	6,14	22,7
MS: %15 Vmax: 10	0	857	10	2,4					
	30	876	10	3,7	61,00	48,75	9100	6,75	21,3
	120	877	10	3,6	62,00	48,00	9700	6,78	21,5
MS: %20 Vmax: 10	0								
	30	907	10	7	131,25	112,08	12450	6,67	21,5
	120	912	10	6,4	115,83	95,42	11900	6,63	20,6
MS: %10 Vmax: 20	0	810	20,01	4,8					
	30	928	18,38	7,9	105,75	95,25	6150	6,12	23,3
	120	931	17,7	7,9	101,25	88,44	3450	6,12	23,5
MS: %15 Vmax: 20	0	923	12,05	7,9					
	30	922	12,09	7,9	123,73	113,44	9450	6,39	21,5
	120	916	12,35	7,9	119,17	92,92	8800	6,47	22,2
MS: %20 Vmax: 20	0	940	9,61	7,9					
	30	936	9,66	7,9	133,33	112,50	12200	6,44	21
	120	930	9,62	7,9	141,25	121,25	11200	6,7	21

Çizelge C.3: EC 100 Nr. 201 ile kutupların ters yönde çalıştırılmasıyla üretilen katot sıvıları.

	Süre (dak)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	Klorür (mg/L)	pH	T°C
MS 1 Vmax: 10	0	10	1,6					
	15	10	1,5	22,25	14,00	7100	6,77	19,7
	60	10	6,6	122,81	109,06	12900	9,76	20,7
	90	10	6,7	120,31	111,25	12450	9,1	20,5
MS 2 Vmax: 10	0	7,29	7,9					
	15	7,45	7,9	17,26	11,50	11200	11,52	22,1
	60	10	4,5	24,75	13,75	12450	7,68	21,9
	90	10	4,5	8,00	3,50	6550	8,28	21,9
MS 1 Vmax: 20	0	6,86	7,9					
	15	8,24	7,9	0,01	0,01	11950	11,52	20,1
	60	20,01	5,7	0,14	0,05	12200	9,25	21,4
	90	20,01	6,3	0,13	0,05	12550	9,01	21,4
MS 2 Vmax: 20	0	20,01	3,1					
	15	20,01	3,7	0,15	0,06	11950	9,68	22,1
	60	20,01	7,5	15,63	7,50	11700	8,22	23,1
	90	18,615	7,9	12,50	8,50	11250	7,84	23,6
DS 1 Vmax: 10	0	10	7,4					
	15	10	4,8	0,00	0,00	10300		22,5
	60	10	1,4	0,17	0,10	9950	8,24	22,3
	90	10	1,5	27,00	17,25	10250	8,31	22
DS 2 Vmax: 10	0	10	0					
	15	10	0,3	0,01	0,00	9500	8,25	21,1
	60	10	1,2	0,42	0,24	8300	8,42	21,7
	90	10	1,7	10,50	7,00	9200	8,53	21,8
DS 1 Vmax: 20	0	12,45	6,4					
	15	17,5	7,9	5,75	4,75	9500	9,83	22
	60	20,01	4,8	0,85	0,59	8300	8,5	22
	90	20,01	3,4	0,34	0,24	8850	8,14	21,8
DS 2 Vmax: 20	0	10,46	7,9					
	15	17,28	7,9	32,50	24,50	8800	9,18	23,1
	60	20,01	7,4	4,50	4,25	7600	8,18	23,2
	90	20,01	5,2	4,50	4,50	8	8,05	23,2

Çizelge C.4: EC 100 Nr. 201 ile kutupların standart yönde çalıştırılmasıyla üretilen anot sıvıları.

	Süre (dak)	Redoks (mV)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	Klorür (mg/L)	pH	T°C
MS 1 Vmax: 10	0	855	10	6					
	15	1073	9,18	7,9	137,50	123,75	11850	3,92	20,5
	60	1050	9,13	7,9	138,75	129,58	11150	4,38	21,2
	90	1018	9,32	7,9	136,25	120,42	11150	5,02	20,4
MS 2 Vmax: 10	0	970	10	4,5					
	15	1080	7,38	7,9	142,50	120,42	11750	3,73	22
	60	1031	7,7	7,9	135,83	116,25	12550	4,98	20,2
	90	1010	7,68	7,9	134,17	118,75	11300	5,33	20,7
MS 1 Vmax: 20	0	1037	14,72	7,9					
	15	1049	8,725	7,9	128,75	116,25	10200	4,81	20,5
	60	994	7,33	7,9	135,63	126,88	12250	5,57	20,7
	90	985	7,15	7,9	140,42	135,83	11600	5,77	20,7
MS 2 Vmax: 20	0	1069	9,91	8					
	15	1062	7,04	7,9	142,08	130,00	12300	3,89	21,5
	60	1016	7,06	7,9	142,92	121,67	11700	5,21	21,5
	90	1000	7,175	7,95	142,50	122,92	10950	7,47	21,7
DS 1 Vmax: 10	0	915	10	4,6					
	15	904	10	4,9	84,75	66,75	8250	7,11	22
	60	866	10	1,9	31,75	19,25	8950	7,88	21,9
	90	898	10	1,9	24,25	15,25	9400	7,79	22,1
DS 2 Vmax: 10	0	916	10	3,8					
	15	908	10	4	62,75	50,00	9500	7,36	21,2
	60	901	10	2,7	42,00	25,25	8950	7,62	21,6
	90	883	10	2,3	36,25	18,00	9700	7,89	21,5
DS 1 Vmax: 20	0	931	14,91	7,9					
	15	934	15,31	7,9	112,00	87,25	9500	6,81	22
	60	921	16,01	7,9	109,50	85,75	8300	6,81	22,4
	90	943	16,93	7,9	110,25	85,75	8850	6,83	22,2
DS 2 Vmax: 20	0	944	12,46	7,9					
	15	946	14,25	7,9	118,50	95,50	8750	6,85	22,9
	60	950	16,74	7,9	116,56	85,63	9400	6,52	23

	90	941	16,4	7,9	116,56	90,94	9650	6,87	23,6
--	----	-----	------	-----	--------	-------	------	------	------

EK D

Çizelge D.1 : EC 100 Nr. 240 ile değişen V_{maks} ayarlarında elde edilen akım şiddetleri.

Vmaks (V)	DI: ‰10			MS: ‰10			MS: ‰15			MS: ‰20		
	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	Redoks (mV)
2	1,99	0	288	1,99	0	163	1,99	0	325	1,99	0	435
	2,99	0,5	901	2,99	0,3	790	2,99	0,4	707	2,99	0,5	774
4	4	1	1058	4	0,7	830	4	0,8	781	4	1	851
6	6	2,1	1059	6	1,1	863	6	1,1	842	6	1,3	862
8	8,01	3	1089	8,01	1,6	884	8	1,5	805	8	1,7	812
10	10	5,2	1053	10	2,3	890	10	1,9	832	10	2,3	854
12	12,01	4,8	1097	12,01	2,4	892	12,01	2,8	850	12,01	3,3	919
14	14	6,2	1103	14	3,1	941	14	3,7	933	14	4	943
16	15,35	7,9	1105	16,01	4,2	935	16,01	6,3	862	16,01	7,7	1074
18	16,45	7,9	1106	17,75	7,9	606	17,12	7,9	1083	14,86	7,9	751

Çizelge D.2 : EC 100 Nr. 240 ile değişen tuzluluk ve voltaj ayarlarında anot sıvısı üretimi.

	Süre (dak)	Redoks (mV)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	Klorür (mg/L)	pH	T°C
DI: ‰10 Vmax: 10	0	1072	10	3,6					
	30	963	10	3	53,00	44,25	6600	3,44	17,4
	120	950	10	3,1	51,25	50,00	6400	3,09	17,6
MS: ‰10 Vmax: 10	0	887	10	2,6					
	30	890	10	2,3	45,00	39,50	6300	5,79	18
	120	872	10	1,9	35,25	23,75	6400	5,91	18,2
MS: ‰15 Vmax: 10	0	737	10	2,2					
	30	895	10	1,9	35,63	28,75	8900	6,08	16,3
	120	857	10	2,1	32,25	26,75	9150	6,62	17
MS: ‰20 Vmax: 10	0	590	10	3,6					
	30	897	10	2,3	49,75	42,00	13300	6,29	21,3
	120	909	10	2,7	45,25	37,75	12150	6,1	21
DI: ‰10 Vmax: 20	0	1086	20	7,9					
	30	1096	20	7	118,75	111,00	6850	2,85	17,3
	120	1104	20	7,9	93,44	87,19	6500	2,92	17,8
MS: ‰10 Vmax: 20	0	698	17,77	7,9					
	30	1041	18,11	7,9	115,94	110,63	6100	3,46	18,4
	120	995	18,12	7,9	121,88	115,94	6800	10,17	19
MS: ‰15 Vmax: 20	0	895	17	7,9					
	30	1087	18,3	7,9	137,00	110,63	8950	5,54	17,5
	120	1090	18,62	7,9	135,83	122,92	8750	4,51	17,6
MS: ‰20 Vmax: 20	0	1026	17,34	7,9					
	30	1067	14,9	7,9	156,67	145,00	12150	6,23	20,8
	120	1087	16,15	7,9	155,42	142,08	12650	3,97	20,8

Çizelge D.3: EC 100 Nr. 240 ile kutupların ters yönde çalıştırılmasıyla üretilen katot sıvıları.

	Süre (dak)	Voltaj (V)	Akım Şiddeti (I)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	Klorür (mg/L)	pH	T°C
MS1 Vmax: 10	0	10	5,6					
	15	10	5,8	179,58	159,58	12200	7,39	21,1
	60	10	6,1	71,67	57,08	12200	10,16	20,2
	90	10	6,4	162,50	156,67	12100	7,12	20,9
MS2 Vmax: 10	0	9,1	7,9					
	15	10	5,7	92,08	78,33	10800	9,72	21,7
	60	10	6	129,17	94,58	11100	8,11	21,6
	90	10	6,1	52,50	29,17	11100	10,46	21,6
MS1 Vmax: 20	0	12,97	7,9					
	15	12,17	7,9	188,75	163,75	12700	7,63	23,6
	60	12,45	7,9	134,38	103,13	12800	9,1	22,2
	90	11,4	7,9	55,00	43,75	12350	10,97	22,6
MS2 Vmax: 20	0	10	6,2					
	15	10	6,3	43,75	32,25	11400	10,91	
	60	10	6,6	61,75	50,75	11650	10,67	
	90	10	6,7	157,92	134,17	11450	7,35	
DS 1 Vmax: 10	0	10	4,6					
	15	10	2,8	18,50	12,25	9400		0
	60	10	4,8	25,00	14,75	9950	8,69	22,2
	90	10	4,6	14,00	11,25	10750	8,6	22,1
DS 1 Vmax: 20	0	12,58	7,9					
	15	16,8	7,9	12,00	8,75	9250	10,05	21,7
	60	19	7,9	21,50	12,25	9100	8,84	22,1
	90	14,9	7,9	19,50	16,00	9500	9,15	21,9
DS 2 Vmax: 10	0	10	5,8					
	15	10	4,6	17,50	11,25	9850	9,01	21,1
	60	10	2,7	31,50	15,50	9700	8,35	20,7
	90	10	5,3	29,50	16,75	8550	8,76	20,8
DS 2 Vmax: 20	0	20,01	2,6					
	15	20,01	2,8	9,75	8,50	10050	8,84	22,1
	60	14,68	7,9	20,75	13,25	9800	7,24	22,2
	90	19,5	6,8	13,25	11,75	9500	7,22	22,3

Çizelge D.4: EC 100 Nr. 240 ile kutupların standart yönde çalıştırılmasıyla üretilen anot sıvıları.

	Süre (dak)	Redoks (mV)	Voltaaj (V))	Akım Şiddeti (I)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	Klorür (mg/L)	pH	T°C
MS1 Vmax: 10	0	837	10	5,2					
	15	972	10	7	137,19	123,75	10250	10,85	20,8
	60	682	9,69	7,9	129,17	118,75	11550	11,91	21,1
	90	876	10	6,2	121,25	113,33	10800	12,09	20,8
MS2 Vmax: 10	0	850	10	7					
	15	955	9,81	7,9	163,33	133,75	9600	6,17	21,8
	60	932	9,93	7,9	167,92	137,92	11250	6,51	22,1
	90	921	10	7,3	150,42	123,33	10950	6,84	21,8
MS1 Vmax: 20	0	1057	10,43	8					
	15	1032	9,07	7,9	162,08	137,08	13000	9,6	21,8
	60	864	8,77	7,9	152,92	140,42	12200	11,84	22,1
	90	732	9,81	7,9	167,50	147,50	10700	10,78	22,9
DS 1 Vmax: 10	0	942	10	5					
	15	842	10	1,1	23,00	13,50	9700	8,11	21
	60	880	10	2,6	64,00	43,00	7950	7,01	21,2
	90	863	10	1,9	40,50	23,25	8450	7,41	21,2
DS 1 Vmax: 20	0	898	13,3	7,9					
	15	838	20,01	1,9	25,50	14,50	8550	8,24	21,3
	60	837	20,01	1,7	18,25	10,25	9950	8,26	21,5
	90	840	20,01	1,9	26,25	16,50	9700	8,45	21,8
DS 2 Vmax: 10	0	914	10	5,8					
	15	865	10	7,6	134,58	98,75	8950	7,35	21,4
	60	797	10	0,9	13,33	12,92	10200	8,32	21,2
	90	800	10	0,7	10,50	15,42	8800	8,06	21,2
DS 2 Vmax: 20	0	791	20,01	2,8					
	15	901	20,01	2,8	26,25	17,19	9850	8,84	22,1
	60	860	14,68	7,9	27,81	15,94	9600	7,24	22,2
	90	883	19	6,8	44,69	21,88	10900	7,22	22,3

EK E**Çizelge E.1:** Anot sıvısı ‰ 18 tuzluluktaki deniz suyuna eklendikten sonra klor değişimi.

	Deney No: 1			Deney No: 2			Deney No: 3		
Süre (Sa)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	BHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	BHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	BHK (mg/L)
0	0,55	0,47	0,08	1,30	1,11	0,19	1,07	0,86	0,21
1	0,28	0,21	0,08	0,98	0,80	0,18	0,71	0,56	0,15
2	0,19	0,11	0,08	0,84	0,68	0,16	0,61	0,47	0,14
3	0,13	0,09	0,04	0,76	0,60	0,16	0,49	0,34	0,15
4				0,70	0,53	0,17	0,41	0,28	0,13
5	0,11	0,08	0,03	0,63	0,42	0,21	0,34	0,19	0,15
6							0,28	0,15	0,14
7							0,25	0,14	0,12

Çizelge E.2: Anot sıvısı ‰ 30 tuzluluktaki deniz suyuna eklendikten sonra klor değişimi.

	Deney No: 4			Deney No: 5			Deney No: 6		
Süre (Sa)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	BHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	BHK (mg/L)	TK (mg/L)	SHK (mg/L)	BHK (mg/L)
0	1,29	1,08	0,21	1,29	1,05	0,25	0,82	0,59	0,24
1	0,74	0,48	0,26	0,77	0,60	0,17	0,34	0,23	0,12
4	0,39	0,23	0,17	0,45	0,27	0,19	0,15	0,10	0,06
5	0,34	0,18	0,16	0,39	0,22	0,17	0,12	0,05	0,08
6,5	0,27	0,16	0,11	0,33	0,19	0,15			
24	0,09	0,05	0,04	0,10	0,05	0,05			

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ceren BİLGİN GÜNEY
Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara-26 Haziran 1975
Adres: İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 34469 Maslak İstanbul
Lisans Üniversitesi: İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Üniversitesi: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Teknolojisi Mühendisliği Programı

Yayın Listesi:

- **Bilgin Güney C.**, Yonsel F., 2011. BaWaPla - Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi, Tersane Dergisi.
- Yonsel F., **Bilgin Güney C.**, 2010. Electrochemical chlorine generation applications for ballast water treatment, International Conference on ship design and operation for environmental Sustainability 10 - 11 March 2010, RINA Hq, London, UK.
- Yonsel Ş., Yonsel F., **Bilgin C.**, Şahin T., 2009. Oil Degradation in Marine or Estuary Waters with *Bacillus subtilis*, Bipog 3-Biotechnologies for improved production for oil and gas in The Gulf of Guinea, 1-3 April, Abuja, Nigeria.
- **Bilgin Güney C.**, Yonsel F., 2009. Onboard electrochemically generation of disinfectant for ballast water treatment, International Maritime Association of the Mediterranean, 12 - 15 October 2009, Istanbul, Turkey.
- **Bilgin Güney C.**, Yonsel F., 2008. Balast Suyu Arıtımında Alternatif Yöntemler, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik kongresi, 24-25 Kasım 2008, Bildirler Kitabı, Cilt 1.
- Güney C., **Bilgin Güney C.**, 2008. Yonsel F., Çelik R.N., Türkiye Deniz Bilgi Sistemi (DeBiSi) Yaklaşımı, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik kongresi, 24-25 Kasım 2008, Bildirler Kitabı, Cilt 1.
- **Bilgin Güney C.**, Yonsel F., 2008. Gemi İnşa Sektörünün Çevresel Sorumluluğu: Sintine ve Balast Suları, Gemi ve Deniz Teknolojisi, Sayı: 177, Temmuz 2008.
- **Bilgin Güney C.**, 2007. Yonsel F., Gemi Kaynaklı Atık Suların Çevresel Etkileri, TMMOB, Ölçü Dergisi, Haziran 2007, sayfa, 163-169.

- Yonsel F., **Bilgin Güney C.**, Yanık T., 2006. *Bacillus subtilis* in oil degradation., MWWD & IEMES 2006, 4 th International Conference on Marine Waste Discharges and Coastal Environment, Antalya-Turkey , November 6-10, 2006.
- **Bilgin C.**, Yonsel F., 2005. Diesel oil degradation in sea water, Proceedings of the 12 th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2005), Lisboa, Portugal, 26-30 September 2005, Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources- Guedes Soares, Garbatov & Foncesca (eds) 2005 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0415 39036 2, Vol: 2 1697-1702.
- **Bilgin C.**, Yonsel F., 2004. Motorinin Deniz Ortamında Biyolojik olarak parçalanması, 9. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, 2-4 Haziran 2004, İstanbul, Bildiriler Kitabı, S.495-500, ISBN 975-561-250-5.
- Yonsel F., **Bilgin C.**, 2003. Diesel Oil Degredation in Salty Environment, 2nd Black Sea Basin Conference on Analytical Chemistry, September 14-17, 2003, Şile İstanbul, TURKEY.
- Yonsel F., **Bilgin C.**, 2002. Biological oil degradation in marine Environment, ISWA Word Environment Congress & Exhibition İstanbul, Turkey, July 8-12, 2002, Appropriate Environmental and solid waste management and technologies for developing countries, (Vol:3) , 2005-2010.
- Yonsel F., **Bilgin C.**, Gülşen C., 2000. İstinye Deresinin İstanbul Boğazına Taşdığı Kirlilik. UKMK-IV Bildiri Kitabı 2. Cilt S, 769-774, 4-7 Eylül 2000, İstanbul Üniversitesi Avcılar-İstanbul ISBN: 975-404-615-8.
- Yonsel F., **Bilgin C.**, Gülşen C., 2000. İstinye Koyu ve İstanbul Bogazına Taşınan Kirlilik, I. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, 30 Mayıs-2 Haziran 2000, ODTÜ/ Ankara, S.86-87. (Bildiri özetleri kitapçığı).