

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIZINTI SULARININ ELEKTRODİYALİZ PROSESİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN VE  
GERİ KAZANIM AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**FATİH İLHAN**

**DOKTORA TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. M. TALHA GÖNÜLLÜ**

**İSTANBUL, 2012**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIZINTI SULARININ ELEKTRODİYALİZ PROSESİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN VE  
GERİ KAZANIM AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fatih İLHAN tarafından hazırlanan tez çalışması 29/11/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TORÖZ  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK  
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Yaşar AVŞAR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

---

---

---

---

---

Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun(TÜBİTAK), evre, Atmosfer, Yer ve Doğa Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) tarafından Araştırma Projeleri (1001) kapsamında 109Y285 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Herşeyden önce, bu tez çalışmasının başlamasından bitimine kadar her konuda bana yardımcı olan, karar mekanizmasında en önemli rolü üstelenen ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım, hocam Sayın Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ'ye,

Tez çalışmamı başından sonuna kadar izleyen ve her ihtiyacım olduğunda yanımda olup yardımlarını esirgemeyen, tecrübeleriyle bana ışık tutan tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. İsmail TORÖZ ve çok değerli hocam Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA'ya,

Tez çalışmamın başından sonuna kadar başarılı olabilmem için desteklerini esirgemeyen hocam Sayın Doç Dr. Yaşar AVŞAR'a, Yrd. Doç. Dr. Uğur KURT'a,

Tezimle ilgili TÜBİTAK Projesinde birlikte çalışmış olduğum Araş. Gör. Harun Akif KABUK, Araş. Gör. Senem YAZICI, Araş. Gör. Hanife SARI ve Çevre Müh. Yakup AYDIN'a

Bana akademik çalışmalarım için destek veren değerli hocalarım ve bütün araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Tüm hayatım boyunca, her zaman her konuda koşulsuz şartsız sevgilerini, desteklerini, güçlerini yüreğimde her anımda hissettiğim, biricik annem Meva İLHAN, saygıdeğer babam Ahmet İLHAN, kardeşlerim Ülkü İLHAN ve Çevre Müh. Orhan İLHAN'a,

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde şüphesiz en çok emeği geçen, çalışmalarım boyunca gösterdiği sabır ve manevi desteklerinden ötürü sevgili eşim Evrim İLHAN ve tezimi ithaf ettiğim biricik oğlum Kuzey Kağan İLHAN'a,

sonsuz teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Aralık, 2012

Fatih İLHAN



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET .....	xvii
ABSTRACT.....	xix
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	2
1.3    Orijinal Katkı.....	2
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>SIZINTI SULARI.....</b>	<b>3</b>
2.1    Genel.....	3
2.2    Sızıntı Suyu Oluşumu.....	3
2.3    Sızıntı Suyu Miktarı .....	5
2.3.1    Sızıntı Suyu Miktarını Etkileyen Faktörler .....	7
2.3.2    Sızıntı Suyu Miktarının Hesaplanması.....	8
2.4    Sızıntı Suyunun Kirletici Özellikleri.....	9
2.5    Sızıntı Sularının Zararları ve Yönetimi .....	13
2.6    Ülkemizde Sızıntı Sularının Yönetimi .....	15
2.7    Sızıntı Sularının Arıtılması .....	16
2.7.1    Sızıntı Sularının Arıtım Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	18
2.7.2    Ülkemizde Sızıntı Sularının Arıtımı.....	22
<b>BÖLÜM 3</b>	
<b>ELEKTRODİYALİZ.....</b>	<b>23</b>
3.1    Elektrodiyaliz.....	23
3.2    Elektrodiyaliz Mekanizması.....	26
3.2.1    Elektrodiyaliz İşleyiş Parametreleri.....	28
3.3    Elektrodiyaliz Prosesinin Temel Bileşenleri .....	30
3.3.1    İyon Seçici Membranlar .....	30
3.3.2    Bipolar Membranlar.....	36
3.3.2.1    Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz Prosesi.....	37
3.3.3    Doğru Akım Kaynağı.....	39
3.3.4    Elektrotlar .....	39

3.3.5	Çözücüler ve Elektrolitler .....	41
3.3.6	Elektrodiyaliz Hücresi.....	41
3.4	Elektrodiyaliz Türleri .....	43
3.4.1	Klasik Elektrodiyaliz.....	43
3.4.2	Elektrodeiyonizasyon .....	46
3.4.3	Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz .....	46
3.4.3.1	Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz Prosesinin Kullanım Alanları .	48
3.4.3.2	Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz Prosesiyle Oluşan Kirleticilerin Değerlendirilebilme Çalışmaları.....	52
3.5	Elektrodiyaliz Prosesinde Enerji Gereksinimi.....	55
3.5.1	Elektrodiyaliz ve Diğer Ayırma Süreçlerindeki Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması .....	56
3.6	Elektrodiyaliz Prosesiyle Literatürde Yapılmış Atıksu Arıtım Çalışmaları .	57
3.7	Sızıntı Sularının Elektrodiyaliz Prosesiyle Arıtılabilirliği .....	59
<b>BÖLÜM 4</b>		
<b>MATERYAL VE METOD .....</b>		<b>60</b>
4.1	Çalışmanın Genel Planı.....	60
4.2	Sızıntı Suyu .....	62
4.3	Ön Arıtım Çalışmaları .....	63
4.4	Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz Prosesi .....	64
4.5	Analizler .....	70
4.6	Ekipmanlar .....	71
4.7	DeneySEL Kurgu, istatistiksel analiz ve modelleme çalışmaları.....	72
<b>BÖLÜM 5</b>		
<b>BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>		<b>73</b>
5.1	Ön Arıtım Çalışmaları .....	73
5.2	Filtrasyon+ İyon Değişirme Prosesi.....	73
5.2.1	Anyon Değişimleri .....	75
5.2.1.1	Klorür Değişimi.....	75
5.2.1.2	Fosfat Değişimi.....	77
5.2.1.3	Sülfat Değişimi .....	78
5.2.2	Katyon Değişimleri .....	80
5.2.2.1	Sodyum Değişimi.....	80
5.2.2.2	Kalsiyum Değişimi .....	82
5.2.2.3	Magnezyum Değişimi.....	84
5.2.2.4	Potasyum Değişimi.....	85
5.2.3	Elektrodiyaliz Öncesi Yapılacak Ön Arıtım Seçeneklerinin Değerlendirilmesi.....	87
5.2.3.1	Katyon Değişimlerinin Değerlendirilmesi .....	90
5.2.3.1.1	Sodyum Değişimi.....	90
5.2.3.1.2	Potasyum Değişimi.....	91
5.2.3.1.3	Magnezyum Değişimi.....	93
5.2.3.1.4	Kalsiyum Değişimi .....	95
5.2.3.1.5	Genel Değerlendirme.....	97
5.3	Elektrodiyaliz Çalışmaları .....	99

5.3.1	Elektrodiyaliz Prosesi için Etkili İşletme Şartları .....	99
5.3.1.1	Süre .....	99
5.3.1.2	Başlangıç Konsantrasyonu .....	100
5.3.1.3	Akım (Elektriksel Gerilim) .....	101
5.3.1.4	Membran Sayısı .....	103
5.3.1.5	Debi .....	104
5.3.1.6	Sıcaklık.....	105
5.3.1.7	Diğer Sıvıların (Anolit, Katolit, Elektrolit) Özelliği .....	105
5.3.2	Çalışma Seti Tayini .....	106
5.3.3	Genç Sızıntı Sularının Elektrodiyaliz Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi .....	107
5.3.4	Orta Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodiyaliz Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi .....	124
5.3.5	Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodiyaliz Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi .....	147
5.3.6	Sonuçlar ve Değerlendirme .....	161
5.4	Geri Kazanım Çalışmaları .....	163
5.4.1	Genç Sızıntı Sularından Geri Kazanım Çalışmaları .....	163
5.4.2	Orta Yaşlı Sızıntı Sularından Geri Kazanım Çalışmaları .....	179
5.4.3	Yaşlı Sızıntı Sularından Geri Kazanım Çalışmaları .....	192
5.4.4	Genel Değerlendirme.....	207
<b>BÖLÜM 6</b>		
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>		<b>210</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>		<b>214</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>		<b>221</b>

A	Amper
AEM	Anyon Seçici Membran
AK	Anolit/Katolit Çözeltileri
AKM	Askıda Katı Madde
BM	Bipolar Membran
BMED	Bipolar Membranlı Elektrodializ Prosesi
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇOM	Çözünmüş Organik Madde
CEM	Katyon Seçici Membran
EDI	Elektrodeiyonizasyon
GSS	Genç Sızıntı Suyu
H <sup>+</sup>	Hidrojen İyonu
HX	Asit
HSS	Ham Sızıntı Suyu
ID	İyon Değişirme Prosesi
KF	Kaba Filtre
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N	Amonyak Azotu
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Amonyum Azotu
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Nitrit Azotu
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Nitrat Azotu
OH <sup>-</sup>	Hidroksit İyonu
OSS	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Fosfat Fosforu
SS	Sızıntı Suyu
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
UF	Ultrafiltrasyon
YOH	Baz
YSS	Yaşlı Sızıntı Suyu

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Sızıntı sularının arıtım metotları..... 17
Şekil 3.1	İlk elektrodializ reaktörü ..... 23
Şekil 3.2	Elektrodializ prosesinde; a: elektriksel akım olmadığında, b:elektriksel akım uygulandığında iyon dağılımları ..... 24
Şekil 3.3	Elektrodializ sistemin işleyiş prensibi..... 27
Şekil 3.4	Hücre çiftine uygulanan dirençler..... 29
Şekil 3.5	İyon seçici membran akım-gerilim karakteristiği..... 29
Şekil 3.6	Çeşitli iyon derişimleri için iyon seçici membran akım-gerilim..... 30
Şekil 3.7	İyon seçici membranların tarihsel gelişim süreci..... 32
Şekil 3.8	Bir katyon seçici membran modeli ..... 33
Şekil 3.9	Katyon ve anyon seçici membranlarda kullanılan iyon seçici gruplar ..... 35
Şekil 3.10	BMED sistemlerin gelişim kronolojisi..... 37
Şekil 3.11	Bipolar membran ve BMED..... 38
Şekil 3.12	Membran ve spacer arası çözelti giriş/çıkışlarını gösteren ED hücresi..... 42
Şekil 3.13	Elektrodializde çözelti dağıtıcı iki spacer..... 43
Şekil 3.14	İyon değiştirici membranlı elektrodializ sisteminin çalışma prensibi ..... 44
Şekil 3.15	Bipolar membranlı elektrodializ prosesleri..... 50
Şekil 3.16	Bipolar membranlı elektrodializ prosesi ile değişik konfigürasyonlar ..... 52
Şekil 3.17	Elektrodializ prosesiyle kirleticilerin değerlendirilebilmesi ..... 53
Şekil 3.18	Ters ozmoz ve elektrodializin işlem prensibine ait şematik görünüm..... 57
Şekil 4.1	Çalışmanın genel akış diyagramı ..... 61
Şekil 4.2	DeneySEL çalışmalarda uygulanan arıtım kademeleri şematik gösterimi62
Şekil 4.3	Ham sızıntı suyuna uygulanan ön arıtma prosesi ..... 64
Şekil 4.4	Elektrodializ bipolar membran reaktörün şematik gösterimi..... 66
Şekil 4.5	Elektrodializ bipolar membran reaktör ..... 66
Şekil 4.6	BMED sistem fonksiyonel parçaları ..... 67
Şekil 4.7	İyon seçici membranların resimleri..... 67
Şekil 4.8	BMED hücresinde kullanılan membranların büyüklükleri ..... 68
Şekil 4.9	Spacer resimleri ..... 68
Şekil 4.10	BMED proses asit, baz, atıksu giriş/çıkış akımları ve membran dizilimi ..... 69
Şekil 4.11	BMED hücresi membran ve spacer sıralanışı..... 70
Şekil 5.1	Genç Sızıntı Sularında Klorür Değişimi ..... 75
Şekil 5.2	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Klorür Değişimi..... 76
Şekil 5.3	Yaşlı Sızıntı Sularında Klorür Değişimi ..... 76
Şekil 5.4	Genç Sızıntı Sularında Fosfat Değişimi ..... 77

Şekil 5.5	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Fosfat Değişimi.....	77
Şekil 5.6	Yaşlı Sızıntı Sularında Fosfat Değişimi .....	78
Şekil 5.7	Genç Sızıntı Sularında Sülfat Değişimi.....	79
Şekil 5.8	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Sülfat Değişimi .....	79
Şekil 5.9	Yaşlı Sızıntı Sularında Sülfat Değişimi.....	80
Şekil 5.10	Genç Sızıntı Sularında Sodyum Değişimi.....	81
Şekil 5.11	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Sodyum Değişimi.....	81
Şekil 5.12	Yaşlı Sızıntı Sularında Sodyum Değişimi .....	81
Şekil 5.13	Genç Sızıntı Sularında Kalsiyum Değişimi .....	82
Şekil 5.14	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Kalsiyum Değişimi .....	83
Şekil 5.15	Yaşlı Sızıntı Sularında Kalsiyum Değişimi .....	83
Şekil 5.16	Genç Sızıntı Sularında Magnezyum Değişimi .....	84
Şekil 5.17	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Magnezyum Değişimi.....	84
Şekil 5.18	Yaşlı Sızıntı Sularında Magnezyum Değişimi .....	85
Şekil 5.19	Genç Sızıntı Sularında Potasyum Değişimi .....	86
Şekil 5.20	Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Potasyum Değişimi.....	86
Şekil 5.21	Yaşlı Sızıntı Sularında Potasyum Değişimi.....	87
Şekil 5.22	Genç sızıntı suyu için optimum arıtım yöntemi seçimi .....	88
Şekil 5.23	Orta Yaşlı sızıntı suyu için optimum arıtım yöntemi seçimi.....	88
Şekil 5.24	Yaşlı sızıntı suyu için optimum arıtım yöntemi seçimi .....	89
Şekil 5.25	Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası sodyum değişimi.....	90
Şekil 5.26	Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası sodyum değişimi.....	91
Şekil 5.27	Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası sodyum değişimi.....	91
Şekil 5.28	Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası potasyum değişimi.....	92
Şekil 5.29	Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası potasyum değişimi.....	92
Şekil 5.30	Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası potasyum değişimi.....	93
Şekil 5.31	Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası magnezyum değişimi.....	94
Şekil 5.32	Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası magnezyum değişimi.....	94
Şekil 5.33	Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası magnezyum değişimi.....	95
Şekil 5.34	Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası kalsiyum değişimi .....	96
Şekil 5.35	Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası kalsiyum değişimi .....	96
Şekil 5.36	Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası kalsiyum değişimi.....	97
Şekil 5.37	Ön Arıtım Öncesi Sızıntı Sularında Katyonik Türlerin Dağılımı.....	98
Şekil 5.38	Ön Arıtım Sonrası Sızıntı Sularında Katyonik Türlerin Dağılımı.....	98
Şekil 5.39	Tuzlu su çözeltilisinin deiyonizasyonu ve aynı süreçte anolit ve katolitin iletkenlik değişimi .....	99
Şekil 5.40	Tuzlu suyun elektrodializ prosesiyle desalinasyonuna ilişkin verileri .....	101
Şekil 5.41	Tuzlu suyun elektrodializ prosesiyle desalinasyonuna ilişkin verileri .....	102
Şekil 5.42	Tipik (2 Bipolar membranlı) bipolar membran elektrodializ prosesi .....	103
Şekil 5.43	Tuzlu suyun elektrodializ prosesiyle desalinasyonuna ilişkin verileri .....	104
Şekil 5.44	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	109
Şekil 5.45	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	109
Şekil 5.46	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	110

Şekil 5.47	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	111
Şekil 5.48	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	111
Şekil 5.49	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	112
Şekil 5.50	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	113
Şekil 5.51	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	113
Şekil 5.52	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	114
Şekil 5.53	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	115
Şekil 5.54	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	115
Şekil 5.55	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	116
Şekil 5.56	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	117
Şekil 5.57	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	118
Şekil 5.58	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	118
Şekil 5.59	Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	119
Şekil 5.60	Genç sızıntı sularının ED prosesiyle iletkenlik değişimleri .....	121
Şekil 5.61	Genç sızıntı sularının ED prosesi esnasında akım değişimleri .....	122
Şekil 5.62	Genç sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle artırılabilirliği ve temel kirletici parametrelerin değişimi .....	123
Şekil 5.63	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	125
Şekil 5.64	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi .....	126
Şekil 5.65	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	126
Şekil 5.66	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi .....	127
Şekil 5.67	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	128
Şekil 5.68	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi .....	128
Şekil 5.69	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	129
Şekil 5.70	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi .....	130
Şekil 5.71	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	130
Şekil 5.72	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi .....	131
Şekil 5.73	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	131

Şekil 5.74	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	132
Şekil 5.75	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	132
Şekil 5.76	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince amper değişimi.....	133
Şekil 5.77	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	133
Şekil 5.78	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	134
Şekil 5.79	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	134
Şekil 5.80	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	135
Şekil 5.81	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	135
Şekil 5.82	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	136
Şekil 5.83	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	137
Şekil 5.84	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	137
Şekil 5.85	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	138
Şekil 5.86	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	138
Şekil 5.87	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	139
Şekil 5.88	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	140
Şekil 5.89	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	140
Şekil 5.90	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	141
Şekil 5.91	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	141
Şekil 5.92	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	142
Şekil 5.93	Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	142
Şekil 5.94	Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi .....	143
Şekil 5.95	Orta Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodiyaliz Prosesiyle Artırılabilirliği .....	144
Şekil 5.96	Orta yaşlı sızıntı sularının ED prosesi esnasında akım değişimleri.....	145
Şekil 5.97	Orta yaşlı sızıntı sularının elektrodiyaliz prosesiyle artırılabilirliği ve temel kirletici parametrelerin değişimi.....	146
Şekil 5.98	Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	147
Şekil 5.99	Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	148
Şekil 5.100	Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	149
Şekil 5.101	Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	149
Şekil 5.102	Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	150
Şekil 5.103	Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	151



Şekil 5.104 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	151
Şekil 5.105 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	152
Şekil 5.106 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	153
Şekil 5.107 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	153
Şekil 5.108 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	154
Şekil 5.109 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	155
Şekil 5.110 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	155
Şekil 5.111 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	156
Şekil 5.112 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	157
Şekil 5.113 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi .....	157
Şekil 5.114 Yaşlı sızıntı sularının ED prosesiyle iletkenlik değişimleri .....	158
Şekil 5.115 Yaşlı sızıntı sularının ED prosesi esnasında akım değişimleri .....	159
Şekil 5.116 Yaşlı sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliği ve temel kirletici parametrelerin değişimi .....	160
Şekil 5.117 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	163
Şekil 5.118 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	164
Şekil 5.119 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	165
Şekil 5.120 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	166
Şekil 5.121 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	167
Şekil 5.122 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	167
Şekil 5.123 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	168
Şekil 5.124 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	169
Şekil 5.125 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	170
Şekil 5.126 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	171
Şekil 5.127 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi .....	172



Şekil 5.151 Yaşlı Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolitte H İyonu Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	192
Şekil 5.152 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	193
Şekil 5.153 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	194
Şekil 5.154 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	195
Şekil 5.155 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	196
Şekil 5.156 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	197
Şekil 5.157 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	198
Şekil 5.158 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	199
Şekil 5.159 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	200
Şekil 5.160 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	201
Şekil 5.161 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	202
Şekil 5.162 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	203
Şekil 5.163 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	203
Şekil 5.164 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	204
Şekil 5.165 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	205
Şekil 5.166 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi.....	206
Şekil 5.167 Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodializ Süresince Anolit ve Katolit Sıvılarının H ve OH İyon Konsantrasyonlarının Değişimi.....	207
Şekil 5.168 Anolit ve Katolit Sıvılarının H ve OH İyon Konsantrasyonlarının Atıksu / Anolit-Katolit Oranına Bağlı Olarak Değişimi.....	208

	Sayfa
Çizelge 2.1	Depo sahasının yaşına bağlı olarak sızıntı suyunun genel özellikleri ..... 12
Çizelge 2.2	Biyolojik stabilizasyon fazları esnasında sızıntı suyunun karakteristiği .. 12
Çizelge 2.4	Kömürçüoda ve odayeri sızıntı sularının karakteristikleri..... 15
Çizelge 2.5	Bazı avrupa ülkelerindeki sızıntı sularının yüzeysel su deşarj değerleri. 18
Çizelge 2.6	Aritma sistemlerinin giderim performanslarının karşılaştırılması ..... 19
Çizelge 2.7	Sızıntı suları için farklı arıtım yöntemlerinin giderim verimleri..... 20
Çizelge 2.8	Çeşitli arıtma kombinasyonlarının gideriminin karşılaştırılması ..... 21
Çizelge 3.1	En çok kullanılan elektrot malzemeleri ..... 40
Çizelge 3.2	Bipolar membran üreticileri ve özellikleri ..... 47
Çizelge 3.3	Bazı değerlendirme çalışmaları, karakteristik özellikleri..... 53
Çizelge 3.4	Iowa state elektrodializ tesisine ait ekonomik analiz..... 59
Çizelge 4.1	Çalışmada kullanılan sızıntı suyuna ilişkin karakterizasyon değerleri..... 63
Çizelge 4.2	BMED prosesinde kullanılan çözeltiler ..... 70
Çizelge 4.3	BMED sisteminde kullanılan iyon seçici membranların özellikleri..... 70
Çizelge 4.4	Çalışma süresince yapılan analizler ve kullanılan yöntemler ..... 70
Çizelge 5.1	Ön Arıtıma İlişkin Çalışma Seti..... 74
Çizelge 5.2	Ön Arıtıma İlişkin Çalışma Seti..... 101
Çizelge 5.3	Ön Arıtıma İlişkin Çalışma Seti..... 102
Çizelge 5.4	Farklı membran dizilimleri..... 104
Çizelge 5.5	Anolit, katolit ve elektrolit sıvıları ..... 106
Çizelge 5.6	Optimizasyon çalışmalarına ilişkin çalışma seti..... 106
Çizelge 5.7	Genç sızıntı suları için yapılan optimizasyon çalışmaları, çalışma seti.. 108
Çizelge 5.8	Genç sızıntı suları için yapılan optimizasyon çalışmaları, çalışma seti.. 124

---

**SIZINTI SULARININ ELEKTRODİYALİZ PROSESİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN VE GERİ KAZANIM AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fatih İLHAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ

Atıksular, arıtımının yanı sıra arıtım esnasında oluşan çıktılarının da değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Elektrodializ prosesinde ise yüksek kalitede su eldesi sağlanabilir. Eş zamanlı olarak oluşan membran proseslerinde en büyük sorun diye kabul edilen konsantre kısımlarının kullanılabilir biçimde olması önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında atık oluşturmeyen bir proses olarak detaylı bir biçimde irdelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada elektrodializ prosesinin performansını belirleyebilmek için farklı yaşlardaki (farklı karakterlere sahip) sızıntı suları ayrı ayrı elektrodializ prosesine arıtılmaya çalışılmıştır. Elektrodializ prosesi için uygun bir ön arıtım tekniği kullanılarak sızıntı suları elektrodializ prosesine hazır hale getirilmiştir. Akabinde bipolar membranlı elektrodializ prosesi her üç sızıntı suyu tipi içinde çalıştırılmıştır. Farklı işletme şartları altında elektrodializ deiyonizasyon performansı incelenmiş, anolit ve katolit solüsyonlarında da asidik/alkalilik özellikleri belirlenip kullanılabilirlikleri irdelenmiştir.

Yapılan çalışmada ön arıtım amacıyla elektrodializ membranlarının tıkanmasını önleyebilmek için bir ultrafiltrasyon ünitesi kurulmuştur. Akabinde membran yüzeylerinde +2 değerlikli başta Ca ve Mg olmak üzere oluşması muhtemel kirliliği önleyebilmek için seri bağlı 5 kademeli katyon değiştirici kullanılmıştır. Ön arıtım ile kalsiyum giderimine bakıldığında sırasıyla genç, orta yaşlı ve yaşlı sızıntı suları için %94,1, %93,6 ve %88,2'lik bir giderim verimi elde edilebilmiştir. Benzer şekilde

magnezyum iyonları için de genç orta ve yaşlı sızıntı suları için sırasıyla %97,1, %99,5 ve %88,7'lik giderim verimine ulaşılabilmiştir.

Ön arıtım sonrası membran dizilimi ve elektriksel gerilim gibi işletme parametreleri üzerinde optimizasyon çalışması yapılmış ve kirleticilerin deiyonizasyonu sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda en iyi verim genç sızıntı suları için 4 bipolar membran içeren 25V'luk elektriksel gerilim uygulanan çalışmada elde edilmiştir. Bu çalışmada 190 dakikalık süre sonunda sızıntı suyunun 22 mS/cm'den 2mS/cm iletkenlik seviyesine indirgenebilmiştir. Orta yaşlı sızıntı sularında ise en iyi sonuç tek membranlı ve 25 V'lu elektriksel gerilim uygulanan çalışmada elde edilmiştir. Bu çalışmaya göre sızıntı suyu 14,6 mS/cm'den 2mS/cm'nin altına indirgenebilmiştir. Yine bu çalışmada %96,15'lik bir amonyak azotu giderimi, %92,8'lik bir TKN giderimi, %86,7'lik bir KOİ giderimi elde edilebilmiştir. Yaşlı sızıntı sularında ise 4 membranlı ve 25V elektriksel gerilim uygulanan çalışma en verimli çalışma olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise 300 dakikalık süre sonunda 26.4mS/cm'lik iletkenlik değeri 2mS/cm seviyesinin altına indirgenebilmiştir.

Arıtma sonucu elde edilen anolit ve katolit çözeltilerinde sürekli olarak pH ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda genç sızıntı sularında  $H^+$  ve  $OH^-$  iyon konsantrasyonları sırasıyla 0,024M ve 0,042 M mertebelerine ulaşmıştır. Benzer şekilde orta yaşlı sızıntı sularında da  $H^+$  ve  $OH^-$  iyon konsantrasyonları sırasıyla 0,095M ve 0,048M seviyelerine kadar artış göstermiştir. Yaşlı sızıntı suları ile yapılan çalışmada da  $H^+$  ve  $OH^-$  iyon konsantrasyonları sırasıyla 0,022M ve 0,026M seviyelerine ulaşmıştır. Bu çalışmaların tamamı 1L atıksuya karşın 1'er L'lik anolit ve katolit çözeltisinde elde edilmiştir. Bu nedenle anolit ve katolit hacimleri atıksuya oranla daha küçük hacimlerde alınarak anolit ve katolitin daha yoğun bir hal alması sağlanmıştır. Bu amaçla yapılan konsantrasyon artışı çalışmalarında anolit ve katolit hacmi 4 kat azaltıldığında  $H^+$  iyon konsantrasyonu 0,019M seviyesinden yaklaşık 3,8 kat artış göstererek 0,076 M seviyelerine kadar katolitte  $OH^-$  iyon konsantrasyonları da 0,023 M mertebesinden 3,98 kat artış göstererek 0,0933 M seviyelerin yoğunlaştırılabilmiştir. Bu hacimlerin daha da azaltılarak daha yoğun asidik ve alkali çözelti eldesi sağlanabileceği görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda elektrodializ prosesiyle farklı karaktere sahip atıksuların özellikle iyonik kirleticiler açısından etkin bir giderim verimi ile artırılabilceği görülmüştür. Aynı zamanda oluşan atıkların asidik ve alkali formda olması nedeniyle karışık asit ve karışık baz şeklinde değerlendirilebilir formda olduğu görülmüştür. Sonuç olarak tek bir prosesle hem arıtımın sağlanabildiği ve hem de arıtma çıktılarının değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrodializ, geri kazanım, bipolar membran, sızıntı suyu, asit geri kazanımı, baz geri kazanımı

**INVESTIGATION OF TREATABILITY AND RECYCLING OF LANDFILL  
LEACHATE BY ELECTRODIALYSIS PROCESS**

Fatih İLHAN

Department of Environmental Engineering

PhD Thesis

Advisor: Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ

Beside the treatment of wastewaters, it is very important to make use of treatment byproducts. Electrodialysis process could produce high quality waters. Simultaneously, it is very beneficial that the byproducts of the process, the concentrate which is considered the origin of problems for membrane processes, could be used. Thus, these processes need to be evaluated in detail as those with no byproducts.

This study focuses on the treatment of three leachates of various ages (with differing characteristics) by electrodialysis process to evaluate the process performance. Before applying electrodialysis, a proper pretreatment method was applied to the leachates to prepare them for the electrodialysis process. Three leachates of various ages were then treated by the bipolar-membrane electrodialysis process under different operational conditions to evaluate the process' deionization performance. Further, the use of anolite and catholide solutions were investigated based on their acidic/alkaline properties.

In the study, an ultrafiltration unit was installed as a preliminary treatment unit to prevent fouling of electrodialysis membranes. The ultrafiltration unit was followed by a five-stage cationic exchanger to remove primarily divalent cations such as calcium and magnesium. Calcium removal efficiencies of preliminary treatment were 94.1%, 93.6%, and 88.2% for young, medium-aged, and old leachates, respectively. Magnesium removal efficiencies were 97.1%, 99.5%, and 88.7%, respectively.

In the deionization process after the preliminary treatment, an optimization work was done on operational parameters such as membrane order and voltage. Best performances were obtained for young leachate for which four bipolar membranes were used at a voltage of 25 V. The conductivity of leaches after a runtime of 190 minutes were reduced from 22 mS.cm<sup>-1</sup> to 2 mS.cm<sup>-1</sup>. For medium-aged leachate, the best performance was observed in the case of single membrane operated at a voltage of 25 V, with a reduction of leachate conductivity from 14.6 mS.cm<sup>-1</sup> to 2 mS.cm<sup>-1</sup>. For this case, removal efficiencies of 96.15%, 92.8%, and 86.7% were obtained for NH<sub>4</sub>-N, TKN, and COD, respectively. The best treatment performance for old leachate was obtained in the case of four membranes operated at a voltage of 25 V, with a reduction in leachate conductivity at the end of 300 minutes from 26.4 mS.cm<sup>-1</sup> to less than 2 mS.cm<sup>-1</sup>.

Anolite and catholite solutions were continuously monitored for pH. For young leachate, the hydrogen and hydroxide ion concentrations were measured as 0.024M and 0.042M, respectively. For medium-aged leachate, the concentrations rised up to 0.095M and 0.048M, respectively. Highest concentrations for old leachate were observed as 0.022M and 0.026M, respectively. All of these results were obtained for 1 L each of anolite and catholite solutions per 1 L of wastewater. Therefore, volumes of anolite and catholite solutions lower than that of wastewater were taken to concentrate the anolite and catholite solutions. At the end of concentration studies in which the volumes were reduced by a factor of four, hydrogen ion concentrations increased, by a factor of 3.8, from 0.019M to 0.076M, while hydroxide ion concentrations increased, by a factor of 3.98, from 0.023M to 0.0933M. It is evident that the concentrations of hydrogen and hydroxide ions may be increased to higher levels by reducing the volumes, through which more concentrated acidic and alkaline solutions may be obtained.

This study shows that wastewaters of various characteristics can be treated by electro dialysis process with high removal efficiencies especially in the aspect of ionic pollutants. Besides, the byproducts of the process could be of great value since they can be obtained as concentrated acids and bases. In conclusion, both treatment and use of byproducts can be accomplished in a single process.

**Key words:** Electrodialysis, Recovery, Bipolar Membrane, Leachate, Acid Recovery, Base Recovery



#### 1.1 Literatür Özeti

Elektrodiyaliz prosesi diğer membran proseslerden farklı olarak itici güç olarak elektriksel akımı kullanmaktadır. Bu haliyle yeni bir proses gibi görünse de özellikle proses sularının geri kazanımına ilişkin bir çok çalışma mevcuttur. Genellikle basit desalinasyon proseslerinde ve asidik ya da alkali çözeltilerin daha da yoğunlaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle muadil prosesleri olan membran proseslerine göre konsantrasyon akımı içermemesi ve basınç maliyetinin olmaması önemli avantajları arasında yer almaktadır. Buna mukabil düşük elektriksel gerilim kuvvetleriyle yüksek iyon taşınımı bu proses ile mümkün olabilmektedir.

Literatüre bakıldığında yoğun bir biçimde geri kazanım amacıyla kullanılan bu proses proses suları üzerinde çalışılmıştır, atıksu arıtımı için çok fazla kullanılmamıştır. Özellikle iyonik açıdan çok yoğun kirleticiler içeren ve arıtımı en zor atıksuların başında yer alan sızıntı sularının bu proses ile arıtılabilirliği üzerine yalnız Schoeman çalışmış olup bu konuyla ilgili literatüre iki adet çalışma kazandırmıştır. Yalnız bu konuda yapmış olduğu çalışma gerek sızıntı suyu karakterizasyonu ve gerekse geri kazanım açısından yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma da yapılan detaylı incelemelerle elektrodiyaliz prosesinin atıksular için arıtım amaçlı kullanılabileceğini, oluşan atıkları geri kazanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca elektrodiyaliz prosesi uygulamasına ilişkin olası problemlere sunulan çözüm önerileri ve bazı püf noktaları üzerinde de önemli bilgiler vermektedir.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu çalışma ile proses sularında etkin bir biçimde kullanılan elektrodializ prosesiyle arıtımı en zor atıksuların başında gelen sızıntı sularının arıtımının sağlanması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda arıtım sonucu ayrı bir fraksiyon haline dönüşen taşınmış kirleticilerin de asidik ve alkali çözeltiler biçimde yeniden kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Özellikle oluşan atıkların çok küçük hacimlerde oluşu ve bu kirleticilerin yeniden kullanılabilir vasıfta olması nedeniyle önemli bir problem olan arıtma çıktılarının değerlendirilebilirliğinin görülmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu prosesin farklı atıksularda da uygulanabileceğinin gösterilebilmesi için 3 farklı yaşta ve farklı karakterde sızıntı suyu ile çalışılması planlanmıştır. Bu sayede her 3 proses için de işletme şartları üzerinde optimizasyon yapılarak optimum işletme şartlarının tespiti amaçlanmıştır. Aynı zamanda prosesin uygulanması esnasında ortaya çıkması muhtemel problemlerin de tespiti ve çözüm önerileri açısından bir rehber niteliği taşıyacak kaynak olması düşünülmektedir. Tüm bu amaçlar doğrultusunda bu çalışma "Doktora Tezi" olarak hazırlanmıştır.

## **1.3 Orijinal Katkı**

Bu çalışma kapsamında farklı karakterlere sahip 3 atıksu prosesi eş zamanlı olarak hem arıtılmakta ve hem de arıtma çıktılarının asidik ve alkali çözeltileri biçiminde kullanılabilirliği test edilmektedir. Dolayısıyla yüksek kirlilik içeriğine sahip bir atıksuyun tek bir arıtım yöntemiyle atık oluşturmadan arıtılabilirliği ve yeniden kullanılabilirliği çalışılmıştır. Çalışmanın bu haliyle son derece özgün olduğu açıktır. Aynı zamanda farklı karakterlerdeki atıksular üzerinde etkili oluşu bu yöntemin bir çok atıksu için rahatlıkla kullanılabilmesinin göstergesidir. Bu açıdan atık oluşturmayan bir prosesin farklı atıksular üzerinde de etkin olduğunun belirlenmesi arıtma dünyası için önemli bir katkı niteliği taşımaktadır.

### SIZINTI SULARI

#### 2.1 Genel

Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddelere ve arıtma çamuruna katı atık diyoruz [1]. Katı atıkların bir çok bertaraf yöntemi olmasına karşın gelişmekte olan ülkeler (dolayısıyla ülkemizde) düşük ilk yatırım maliyeti ve hemen hemen her katı atığa uygulanabilirliği için en çok düzenli depolama tekniğini kullanmaktadır. Bu bertaraf yönteminin en büyük dezavantajı yöntemle birlikte kirlilik potansiyeli çok yüksek sızıntı suyunun oluşumudur. Sızıntı suyundan genel olarak bahsetmek gerekirse sızıntı suyu katı atıkların içinden süzülerek bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşur ve sızıntı suyu toplama sistemleri ile dışarıdan alınır. Katı atıkların içinden süzülen sızıntı suyu, katı atıkların muhtevassından kaynaklanan çok sayıda element ve bileşiği içerir.

#### 2.2 Sızıntı Suyu Oluşumu

Depolama alanları, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin gerçekleştiği ve böylelikle atıkların yapılarının değiştiği ve bozunmaya uğradıkları bir reaktör olarak düşünülebilir. Depolama alanına yağmur suyu girmesi ve atıkların biyokimyasal ve fiziksel parçalanması sonucunda organik ve inorganik kirlilik derecesi yüksek bir sızıntı suyu oluşur[2]. Depolama tekniğinin en büyük dezavantajı belirli debide sızıntı suyunun oluşumudur. Depo yerlerinde oluşan ve evsel atıksuların 100 mislinden daha kirlletici olabilen bu sızıntı sularında her türlü kirlleticiye üst düzeyde rastlanabilmektedir [3]. Sızıntı suyu oluşumunda yağış sularının çok büyük katkısının olması nedeniyle düzenli

depolama sahalarında yağış sızmasının önlenmesi sızıntı suyu oluşumunu azaltır. Düzenli depolamada sızıntı suyunun oluşumu, depolama hücresinde atıkların sıvı içeriğinin sıkışma sonucunda süzülmesiyle oluşur. Bu oluşum sırasında atığın genel su içeriğine atıklarda bulunan çözünmüş maddelerin de girmesi oluşan sızıntı suyun daha da kompleks bir hale getirir. Ayrıca depo hücresinde oluştuğu bilinen anaerobik duruma bağlı olarak çözünemeyen organiklerin bir kısmı çözünebilir forma dönüşerek sızıntı suyu bileşimine katkıda bulunabilmektedir. Atığın çözünmüş madde içeriği, ayrışabilirliği ve atığın genel karakteristik özellikleri, sızıntı suyu bileşiminin oluşumunda birinci derecede etkilidir. Ayrıca depo sahasının durumu ve meteorolojik faktörler de sızıntı suyu oluşumunda etkin rol oynarlar. Sızıntı suyu oluşumunda redoks reaksiyonlarının etkisi de büyüktür. Bu reaksiyonlara örnek olarak bir kaç aşağıda verilmektedir.

#### Oksidasyon-Redüksiyon Reaksiyonları;

Okside olmuş İndirgenmiş form



şeklinde özetlenebilir[4].

Sızıntı suyunu oluşturan etmenlerin başlıcaları yağış ve katı atık su içeriği olmasına karşın sızıntı suyu oluşumu incelendiğinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik faaliyetlerin önemli ölçüde etkilerinin olduğu açığa çıkmaktadır. Biyolojik faaliyetler ile sızıntı suyu içindeki çözünemeyen özellikteki bileşiklerin çözüner forma getirilmesi söz konusu olmaktadır. Ayrıca sızıntı suyunun oluşum mekanizması iyice incelendiğinde, adsorpsiyon ve difüzyon gibi fizikokimyasal faaliyetlerinde söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Bunlara ilave olarak, yüzeysel akışlar, yeraltı suyunun karışması, atığın bozunma reaksiyonları, evapotranspirasyon, nem tutma kapasitesi, infiltrasyon, geçirgenlik vb. faktörler de etkilidir[5].

Atıklar ilk depolandıklarında %20-40 arasında nem içerirler (ıslak ağırlık). Depo sahasına yüzeysel ya da yeraltı sularının girmesi veya yağışların infiltrasyonu sonucunda depodaki su miktarı artar. Atıkların sıkışması ile aşağılara sızan sular depo tabanına

doğru atıktan serbest sızacak durumda olduklarından, depo dreninden sızmaya başlarlar.

Sızıntı suyunun bileşenlerini temel anlamda üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

1. Depo sahalarında anaerobik ayrışmalar sırasında oluşan sızıntı suyu,
2. Depo sahasına dökülen ve sıkıştırılan katı atığın su içeren bileşiklerinin sıkıştırılmasından oluşan sızıntı suyu,
3. Depo sahası yüzeyine düşen yağış kontrol altına alınmamışsa, depo sahası kütlesinden geçerek oluşturduğu sızıntı suyu,

olarak ifade edilebilir[6].

Depo sahalarında sızıntı suyu oluşumuna neden olan birçok parametre vardır. Bunlar genel olarak;

- 1) Bölge iklimi,
- 2) Bölge topografyası,
- 3) Toprak cinsi,
- 4) Depo yeri hidrolojisi,
- 5) Depo altına geçirimsiz tabaka yayılması,
- 6) Depo üstünde toprak örtü kullanılması,
- 7) Katı atıkların cinsi,

gibi faktörlerden ibarettir [7].

Depolanan atığın su içeriği yanı sıra birçok atık bileşeni sızıntı suyunun oluşumuna etki eder ve bu suretle karakteristiğinin değişimi de söz konusu olur. Farklı karakteristikteki sızıntı sularının yönetiminde; büyük ölçüde farklı olacağından dolayı, sızıntı suyu oluşumu mekanizmalarını iyi bilmek, arıtılabilirliğini belirlemek ve uygun yöntemlerin seçimi için büyük önem taşımaktadır.

### **2.3 Sızıntı Suyu Miktarı**

Sızıntı sularının arıtımında, arıtma tesisinin tasarımı çok dikkatle yapılmalıdır. İlerleyen yıllarda oluşacak şartlara göre tesisin dizayn edilmesi gerekir. Arıtma tesisinde

kullanılacak arıtma yöntemleri belirlenmesi kadar sızıntı suyunun debisinin belirlenmesi de önemlidir. Çok karmaşık olaylar sonucunda oluşan sızıntı suyunun miktarının belirlenmesi oldukça zordur. Özellikle birkaç sene sonra oluşacak sızıntı suyu debisini belirlemek için çok dikkatli davranmak gerekir. Çöplerin sıvı içeriği yüksek olmasının yanı sıra, tüm sıvıyı absorplayacak niteliği bulunmaması ve sızdırması sızıntı suyu miktarının arttıran önemli etmenlerdendir.

Genel olarak bakıldığında sızıntı suyu miktarı bölgeye düşen yağış miktarı ile doğru orantılıdır. Hatta daha gerçekçi bir tabirle sahaya giren su miktarıyla sızıntı suyu miktarı orantılıdır. Ayrıca sızıntı suyu miktarı sıkıştırma şekline ve bölgenin buharlaşma miktarına da önemli ölçüde bağlıdır.

Sızıntı suyu miktarının ve kirletici içeriğinin düşük olması için dikkat edilmesi gerek bazı hususlar vardır. Bunlardan birkaçı aşağıda verilmiştir[8];

- 1) İyi sıkıştırma ekipmanı (kompaktör)
- 2) Atıkların ince tabakalar halinde yüklenmesi
- 3) Dipteki 2 m'lik atık (çöp) tabakasının aerobik şekilde bozuşmasını bekledikten sonra sıkıştırılıp üstüne yeni atıkların (çöplerin) dökülmesi

Sızıntı suyunun miktarının belirlenmesi her ne kadar önemli olsa da tam olarak belirlemek imkânsızdır. Bir bakıma tahmin yöntemi kullanılmaktadır. Yine de yaklaşık bir sonuç bile elde etmek çok zordur. Bunun nedenleri [4];

- 1) Eysel atıklar heterojendir ve bölgelere bağlı olarak değişiklik gösterirler.
- 2) Büyük hacimli ve tam olarak temsili numune almak zordur.
- 3) Bu konuda yeterli standart yoktur.
- 4) Atıkların özellikleri zamana ve işletmeye bağlı olarak aynı depolama sahasında bile farklılık göstermektedir.
- 5) Sahada ölçümleri takip eden personelin konuyla ilgili tecrübe ve eğitimi ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.

Tüm bu nedenlerden dolayı belirlemek zorunda olduğumuz sızıntı suyu miktarını tam olarak belirleyememekteyiz. Bu nedenle sızıntı suyu yönetimi için bu kademe ayrı bir önem taşımaktadır.

Sızıntı suyunun miktarını etkileyen bir çok faktör vardır. Sızıntı suyu miktarını belirlemeden önce bu faktörlerin iyice irdelenip dikkate alınması gerekmektedir. Sızıntı suyunun miktarını etkilen faktörleri aşağıda incelenmiştir:

### 2.3.1 Sızıntı Suyu Miktarını Etkileyen Faktörler

- 1) Yağış Miktarı: Yağış miktarı sızıntı suyu oluşumunu etkileyen faktörler arasında ilk sırada yer alır. Bunun temel nedeni yağışla birlikte depo alanı üzerine gelen su, sızmalar sonucu sızıntı suyu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle sızıntı suyu oluşumunda yağmur sularından kaynaklanan miktarın belirlenmesi oldukça önemlidir. Organik karbon, azot ve fosfor türleri yağışlarla giderek seyrelme vasıtasıyla azalmaktadır. Konsantrasyonların azalması kurak mevsimlerde durmakta, hatta konsantrasyonlarda belirli oranda tekrar yükselme gözlenebilmektedir. Bu, mevsimlik yağış farklılıklarının konsantrasyon salınımları meydana getirdiğini ortaya koymaktadır [3]
- 2) Yüzeysel Akış: Depolama tesislerinin üzerinden yağış ile geçen sıvının oluşturduğu akıma genel olarak yüzeysel akış denmektedir. Yüzeysel akış değerleri yağış şiddetine, toprağın içerdiği neme, bölgenin morfolojik ve topografik özelliklerine bağlıdır. Sızıntı suyunun oluşumunun hesaplanmasında yüzeysel akış miktarının da belirlenmesi gerekir. Bu amaçla Rasyonel Metot ve Sızma Eğrisi kullanımı en yaygın metotların başında gelir.
- 3) Buharlaşma ve Terleme Kayıpları: Çoğu su içeren ortamda olduğu gibi depolama sahalarında da zemin nemi ve yağışın oluşturduğu nem uygun şartlar altında buharlaşır. Buharlaşmaya etki eden başlıca faktörler olarak sıcaklık, rüzgâr hızı, buharlaşma yüzeyi ile hava basıncı arasındaki farkı, atmosfer basıncı ve buharlaşacak olan sıvının özgül ağırlığı sayılabilir. Buharlaşacak olan bir sıvının özgül ağırlığı ne kadar yüksek olursa buharlaşma miktarı da o derece düşer. Ayrıca porozitesi yüksek ortamlarda (Toprak ya da depo sahası) düşük poroziteli ortamlara oranla daha fazla buharlaşma gerçekleşir. Buharlaşma için önemli olan bir diğer unsur ise zeminin üst tabakalarındaki nem ve zeminin su iletme kapasitesidir. Depo sahalarının nihai örtü tabakalarına bitki ekildiğinde o bölgede terleme sonucu bir su kaybı gerçekleşecektir. Bir bölgede; zeminden su ve kar yüzeylerinden buharlaşma ve terleme ile meydana gelen toplam su kayıplarına buharlaşma ve terleme

kayıpları denir. Nihai örtüler kil içerdiği takdirde kuraklaşma sonucu depo sahası yüzeyinde çatlaklar oluşabilir. Bu şekilde oluşan çatlaklar vasıtasıyla olası bir su girişi ile direkt olarak sızıntı suyu oluşumuna karışır ve bu durum buharlaşma ve terleme kayıplarını büyük ölçüde azaltır. Depo yerinde organiklerin biyolojik bozunması sırasında oluşan sıcaklık, depo gazı ile beraber su buharlarının da ortamdaki uzaklaşmasına neden olur.

- 4) Katı Atığın Nem Tutma Kapasitesi: Depo sahasına gelen katı atıkların sıkıştırma işlemi sonrasında bünyelerinde bulunan su yerçekiminin etkisiyle serbest hale gelir. Bu su doygun halde olmayan atıklar tarafından arazi kapasitesine ulaşıncaya kadar absorbe edilir geriye kalan su ise sızıntı suyu olarak akışa geçer. Atıkların sıkıştırılması sayede daha az geçirgen bir çöp tabakası oluşur. Atık neminin en büyük değeri özgül su tutma miktarına eşittir. Buna atığın arazi kapasitesi adı verilir. Atığın ulaşabileceği minimum nem değerine ise solma noktası rutubeti denir. Buna göre depo sahalarında üst örtüden sızan suyun atık tarafından absorplanacağı miktarı arazi kapasitesi ile solma noktası arasındaki fark kadar olacaktır. Evsel katı atıkların kapiler kuvvet olarak bilinen depo sahasında oluşan sıvının fiziksel absorpsiyonu ve boşluk yüzeyindeki absorpsiyon olmak üzere iki temel nem tutma mekanizması vardır. Absorplama kapasitesi, atığın yoğunluğuna atığın sıkıştırılıp sıkıştırılmadığına, ve yağış yoğunluğuna bağlıdır.

### 2.3.2 Sızıntı Suyu Miktarının Hesaplanması

Sızıntı suyu miktarını yaklaşık olarak hesaplayabilmek için basit kütle denkliği kullanılabilir. Kütle denkliği dikkate alındığında depo alanına giren su miktarı ile çıkan su miktarının eş miktarda olduğu kabul edilecektir. Bu yöntemde en önemli nokta tüm su giriş çıkışlarını göz önünde tutmaktır.

Kütle denkliğinin bir uygulaması ise aşağıda verilmiştir[4].

L : Çöp sızıntı suyu oluşumu ( $m^3/yıl$ )

P : Yağış miktarı ( $m^3/m^2/yıl$ )

S1: Çöp sahası tesirli drenaj alanı ( $m^2$ )

J :Sızıntı suyu geri devri ( $m^3$ )



R :Yüzeysel akış (m<sup>3</sup>)

E : Evapotranspirasyon hızı ( m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/yıl)

S2 =Ortalama çöp bertaraf alanı (düz. Dep) (m<sup>2</sup>)

B = Biyolojik bozunmada üretilen veya tüketilen su miktarı

U = Atığın su muhtevası

W = Düzenli depolamada çöpleri sıkıştırma esnasında çöpten sızan su (m<sup>3</sup>)

W = lw x Q

lw = Sıkıştırma esnasında çöpten sızan birim su (m<sup>3</sup>/lt çöp) (İtalya'da 0.017 m<sup>3</sup>/lt çöp)

Kütle denkliğinden yola çıkarsak;

$$L \approx P \times S1 + W + J - E \times S2 - R \pm B \pm U$$

şeklinde bulunabilir.

Sızıntı suyu miktarları literatürde 2–5 m<sup>3</sup>/ha/gün olarak göze çarpmaktadır. Ülkemizde ise fiili durum 15–35 m<sup>3</sup>/ha/gün mertebelerindedir(Yıldız, 2005). Bunun en genel nedeni depo alanlarının yetersiz olması nedeniyle aşırı yüklemekten ve yağışların yeterli düzeyde engellenememesidir.

#### **2.4 Sızıntı Suyunun Kirletici Özellikleri**

Sızıntı suları genel olarak bakıldığında yüksek organik kirlilik içeriğine sahip, koyu renkli, kokulu, yüksek ağır metal içeriğine sahip kompleks ve hemen hemen her türlü kirletici parametrenin içeriğinde bulunması nedeniyle arıtılması güç ama zorunlu olan bir kirletici kaynağıdır.

Kompleks bir içeriğe sahip olan sızıntı suyunun içeriği çok farklı değerler almaktadır. Literatür incelendiğinde verilen sızıntı suyu karakteristikleri arasında çok büyük salınımlar olmaktadır. Bunun başlıca nedeni kompozisyonunun çok farklı kaynaklardan etkilenmesine dayanmaktadır. Bölgede yaşayan halkın genel özellikleri katı atık içeriğini etkilediği gibi sızıntı suyu içeriğini de etkilemektedir. Ayrıca bölgenin jeolojik yapısı da örtü malzemesine bağlı olarak sızıntı suyunu etkileyen faktörler arasındadır. Bu gibi

nedenlerden dolayı aşırı salınım gösterme eğiliminde olan sızıntı suyunun içeriği gün be gün değişebilmektedir.

Sızıntı suyunun karakteristiğinin bağlı olduğu başlıca parametreler şunlardır;

- 1) Katı atık bileşenleri
- 2) Depo yaşı
- 3) Depo alanının hidrojeolojik durumu
- 4) Depo içindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler
- 5) Katı atıktaki su miktarı
- 6) Sıcaklık
- 7) pH
- 8) Redox potansiyeli
- 9) Stabilizasyon derecesi
- 10) Katı atık depolama yüksekliği
- 11) Depolama sahasının işletilmesi ve iklim şartları.

Sızıntı suyu bileşimi depo yaşına bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle, sızıntı suyunda herhangi bir kirletici için sabit bir konsantrasyon değerinden söz etmek mümkün değildir. Ancak genel olarak bütün kirletici konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak bir azalma eğiliminden söz edilebilir[4].

Sızıntı suyundaki kirleticiler dört grup altında incelenebilir;

- 1) Çözünmüş organik maddeler; KOİ, TOK, Uçucu yağ asitleri (UYA), fulvik ve humik asitler.
- 2) İnorganik makro bileşenler; kalsiyum ( $Ca^{+2}$ ), magnezyum ( $Mg^{+2}$ ), amonyum ( $NH_4^+$ ), sodyum ( $Na^+$ ), potasyum ( $K^+$ ), demir ( $Fe^{+2}$ ), mangan ( $Mn^{+2}$ ), sülfat ( $SO_4^{-2}$ ), klorür ( $Cl^-$ ), ve bikarbonat ( $HCO_3^-$ )
- 3) Evsel ve endüstriyel kimyasallardan kaynaklanan ve genellikle 1mg/l'den daha düşük konsantrasyonlarda mevcut olan ksenobiyotik organik bileşikler (XOC). Bu bileşikler aromatik hidrokarbonlar, fenoller, klorlu alifatikler ve pestisitler gibi bileşikler ihtiva ederler[5]

Tipik bir sızıntı suyu karakteristik tablosu incelendiğinde birçok parametre ile karşılaşılacaktır. Sızıntı suyunun kirlilik potansiyelini ve arıtılabilirliğini temsil edecek

parametreler, önde gelen parametrelerdir. Sızıntı suyu özelliklerini belirten ana parametreler şunlardır;

- 4) Toplam Organik Karbon (TOK) : Sızıntı suyu içerisinde bulunan karbonlu bileşiklerin tamamını belirten bir parametredir. Özellikle KOİ ile belirlenemeyen organik kirliliği tam olarak belirleyebilen kesin sonuç alınabilen bir parametredir.
- 5) Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) : Sızıntı suyu içerisinde bulunan biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin bir göstergesidir. Bu parametrenin bilinmesiyle sızıntı suyundaki kirlilik potansiyelinin zamanla ne ölçüde değişebildiği kısmen belirlenebilir ve çeşitli çözüm önerileri türetilebilir.
- 6) Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) : Gerek atıksularda ve gerekse sızıntı sularında kirlilik potansiyelini belirlemede en sık kullanılan parametredir. Su içerisinde bulunan organik kirliliği ifade etmekte kullanılmaktadır.
- 7) Azot Bileşikleri: Sızıntı suyunda gidermenin en zor olduğu parametrelerin başındadır. Oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunması giderimini daha da zorlaştırmaktadır.
- 8) Uçucu Yağ Asitleri: Sızıntı sularının karakteristiği için önemli bir parametredir. Depo alanı içinde gerçekleşen biyolojik aktivitelerin boyutunu belirleyebilmek amacıyla önemlidir[4].

Ayrıca sızıntı suyu karakteristiğini ve kirlilik potansiyelini tam anlamıyla belirleyebilmek için KOİ/TOK ya da BOİ/TOK oranlarının bilinmesine de ihtiyaç vardır. Bu parametreler arasındaki ilişki incelendiğinde depo sahasının o anki durumu hakkında bir ön bilgi edinebiliriz. Sızıntı suyunda KOİ/TOK değerleri incelendiğinde genç sızıntı sularında bu değer 4,0 mertebelerine kadar çıkabilirken yaşlı sızıntı sularında bu değer 0,16 gibi bir değere kadar düşmektedir. Bu da karbonlu bileşiklerin zamanla değiştiği ve organik kirliliğin türünün kısmen değiştiğini göstermektedir. BOİ/TOK parametresinde de benzer bir durum söz konusudur. BOİ/TOK parametresinde genç sızıntı suları incelendiğinde elde edilen değer 0,6-1 değerleri arasında değişirken yaşlı sızıntı sularında bu değer 0 – 0,3 değerleri arasında olmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise depo alanında gerçekleşen anaerobik ortam neticesinde biyolojik bir ayrışma oluşması ve biyolojik olarak parçalanabilir organik maddelerin zamanla ortamdan giderilmesi

olarak gösterilebilir. Başka bir kaynağa göre ise bu oran genç depo sahaları için 3.3 iken yaşlı depo sahaları için 1.16'ya kadar düşebilir[9].

Sonuç olarak sızıntı sularında BOİ, KOİ ve TOK parametreleri kendi içlerinde önemli oldukları kadar birbirleriyle orantıları da çok önemli bir hal almaktadır. Bu oranlardan da anlaşılacağı üzere yıllara bağlı olarak depo içindeki biyolojik faaliyetler neticesinde büyük ölçüde kompozisyon değişimleri oluşmaktadır[10].

Çizelge 2.1'de BOI/KOI oranının depo sahasının yaşıyla ve sızıntı suyunun tipiyle ilişkisi verilmiştir[11].

Çizelge 2.1 Depo sahasının yaşına bağlı olarak sızıntı suyunun genel özellikleri

Katı Atık Depo Sahasının Yaşı	BOİ <sub>5</sub> /KOİ Oranı	Sızıntı Suyunun Tipi
Yeni	0,7	Taze, hidroliz safhasında
Stabilizasyon Safhası	0,5	Kısmen hidroliz olmuş
Stabilizasyon Safhası	0,3	Kısmen stabil
Eski	0,1	Tam stabil

Sızıntı suları incelendiğinde depo alanında gerçekleşen biyolojik aktivitenin aşamalarının değişimine göre karakteristiği değişim göstermektedir. Bu amaçla yapılan bir araştırma sonuçları Çizelge 2.2'de verilmiştir[4].

Çizelge 2.2 Biyolojik stabilizasyon fazları esnasında sızıntı suyunun karakteristik durumu

Parametre	Biyolojik Stabilizasyon Fazları					
	(mg/L)	Geçiş Fazı	Asit Fazı	Metan Fazı	Stabilizasyon Fazı	Aralık Değeri
BOİ <sub>5</sub>		100-10900	1000-57500	600-3400	4-120	4-57700
KOİ		480-18000	1500-71100	580-9760	31-900	31-71700
TOK		100-3000	500-27700	300-2230	70-260	70-27700
UYA		100-300	3000-18800	250-4000	-	0-18800
BOİ <sub>5</sub> /KOİ		0,23-0,87	0,4-0,8	0,17-0,64	0,002-0,13	0,02-0,87
KOİ/TOK		4,3-4,8	2,1-3,4	2,0-3,0	0,4-2,0	0,4-4,8
TKN		180-860	14-1970	25-82	7-490	7-1970
NO <sub>3</sub> -N		0,1-5,1	0,05-19	-	0,5-0,6	0,5-1
NH <sub>3</sub> -N		120-125	2-1030	6-430	6-430	2-1030
NH <sub>3</sub> -N/TKN		0,1-0,9	0-0,98	0,1-0,84	0,5-0,97	0-1,0
TP		0,6-1,7	0,2-120	0,7-14	0,2-14	0,2-120
Pb		0,001-0,004	0,01-1,44	0,01-0,1	0,01-0,1	0,001-1,44
Mg		66-96	3-1140	81-505	81-190	3-1140
Mn		0,6	0,6-41	0,6	0,6	0,6-41
Alkalinite		200-2500	140-9650	760-5050	200-3520	140-9650

Sızıntı suyu karakteristiğindeki bu önemli değişimlerin en büyük etkeni ilerleyen zamana bağlı olarak depo alanı içinde gerçekleşen biyolojik arıtmadan kaynaklanmaktadır.

Genel olarak dikkat edildiğinde kirlilik parametreleri ilerleyen yıllarda azalır gibi görünse de, kirliliklerin daha dirençli olan giderilemeyen kısımların kalması nedeniyle bu suların arıtımı çok daha zordur. Literatürde giderilemeyen KOİ ismini alan durumdaki kirleticilerin yoğun olduğu bu dönem sızıntı sularını istenilen seviyeye çekmek biyolojik arıtımla mümkün olmamaktadır. Zaten BOİ/KOİ oranının çok düşük olması bunun bir kanıtıdır. Bu şekildeki sızıntı sularının arıtımı için kimyasal arıtım daha uygun düşmektedir. Atık yaşı ile sızıntı suyunda bulunan organik kirliliğin azalmasının daha çok mikrobiyolojik olarak refraktöre bileşiklerin son ürünleri ile hidrolize olabilen organiklerin fermantasyonundan dolayı olduğuna inanılır[12].

## **2.5 Sızıntı Sularının Zararları ve Yönetimi**

Sızıntı sularının temel karakteristikleri incelendiğinde birçok toksik maddeye ve kirleticiye yoğun bir şekilde rastlanmaktadır. Etkin bir sızıntı suyu yönetimi sağlanmadığı takdirde başta bölge halkı olmak üzere büyük bir çevrenin etkilenmesi söz konusu olur. Bu etkilenme sağlık konusunda olabileceği gibi çevre kirliliği açısından da gerçekleşebilmektedir. Sızıntı sularının oluşturması en büyük problem yeraltına sızmadır. Özellikle yeraltı sularına oluşabilecek muhtemel bir sızma çok büyük sorunlara yol açmaktadır. İçme sularının en büyük kaynağının yeraltı suyu olduğunu düşünürsek bu çok büyük sorunlara davetiye çıkarabilir. Bu nedenle mevcut düzenli depolama tesislerinde periyodik olarak yeraltı suyu kirliliğinin incelenmesi olası bir sızmanın belirlenmesi için çok önemlidir. Bu nedenle tesiste uygun kısımlarda yeraltı suyu kontrol bacası inşa edilmeli ve periyodik olarak yeraltı suyu kalitesi incelenmelidir. Ayrıca sızıntı suyu drenajı iyi sağlanmalı sızdırmazlık için kullanılan materyaller özenle seçilmelidir. Ayrıca sızıntı suyu drenajı iyi sağlanmalı sızdırmazlık için kullanılan materyaller özenle seçilmelidir. Yaygın olarak kullanılan yöntem en alt kısım için geotekstil ve geomembranlar kullanımındır. Bu kısımda geotekstillerin amacı suyun geçişini sağlamak yalnız kum, kil ve silt gibi geomembranlara zarar verici maddelerin geçişini engellemektir. Geomembranların genel yapısı ise kimyasal maddelere yüksek direnç gösteren, çekme mukavemeti yüksek, geçirgenliği düşük, delinme ve çatlamalara karşı son derece dayanıklıdır. Bu özelliklerinden dolayı sızmalara karşı üstün bir performans sağlar.

Sızıntı sularının toplandıktan sonra deşarj etmeden önce uygun yöntemlerle arıtılması gerekir. Aksi takdirde direkt kanalizasyona verilirse kanalizasyonlarda büyük kirletici yükü salınımları gerçekleşecek ve arıtım sistemlerinin verimi düşecektir. Organik kirliliğin artışı yanı sıra gelecek toksik maddelerin çokluğu da arıtma tesisinin verimini düşürecektir. Bu nedenlerden ötürü uygun limitlere çekilmeden kanalizasyona deşarj çok doğru kabul edilmemektedir. Ayrıca sızıntı suları yüksek miktarda H<sub>2</sub>S ve HS içerdiklerinden kanalizasyon sistemine ve oradaki işçilerin sağlığına zararlı etkiler yapabilmektedir. Sızıntı suları kanalizasyona deşarj edildiğinde bu suların BOİ5 değerleri yüksek olduğundan oksijen tüketimi yüksek mertebelere ulaşmaktadır. Ayrıca NH<sub>3</sub>-N konsantrasyonunun yüksek olması balıklar ve diğer su canlılarını zehirleyebilmektedir. Sızıntı suları bunlardan farklı olarak lagünlerde depolanacak ise de yüksek miktarda H<sub>2</sub>S oluşumu yüzünden koku problemi oluşturmaktadır[13].

Sızıntı sularının yüzeysel sulara direkt deşarjı da büyük sorunlar oluşturur. Organik kirliliğin yüksek olması sudaki çözülmüş oksijeni tüketebileceği gibi içerdiği bileşenler ile yüzeysel sularda toksik etki oluşturabilmektedir. Bu şekilde bir deşarj sonucunda ekolojik yaşam büyük ölçüde tehlikeye düşecektir.

Sızıntı suyunun zararlı etkilerinin en aza indirgenmesi için etkin bir sızıntı suyu yönetimi sağlanmalıdır. Etkin bir sızıntı suyu yönetimi için şu noktalara dikkat edilmelidir[1];

- 1) Depolama sahasının tabanı, tabii yeraltı suyunun max. seviyesinden en az 1 m yüksekte olmalıdır.
- 2) Yüksek düzeyde kirli bir sızıntı su oluşmasını önlemek için de depolama sahasının en alt tabakasını ön ayırştırmadan geçirilmiş malzemedan oluşturmak gerekir.
- 3) Depo sahası tabanı geçirimsiz hale getirilir. Bunun için depo sahasının tabanı en az 60 cm kil zemin sıkıştırılır. Sıkıştırılmış zemin geçirimlilik katsayısı en az  $1 \times 10^{-7}$  ile  $10 \text{ m/sn}$  olmalıdır. Derinliği en az 10 m ve az çatlaklı zeminlerde bu değer  $1 \times 10^{-10} \text{ m/sn}$  olur.
- 4) Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine drenaj boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı en az 100 mm ve minimum eğim %1 olmalıdır. Dren boruları münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına

çıkar. Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunur. Dren boruları çevresine kum, çakıl, filtre yerleştirilir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm olur.

- 5) Toplanan sızıntı suları su kirliliği kontrol yönetmeliğinde verilen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde arıtılmalıdır.

## 2.6 Ülkemizde Sızıntı Sularının Yönetimi

Ülkemizde 3216 Belediye, 81 il ve 16 Büyükşehir Belediyesi bulunmasına rağmen günümüzde yalnızca 16 adet düzenli depolama tesisi bulunmaktadır. Ne yazık ki halen daha bu düzenli depolama sahalarında dahi tam anlamıyla sızıntı suyu arıtımı mümkün olmamaktadır. Ülkemizde kapasite(iki tesis toplam 3600 m<sup>3</sup>/gün) ve gelişmişlik bakımından önde gelen örnekler olarak İstanbul'da bulunan Kömürcüoda ve Odayeri Düzenli Depolama Sahaları incelenecektir. Çizelge 2.3'de Kömürcüoda ve Odayeri Düzenli Depo Sahasında oluşan sızıntı sularının karakteristik özelliği verilmektedir[14].

Çizelge 2.3 Kömürcüoda ve Odayeri Sızıntı Sularının Karakteristikleri

Parametre (mg/L)	Odayeri	Kömürcüoda
pH	5,6-6,5	7,0
KOİ	40000-50000	51060
BOİ <sub>5</sub>	21000-25000	40000
AKM	2630-3930	305
UAKM	1860-2730	125
TÇM	17000-21000	35700
TKN	375-410	1900
NH <sub>3</sub> -N	150-170	1800
Org. Azot	205-260	-
NO <sub>3</sub> -N	-	6,3
NO <sub>2</sub> -N	-	-
TP	5-6	8,8
SO <sub>4</sub>	495-950	2900
Cr	1,3-2,2	<0,5
Cu	0,5	<0,5
Fe	100-130	11
Cd	0,2	<0,2
Zn	0,7	-
Hg	0,04-0,06	0,01
Pb	0,08	-
Ni	0,9-1,3	0,75
Fenol	6,0-7,0	6,8
Klorür	-	5300
Tuzluluk(%)	21	-

İstanbul genelinde günde yaklaşık 12,000 ton evsel atık depolama sahalarında depolanmaktadır. Bu atıklardan meydana gelen sızıntı suyu miktarı ise toplam 3600

m<sup>3</sup>/gün dür. Odayeri Depolama Sahasında 2200 m<sup>3</sup>/gün, Kömürcüoda Depolama Sahasında 1400 m<sup>3</sup>/gün sızıntı suyu oluşmaktadır. Kemberburgaz ve Şile'de kurulan arıtma tesisleri ile sızıntı suyu ön arıtmadan geçirilerek deşarj edilmektedir[14].

## 2.7 Sızıntı Sularının Arıtılması

Sızıntı suları, yoğun ve karmaşık yapılarıyla, bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle sızıntı sularının kontrolü depolama sahalarının çevre yönetiminde önemli yer tutmaktadır. Dünyanın birçok yerinde yer alan depolama sahalarının sızıntı sularının artımına yönelik çalışmalar halen sürmektedir[15].

Sızıntı sularının kompleks içeriği nedeniyle arıtımı oldukça zor ve pahalı olan bir arıtıma ihtiyacı vardır. Sızıntı suyu içeriğine bakıldığında 60000 mg/lit'lik bir KOİ ile de karşılaşılabilir. Böyle bir atıksuyun tek kademedede arıtılması çok güçtür. Üstelik KOİ yanı sıra birçok kirlilik parametresini yüksek miktarlarda içermesi arıtımını güçleştirmekle birlikte bir o kadar zorunlu kılmaktadır.

Sızıntı sularının arıtımında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım metotları uygulanabilmektedir. Özellikle yaşlı sızıntı sularında biyolojik olarak parçalanabilir madde azlığından dolayı kimyasal arıtım kaçınılmazdır. Sızıntı suyu arıtımındaki en büyük problem şüphesiz karakteristiğinin sürekli değişiminden kaynaklanmaktadır. Genç bir sızıntı suyu özellikleri göz önüne alınarak dizayn edilen bir arıtım tesisinde birkaç sene sonra problemler oluşacak değişen sızıntı suyu karakteristiğine hitap etmeyen ünitelerle verim oldukça düşecektir. Örneğin bir biyolojik arıtma tesisi düşünülürse ilerleyen yıllarda biyolojik olarak parçalanabilen organik madde miktarının düşmesi verimi büyük ölçüde etkileyecektir. Bu nedenle o tesise ek olarak kimyasal arıtım tesisleri projeye dâhil edilecektir. Bu zamandan sonra kurulmuş olan biyolojik arıtım ünitesi atıl bir şekilde ömrünü tamamlayacaktır. Dolayısıyla sızıntı suları için bir arıtma tesisi inşa ederken çok dikkatli davranıp gelecek yıllardaki atıksu karakterizasyonu göz önüne alınarak tasarım yapılmalıdır [3].

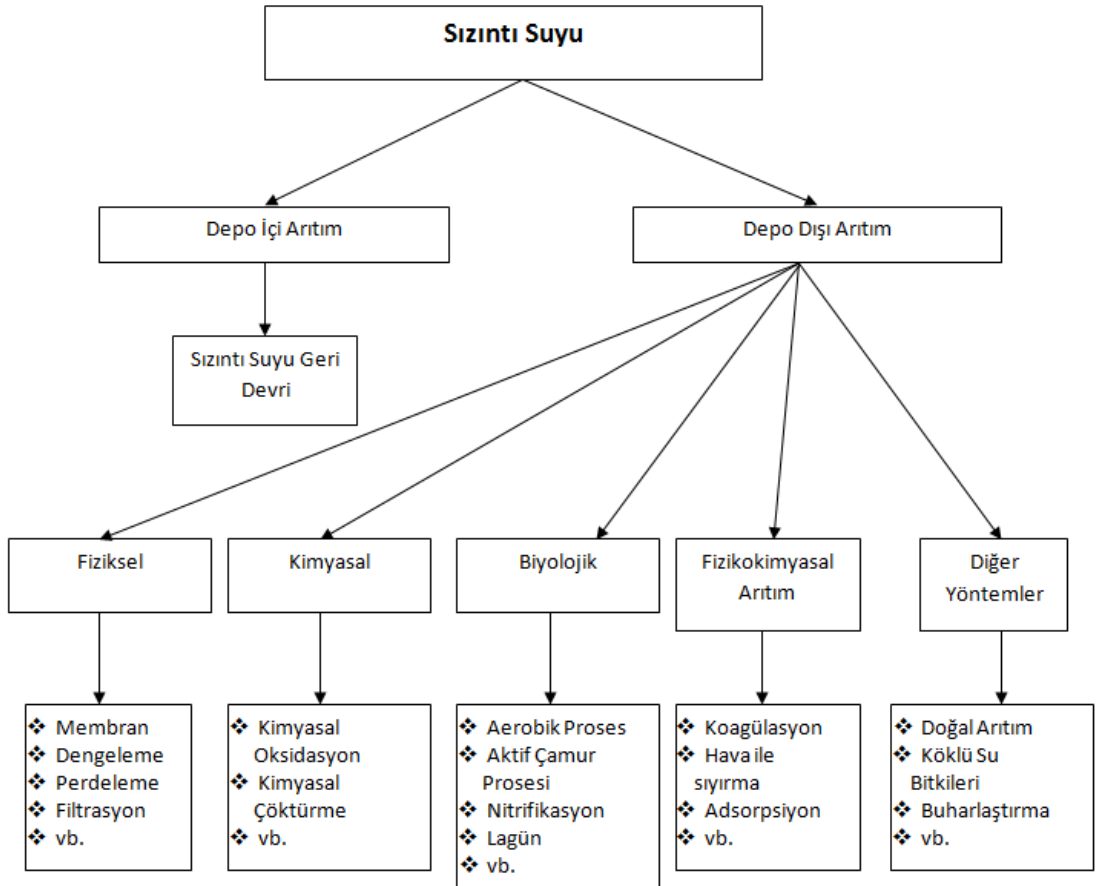
Etkin bir sızıntı suyu yönetiminin de en önemli kademesi sızıntı sularının arıtımıdır. Sızıntı suları için arıtma yöntemi seçimi basit bir olgu değildir. Sızıntı sularının arıtılmasında bilinen biyolojik(aerobik ve anaerobik) veya kimyasal (kimyasal çöktürme, oksitleme, adsorpsiyon, ters osmoz) arıtma yöntemleri tek başlarına yeterli



gelmemektedir. Deşarj limitlerinin sağlanması için bu proseslerin birkaçının ardışık olarak kullanıldığı birleşik sistemlere ihtiyaç vardır[11]. İçeriği nedeniyle arıtımı en zor sularında başında gelen sızıntı sularının arıtımı konusunda her geçen gün yeni araştırmalar yapılmaktadır. Kompleks içeriği nedeniyle farklı yöntemlerin kombinasyonları şeklindeki arıtım oldukça pahalı olmaktadır. Bu nedenle yeni arıtım yöntemlerine ihtiyaç artmaktadır.

Genellikle yapılan arıtma tesislerinde biyolojik arıtım organik maddelerin arıtılması amacıyla, kimyasal ve fiziksel arıtım ise daha çok inorganik maddelerin giderilebilmesi amacıyla yapılmaktadır.

Sızıntı sularının arıtım metotları genel olarak Şekil 2.1’de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir[16].



Şekil 2.1 Sızıntı sularının arıtım metotları

Ülkemizde özelde sızıntı suları için SKKY’de herhangi bir deşarj standardı bulunmamaktadır. Buna karşılık, SKKY’nde alıcı ortamlar için deşarj veya kalite

standartları verilmiştir. Bu konuda mevzuatta bir eksiklik bulunduğu astardır. Çizelge 2.4'de Almanya, Hollanda ve Polonya gibi ülkelerde sızıntı suyu deşarjına ilişkin standartlar yer almaktadır [17].

Çizelge 2.4 Bazı Avrupa Ülkelerindeki Sızıntı Sularının Yüzeysel Sulara Deşarj Standartları;

Parametre (mg/L)	Almanya	Hollanda	Polonya*
BOİ <sub>5</sub>	20	10-20	30
KOİ	200**	75-150	150
TN	-	10-20	30
NH <sub>3</sub> -N	50	5-15	6
TP	-	-	5
Hg	0,05	-	-
Cd	0,1	-	-
Cr	0,5	-	-
Ni	0,5	-	-
Pb	0,5	-	-
Zn	2	-	-

\* : 1m<sup>3</sup>/gün'den fazla olanlar için

\*\* : KOİ>4000 mg/L ise KOİ giderim verimi %95 olmalıdır.

### 2.7.1 Sızıntı Sularının Arıtım Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Sızıntı suyu kompleks yapısı nedeniyle tek bir yöntemle arıtılmadığı gibi bir çok kombinasyonla arıtılması mümkündür. Her bir prosesin belli parametreler üzerinde etkin olduğunu düşünürsek arıtım sağlanabilir. Yalnız mühendislik kavramının bir diğer yanı gereği bölgeye ve sızıntı suyu karakteristiğine ve eldeki imkânlarla bağlı olarak en uygun yöntemler kombinasyonunun belirlenmesi gerekir. Bu amaçla ilk aşamada yöntemlerin birbiri üzerindeki verim farklılıklarını çeşitli kombinasyonların nasıl çalıştığını bilmek lazımdır. Sızıntı suyu arıtma tesislerini karşılaştırırken dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır[18].

- 1) Sızıntı suyu karakteri,
- 2) Zararlılık potansiyeli,
- 3) Deşarj alternatifleri,
- 4) Arıtma derecesi,
- 5) Arıtılabilirlik çalışmaları,
- 6) İşletme,
- 7) Maliyet,

Sızıntı suyu çok farklı yöntemlerle veya çok farklı kombinasyonlarla arıtılabileceği için uygun arıtım yöntemini belirlemek çok önemlidir. Özellikle ilerleyecek zamana bağlı sızıntı suyu karakteristiğinde oluşabilecek mevcut kalite değişiklikleri göz önüne alınmalı ve buna göre bir tesis tasarlanmalıdır. Arıtma sistemlerinin sızıntı suyu içerisindeki başlıca parametreleri giderim performansı Çizelge 2.5’de verilmektedir[4].

Çizelge 2.5 Arıtma Sistemlerinin Kirlilik Parametreleri Üzerinde Giderim Performanslarının Karşılaştırılması

Proses	BOİ <sub>5</sub>	KOİ	TN	NH <sub>3</sub> -N	Ağır Metaller	AOX
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Biyolojik Arıtım	✓	✓2	✓	✓	x	x
Adsorpsiyon		✓3	x	x		✓
Flotasyon	x	x	x	x	x	x
Hızlı/Yavaş Karıştırma		✓3	x	x	✓5	✓
Filtrasyon	x	x	x	x	x	x
Ters Osmoz	✓1	✓1	✓	✓	✓	✓1
Membran Biyoreaktör	✓1	✓1	✓	✓	✓	✓1
Havalandırma	x	x		✓	x	x6
Kimyasal Oksidasyon		✓	x	x	x	✓4
Evaporasyon		✓4	✓	x	✓	✓
Yakma	x	.x	x	x	x	x

✓ : Uygun

x : Uygun değil

1: Küçük moleküllerin giderilmesinde verim az

2: İnert olan kısım giderilemiyor

3: Ayrışabilir organiklerin giderilmesinde verim az

4: Uçucu organiklerin giderilmesinde verim az

5: Bütün ağır metaller için aynı verimde değil

6: Düşük Uçucu organiklerin giderilmesinde verim az

Her bir prosesin başlıca avantaj ve dezavantajları vardır. Etkin ir sızıntı suyu yönetimi için uygulanacak arıtım yöntemlerinin artıları ve eksilerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle prosesler bazında genel bir karşılaştırma olması açısından proseslerin ayrı ayrı tanımlanıp kısaca değerlendirilmesi Çizelge 2.6’da verilmektedir[13].

Çizelge 2.6 Sızıntı suları için farklı arıtım yöntemlerinin kirletici parametrelerinin üzerindeki giderim verimleri

Arıtım İşlemleri	BOİ <sub>5</sub>		KOD		T. Azot		Fe		Zn		Ni		Açıklama
	Verim (%)	Çıkış (mg/l)	Verim (%)	Çıkış (mg/l)	Verim (%)	Çıkış (mg/l)	Verim (%)	Çıkış (mg/l)	Verim (%)	Çıkış (mg/l)	Verim (%)	Çıkış (mg/l)	
<b>AEROBİK ARITIM</b>													
Aktif Çamur	95	100	95	500	70 - 95	10 - 100	96 - 99	10 - 40	96 - 99	3 - 10	60	0,25	$\theta_c < 6 - 10$ gün
Kanalizasyonla Arıtım	94 - 99	3 - 15	92 - 98	25 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	Oran < %5
Havalandırma Lagün	99	5 - 60	92 - 98	300-800	40 - 70	40 - 80	99	0 - 2	-	-	-	-	$\theta_c > 10$ gün
Stabilizasyon Havuzu	93 - 99	10 - 100	99	100-400	70 - 99	4 - 100	80 - 99	1 - 100	-	-	-	-	T > 40 gün
<b>ANAEROBİK ARITIM</b>													
Sabit Yataklı	85 - 98	100-900	75 - 95	200-1000	-	-	80 - 99	5 - 25	80 - 99	0,5 - 10	10 - 80	0,1 - 1	$\theta_c < 10$ gün
Askıda Yatak	85 - 98	100-900	75 - 95	200-1000	-	-	80 - 99	5 - 25	80 - 99	0,5 - 10	10 - 80	0,1 - 1	$\theta_c < 5$ gün
Sız. Suyu Geri Çevrimi	-	≤100	-	< 5	-	20 - 1000	-	5 - 50	-	0,2 - 1,0	-	-	$\theta_c < 500$ gün
<b>FİZİKOKİMYASAL</b>													
Koagülasyon	-	-	12	100-1000	-	-	95 - 99	2 - 17	75 - 98	<1	-	-	Kireç,
Oksidasyon	-	-	10 - 50	1000-8000	-	-	95	<1	90	<1	-	-	Alum,
Ters Osmoz	-	-	60 - 90	<10	-	-	-	-	-	-	-	-	FeCl
İyon Değiştirme	-	-	40 - 70	100 - 300	-	-	40 - 80	1 - 10	20 - 96	<1	14 - 96	<1	O <sub>3</sub> ,
Ters Osmoz	-	-	75 - 99	< 10	-	-	65 - 95	2 - 15	-	-	-	-	Cl <sub>2</sub> /KMnO <sub>4</sub>
													Ham SS*

Sızıntı suyu arıtma tesislerinde genellikle çeşitli arıtma kombinasyonları kullanılır. Arıtma kombinasyonlarının değişik kirlilik parametreleri üzerinde farklı ölçüde etkinlikleri bulunur. Bu nedenle kesin önerilen bir yöntem bulunmaz. Bölgenin sızıntı suyu karakteristiği tam olarak belirlendikten sonra bu gibi kararlar verilmelidir. Yalnız giderim parametrelerinin yanı sıra maliyette çok önemli bir kıstastır. Bu gibi değerler dikkate alınarak en uygun arıtma yöntemi/kombinasyonu seçilerek uygulamaya başlanır. Arıtma kombinasyonlarının belirli kirlilik parametreleri üzerine etkilerinin karşılaştırılması Çizelge 2.7’de verilmektedir [6].

Çizelge 2.6 Çeşitli Arıtma Kombinasyonlarının Sızıntı Suyundaki Bazı Kirlilik Parametrelerinin Gideriminin Karşılaştırılması

KOİ (mg/L)		NH3-N (mg/L)		AOX (mg/L)	
Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Biyolojik + Aktif Karbon + Flokülasyon / Çökeltim + Nötralizasyon					
1571	76	579	0,09	1,45	0,18
686	51	528	0,7	1,65	0,23
Biyolojik + Ultrafiltrasyon + Aktif Karbon					
1000-12000	<200	400-800	<10	1-2,5	0,1-0,7
Biyolojik + Kimyasal Oksidasyon (Ozon-UV)					
320-5796	30-137	125-1350	0,4-36,2	-	-
Biyolojik + Kimyasal Oksidasyon (Ozon-UV) + Biyolojik					
1200-4000	18-150	600-1900	0,1-9	1-3,8	0,04-0,18
Biyolojik + Kimyasal Oksidasyon (Ozon-UV) + Biyolojik + Aktif Karbon					
7,58-1332	1-85	375-885	0,1-0,6	0,85-2,1	0,17-0,43
Ters Osmoz					
4124	20	577	8	-	-
1550	68	750	7	1,4	<0,01
Ters Osmoz + Ters Osmoz					
1590-2980	4-25	900-1800	4,4-8,8	1,5-1,9	0,002-0,02
Biyolojik + Ters Osmoz					
446-872	5,3-27	80-396	0,03-10,1	0,4-1,4	<0,01-0,05
Biyolojik + Ters Osmoz + Ters Osmoz					
1366-3010	<2	130-854	6,3	1,09-224	0,045

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde çeşitli kombinasyonların ne derece etkili oldukları açıkça görülüyor. Membran proseslerin verimi üst düzey olmasına rağmen ekonomik açıdan daha avantajlı olmaları sebebiyle biyolojik arıtım çok daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle ters osmozun kullanıldığı bir arıtma kombinasyonunda Çizelge 2-7’de de görüleceği üzere KOİ değer 2 mg/l mertebelerine kadar indirgenebilmiştir.

### 2.7.2 Ülkemizde Sızıntı Sularının Arıtımı

Ülkemizde düzenli depolama alanı fazla bulunmamakla birlikte il bazında en büyük düzenli depolama sahası alanı ve en yüksek debili sızıntı suyu arıtma tesisi İstanbul'da bulunmaktadır. Kemerburgaz/Odayeri Depolama Sahasında 2400 m<sup>3</sup>/gün, Şile/Kömürcüoda Depolama Sahasında 1200 m<sup>3</sup>/gün sızıntı suyu oluşmaktadır. Depolama sahası içinde bulunana sızıntı suyu arıtma tesisleri ile bu atıksuların tamamı arıtılarak deşarj edilmektedir. Görüldüğü üzere en yüksek debili sızıntı suyu oluşumu Odayeri Düzenli Depolama Sahasında oluşmaktadır. Hali hazırda işler vaziyetteki sızıntı suyunun artıma kademeleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- 1) Dengeleme Havuzu ve akabinde ön çöktürme
- 2) Membran biyoreaktör
- 3) Nanofiltrasyon

Bir diğer tesis ise İzaydaş katı atık depolama merkezinde bulunan sızıntı suyu arıtma tesisidir. Bu tesiste genel olarak aynı anlayışla bir arıtım gerçekleştirilmektedir. İlk olarak döner elekler vasıtasıyla katı maddeler (0,75mm'den büyük maddeler) sızıntı suyundan ayrılır. Daha sonra dengeleme havuzuna alınan sızıntı suyu sırayla hızlı karıştırma ve yavaş karıştırmaya tabii tutulduktan sonra çözünmüş hava flotasyonu (DAF) ünitesiyle ön arıtımı sağlanarak İzaydaş Endüstriyel ve Atıksu Arıtma Tesisine verilmektedir.

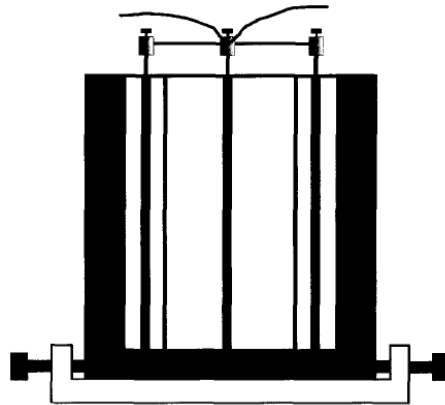
Ülkemizde işler halde bulunan az sayıdaki sızıntı suyu arıtma tesislerinde nihai arıtmadan çok ön arıtım gerçekleştirilmek suretiyle atıksu arıtma tesislerine gönderilmektedir.

### ELEKTRODİYALİZ

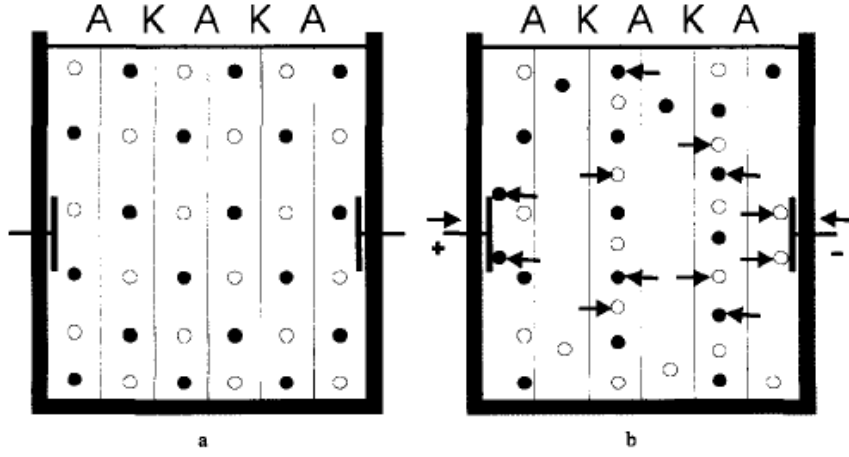
#### 3.1 Elektrodiyaliz

Elektrodiyaliz dünya çapında çok sayıda sistemde yer alan kanıtlanmış bir teknolojidir. Avrupa'da ise toplam tesis kapasitesi ile ters osmoz ve damıtma proseslerini tuzsuzlaştırma işlemlerinde geride bırakmaktadır[19].

Genel anlamda ED, elektriksel alan etkisi altında seçici geçirgenliğe sahip membranlar boyunca iyonların aktarıldığı elektrokimyasal ayırma süreci olarak, diyaliz ve elektrolizin bileşiminden oluşan bir prosestir[20]. Bu iki sürecin birlikte kullanımı ilk kez 1890 yılında Maigrot ve Sabates tarafından şeker çözeltisinin demineralizasyonunda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de görülen ilk elektrodiyaliz reaktöründe karbon ve permanganattan yapılmış elektrotlar kullanılmış ve sistemin elektrik akımı doğrudan dinamo ile sağlanmıştır[21].



Şekil 3.1 İlk elektrodiyaliz reaktörü



Şekil 3.2 Elektrodializ prosesinde; a: elektriksel akım olmadığında, b:elektriksel akım uygulandığında iyon dağılımları ( O katyon, ● anyon ), A:anyon seçici membran, K:katyon seçici membran

Şekil 3.2' de elektrodializ prosesinde elektriksel akıma bağlı olarak iyon hareketlerinin nasıl gerçekleştiği belirtilmiştir. Elektrik akımı uygulanmadığında (Şekil 3.2a) anyon ve katyonlar cihaz bölmelerine homojen olarak yayılmışlardır. (Şekil 3.2b)' de elektriksel akım uygulandığında ise simetrik çekim ile katyonlar katoda, anyonlar anoda doğru hareket etmişlerdir [19].

Günümüze kadar pek çok bilim adamı tarafından yapılan çalışmalarla ED yönteminde önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve iyon değişim membranlarındaki yenilikler sayesinde bugünün en önemli süreçleri arasında yerini almıştır [22].

Bir giderim mekanizması olması yanı sıra ED aynı zamanda geri kazanım prosesi olarak çok daha yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. ED dünya çapında işlem gören sistemlerde kullanılan iyi gelişmiş bir teknolojidir ve geniş olarak saflaştırmada, ayırmada, kimyasal, petrokimyasal ve metalürjik süreçlerden değerli bileşenlerin geri kazanımında kullanılmaktadır[23].

ED prosesi 20 yıldan daha fazla bir süredir demineralizasyon işlemlerinde uygulanmaktadır[24]. ED prosesleri masa tuzu ve deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanımının yanı sıra çevresel ve biyoteknolojik endüstrilerde de uygulanmaktadır[25]. Elektromembran proseslerde kullanılan tuz konsantrasyonu, sıcaklık, pH, iyonik kuvvet gibi parametreler elektromembran sistemlerde verim performansını etkilemektedir[26]. ED yöntemi, tuzlu ve acı sulardan içilebilir düzeyde su elde edilmesi, klor-alkali tesislerinde kostik soda üretimi, ağır metal geri kazanımı, meyve sularının asitliğinin giderilmesi, atık sulardan çeşitli iyonların uzaklaştırılması; organik



bileşiklerin ayrılması ve saflaştırılması gibi çalışmalar için kullanılabilir. ED sistemleri enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, iyon değiştirici reçinelerde yapılan rejenerasyon aşamasına gerek duyulmaması ve işletme kolaylığı gibi bazı üstünlükleri sebebi ile diğer arıtma sistemlerine alternatif olarak tercih edilebilmektedir[27].

Arıtım proseslerinin atıksu tipine bağlı olarak avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. ED prosesi, yapılan çalışmalar dikkate alındığında birçok avantajla diğer arıtım proseslerinden sıyrılmaktadır. Ayrıca bir prosesin avantaj ve dezavantajlarını iyi bilmek, olası sorunların oluşumundan önce tahmin edilmesi ve önlenmesine olanak sağlar. Bu açıdan kullanılacak olan proseslerin avantaj ve dezavantajları iyi bilinmelidir. ED prosesinin en fazla karşılaştırıldığı proses olan ters osmoza ve diğer arıtım yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajlarından bazıları aşağıda verilmiştir[28].

#### ED Prosesinin Avantajları;

- Bu proses öncesinde küçük ve basit bir ön arıtım yeterli olabilmektedir,
- Düşük basınçlarda işletilebilir,
- Yüksek basınçlı pompalara gerek olmamasının yanı sıra proses çok sessiz, basit ve sorunsuzdur.
- Membran koruyucu (antiscalant) gerekli değildir,
- Proses esnasında sürekli olarak olumsuzluklar giderildiği için membranın ömrü uzundur.
- Eşdeğer proseslere oranla işletme ve bakım maliyeti daha düşüktür.
- Birçok iyon formu üzerinde oldukça etkilidir.
- Yoğun içerikli sularda da oldukça etkindir (10000 mg/L TDS)
- Ters osmoz gibi diğer yöntemlerin aksine ürün miktarı giriş suyunun %90' ını bulmaktadır. Aynı şekilde yine ters osmozun aksine konsantre kısım da %10 gibi oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.
- Ters osmoza oranla yaklaşık 5 kat daha fazla uzun ömürlüdür (ters osmoz 1-2 yıl, ED ise 8-10 yıl)
- Ters osmoza oranla konsantre kısmın iki ayrı şekilde toplanabilmesi ve geri kazanımını kolaylaştırması söz konusudur.

ED Proseslerinin Dezavantajları;

- Elektrik tüketimi,
- Bu konuda yetişmiş elemanın azlığı
- Mikroorganizmalar ve çoğu antropojenik organik kirleticiler üzerinde çok etkin olmayışı,

ED, sahip olduğu bazı üstünlükleri nedeniyle çoğu uygulamada ters ozmos, iyon değişimi ve diyaliz gibi diğer ayırma süreçleri ile rekabet halindedir. Bu üstünlükleri; yüklü bileşenler için yüksek seçicilik sağlaması, yüksek ürün geri kazanma oranına sahip olması, besleme suyu bileşenlerini en az değişikliğe uğratması, besleme suyu için kimyasal madde gerektirmemesi ve düşük enerji ve yatırım maliyeti ile sürekli işlem yapabilmesi olarak sıralanabilir[29]. Tüm bu üstünlükler göz önüne alındığında her geçen gün kullanım alanının artması beklenmektedir.

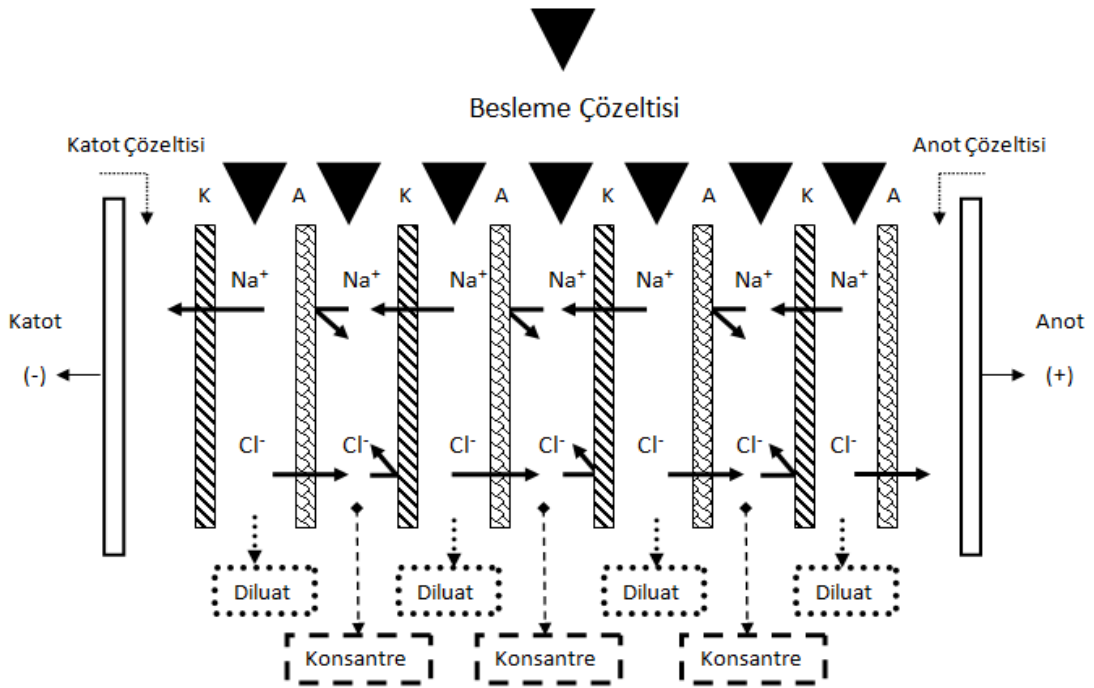
Elektrodiyalizin başlıca kullanım alanları;

- Kısmen tuzlu sulardan tuz giderimi,
- Deniz suyundan yemeklik tuz elde edilmesi
- Peynir altı sularından minerallerin alınması
- İnorganik ve organik asit elde edilmesi
- Amino asit üretimi
- Amino asit tuzlarından NaCl giderilmesi
- İçme suyundan nitrat giderimi
- Meyve sularının asitinin alınması
- Deterjan ve hidrolize edilmiş bitkisel proteinlerin tuzsuzlaştırılması [30]
- İçme sularının yüksek ölçekte demineralizasyonu [31]
- Tek, çift ve üç değerlikli iyonların atıksulardan ayrılması prosesleridir [32]

### 3.2 Elektrodiyaliz Mekanizması

İyon seçici membranları kullanan elektrodiyaliz, genelde sürücü kuvvet olarak hem elektriksel potansiyel hem de derişim farkının etkisi altında çalışmaktadır[33].

Elektrodiyaliz hücresi anot ve katot arasında yerleştirilmiş bir dizi katyon ve anyon seçici membranlardan oluşmaktadır. Sulu tuz çözeltisi gibi iyonik bir çözelti bu hücre sistemine pompalanırsa, akım varlığında elektriksel potansiyel fark oluşacak ve bu potansiyel fark sayesinde pozitif yüklü katyonlar katoda doğru, negatif yüklü anyonlar anoda doğru hareketlenecektir. Katyonlar katyon seçici membranlardan geçerken, anyon seçici membranlardan geçemez, tutulurlar. Benzer şekilde anyonlar da anyon seçici membranlardan geçebilirken, katyon seçici membranlardan geçemezler ve tutulurlar. Sonuçta bazı bölümlerde iyon konsantrasyonu düşerken bazı bölümlerde artmaktadır[33].



Şekil 3.3 Elektrodiyaliz sistemin işleyiş prensibi K; katyon seçici membran, A; anyon seçici membran

Şekil 3.3'te çok bölmeli bir elektrodiyaliz prosesi görülmektedir. Her bir bölmeye yapılan besleme çözeltisi ve ayrıca anot, katot çözeltisi girişi sonucunda iyonlarına ayrılan su çıkışı diluat olarak ifade edilmiştir. İyon konsantrasyonu daha yüksek olan su çıkışı ise konsantre olarak adlandırılmıştır.

### 3.2.1 Elektrodiyaliz İşleyiş Parametreleri

Membrana doğru taşınan iyonların miktarı, elektriksel akım  $I$  (A) veya akım yoğunluğu  $i$  ( $A/cm^2$ ) ile orantılıdır. Elektriksel akım aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir[33]:

$$I = Fzq\Delta c_i \xi \quad (3.1)$$

Burada,  $z$ ; değerlik,  $F$ ; Faraday sabiti (1 Faraday = 96500 coulomb/ eg veya amper – saniye/ eg),  $q$ ; akış hızı,  $\Delta c_i$ ; besleme ve sızıntı arasındaki derişim farkı ( $eq/l$ ) ve  $\xi$ ; akım kullanımudur.

Akım kullanımı, yığın içersindeki hücre çiftinin sayısı ile ilişkilidir ve iyonların taşınımı için etkin kullanılan toplam akım miktarı hakkında bilgi sağlar. Teorik olarak, 1 Faraday (96500 coulomb veya bir saatte uygulanan akımın 26,8 amperi), katyonun bir eşdeğer gramı veya eşdeğerini (örneğin, sodyumun 23 gramı) katota ve anyonun bir eşdeğer gramı veya eşdeğerini (örneğin klorun 35,5 gramı) anoda taşır. Ohm kanununa göre, elektriksel akım elektriksel potansiyel ile ilişkilidir:

$$E = I.R \quad (3.2)$$

Membran yığınınına uygulanan toplam direnç  $R$  ile ifade edilebilir.  $R$ 'nin değeri yığındaki hücre çifti sayısı ( $N$ ) ile hücre çiftinin direnci  $R_{cp}$ 'nin çarpımına eşittir.

$$R = R_{cp}.N \quad (3.3)$$

Hücre çiftinin direnci seri içindeki dört direncin toplamına eşittir.

$$R_{cp} = R_{am} + R_{pc} + R_{cm} + R_{fc} \quad (3.4)$$

Burada;

$R_{cp}$  = birim alanda bir hücre çiftinin direnci

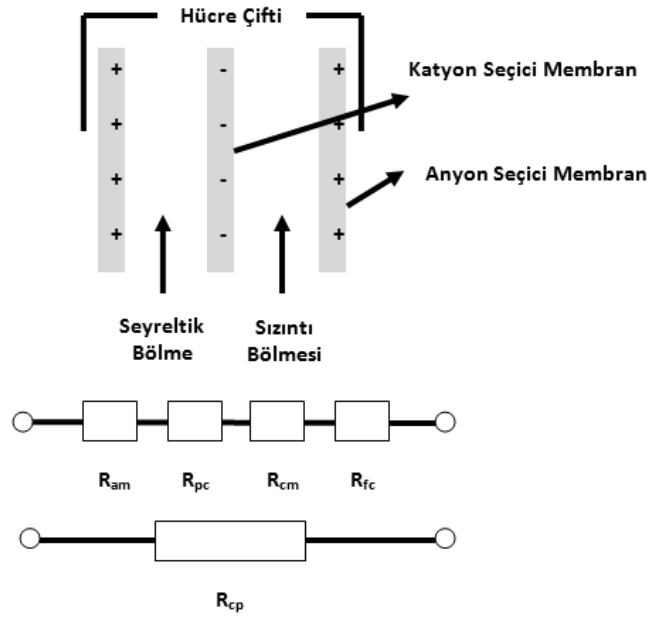
$R_{am}$  = anyon değiştirici membranın direnci

$R_{pc}$  = sızıntı bölümünün direnci

$R_{cm}$  = katyon değiştirici membranın direnci

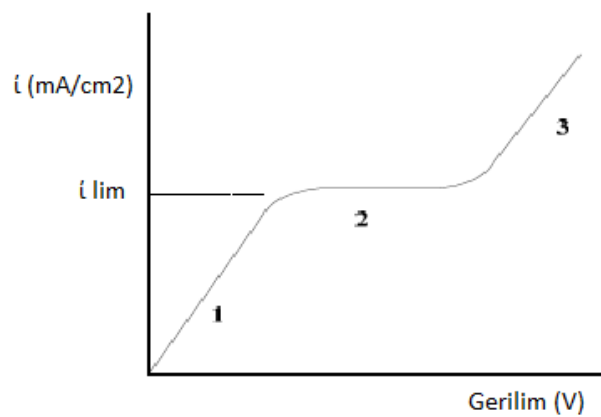
$R_{fc}$  = besleme bölümünün direnci

Yukarıda bahsedilen tüm dirençler, Şekil 3.4'te gösterilmiştir[34].



Şekil 3.4 Hücre çiftine uygulanan dirençler

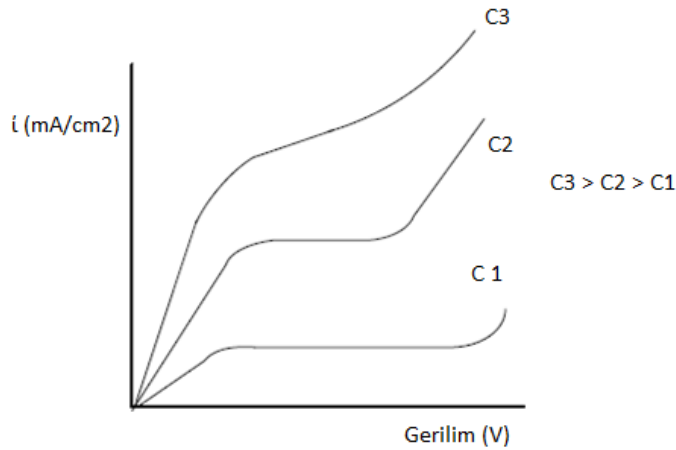
Akım yoğunluğu, membran yığınının toplam direnci ve uygulanan gerilim ile tanımlanır. Akım yoğunluğunun artması taşınan iyon sayısının arttığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, akım yoğunluğu sonsuz miktarda arttırılamaz. Şekil 3.5'te akım-gerilim karakteristiği görülmektedir[23],[36].



Şekil 3.5 İyon seçici membran akım-gerilim karakteristiği

Burada, akım – gerilim karakteristiğinin çiziminde üç bölge elde edilebilir. Birinci bölge, elektriksel akım veya akım yoğunluğunun Ohm kanununa göre elektriksel potansiyel

farkı ile ilişkili olduğu ohmik bölgedir. İkinci bölgede; akım, ohmik direncin arttığını gösteren plato değerine ulaşır ki burası sınırlayıcı akım yoğunluğu (elim) bölgesidir. Sınırlayıcı akım yoğunluğu ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ), tüm uygun iyonların taşınımı için gerekli olan akımdır. Gerilim daha da arttırıldığında, yük taşınımını gerçekleştirecek hiçbir uygun iyon kalmayacaktır. Bu bölge sınırlayıcı akım yoğunluğunun üzerindeki bölgedir. Yan süreçlerin tüm çeşidi bu bölgede meydana gelir. Farklı iyon derişimlerinin akım–gerilim karakteristikleri Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Çeşitli iyon derişimleri için iyon seçici membran akım-gerilim  
Eğer iyon derişimi artarsa, sonrasında sınırlı akım yoğunluğu da artar, fakat plato değeri azalır.

### 3.3 Elektrodiyaliz Prosesinin Temel Bileşenleri

Amaca uygun olarak tasarlanan ED sisteminin işleyişini tamamlayıcı faktörler arasında iyon seçici membranlar, bipolar membran, doğru akım kaynağı, elektrotlar, çözücü ve elektrolitler ve elektrodiyaliz hücresi sayılabilmektedir.

#### 3.3.1 İyon Seçici Membranlar

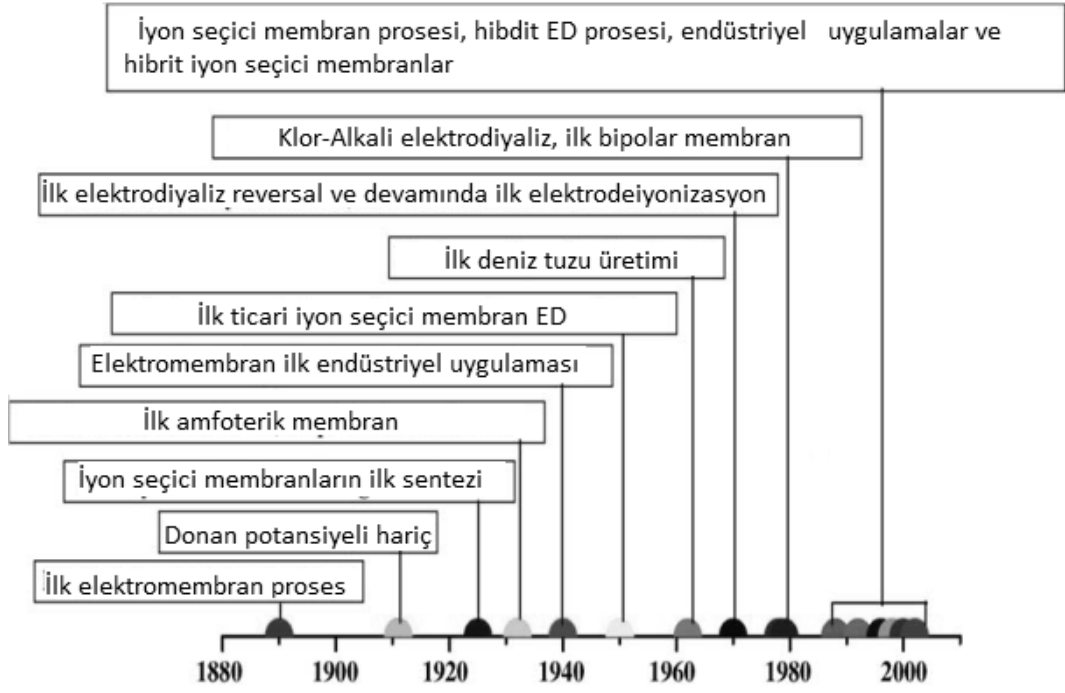
Genellikle heterojen ve homojen olmak üzere iki farklı iyon seçici membran tipi vardır.

Heterojen membranlar, su ile yüksek oranda şişen özellikle düşük mekanik güç ve yüksek elektriksel direnç sağlayan iyon seçici membranlardan oluşmaktadır.

Homojen membranlar; politetrafloretillen, polistiren, poli(sülfonil)florür-vinileter ve divinilbenzen gibi çapraz kopolimerleri içeren iyonik gruplardan meydana gelmektedir.

Katyon seçici membranlar için iyon seçici gruplar sülfonik asit veya karboksilik asit grupları iken, anyon seçici membranlar için 4 değerlikli amonyum tuzlarıdır[29]. Katyon seçici membranlar  $SO_3^-$ ,  $COO^-$ ,  $PO_3^{2-}$ ,  $PO_3^{3-}$ ,  $C_6H_4O^-$  gibi negatif yüklü grupları içerirler ve katyonların geçişine izin verirken anyonları reddederler. Anyon seçici membranlar ise pozitif yüklü grupları içerirler ve anyonların geçişine izin verirken katyonların geçişini engellerler[36]. İyon seçici membranların elektrodializ prosesinde bazı önemli etkileri vardır. İyon seçici membranlar sayesinde elektrodializ hücresinde katyon ve anyon transferinde kontrolü ve pH değerinin belirli oranlarda tutulmasını sağlamaktır. Örneğin anyon seçici membran ile anotta oksijen üretimi sırasında ortaya çıkan  $H^+$  iyonlarının katot bölgesine geçişini engeller ve böylece hücreler arasında pH farkı elde edilir [22].

İyon seçici membranların tarihsel gelişim sürecine bakıldığında ilk olarak 1890 yılında Ostwald'ın yaptığı çalışma görülmektedir. Ostwald membranların seçici geçirgenliğini veya katyonları ya da anyonları geçirmediğini keşfetmiştir. 1911 yılında konsantrasyon eşitliğine bağlı olarak bir matematiksel denklem geliştirilerek "Donan Potansiyeli" ortaya konmuştur. İyon seçici membranlarla ilgili esas uygulamalar 1925 yılında Michaelis ve Fujita'nın homojen membranlarda yaptığı çalışmalarla başlamıştır. 1930 yılında Söller farklı yüklerle yüklenmiş membranları, hem pozitif hem negatif yüklerin iyon transferini ortaya koymuştur. Sentetik iyon seçici membranların gelişimi ile 1940 yıllarında endüstriyel uygulamalara geçilmiş ve elektrodializ prosesi ile katyon ve anyon seçiciliği gerçekleştirilmiştir. 1950' li yıllarda elektrodializ prosesi ve iyon seçici membranların ticari gelişimi ile demineralizasyon işlemleri yayılmaya başlamıştır. Tek değerlikli iyonların seçiciliğini sağlayan membranların geliştirilmesi ile 1960'larda deniz suyundan tuz üretimi yapılmıştır. 1970' ler de ise katyon seçici membranlar klor-alkali üretim endüstrisinde yer almış ve 1976' da bipolar membranlar anyon ve katyon seçici membranlar ile eş zamanlı kullanılmaya başlamıştır. 1990' lardan itibaren de hibrit ED ve hibrit iyon seçici sistemler üretilerek hızla kullanımı artmıştır [37].

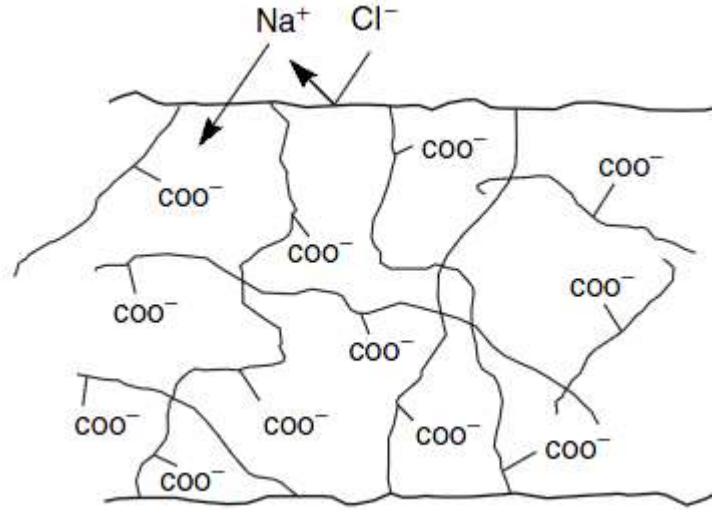


Şekil 3.7 İyon seçici membranların tarihsel gelişim süreci

İyon seçici membranlar genellikle çoklu iyon içeren çözeltilerde; deniz suyundan elektrodiyaliz ile sodyum klorür üretimi, tuzlu sudan desalinasyon ile içilebilir su eldesi, peynir altı suyu demineralizasyonu ve atık asit ve baz çözeltilerden asit baz geri kazanımında kullanılmaktadır[38].

Şekil 3.8' de bir katyon seçici membran yapısı görülmektedir. Membran sabit negatif yüklü karboksilik asit gruplarından oluşmaktadır. Bu yüklü gruplar sabit pozitif yüklü iyonlar ile denge halinde bulunarak elektro-nötralliği sağlarlar. Hareketli anyonlar ise sabit negatif yüklü gruplar ile elektrostatik kuvvetlerin etkisi sonucu birbirlerini az veya çok itmektelerdir. Bu süreç donan etkisi olarak ifade edilmektedir. Sabit negatif yüklü gruplar taşıyan katyon seçici membranlarda eş yüklü iyonların itilmesi nedeniyle yalnızca katyon geçişine izin verilir. Anyon seçici membranlar ise tam aksi çalışarak katyonlar itilir ve yalnızca anyonların geçişine izin verilir [29],[34].





Şekil 3.8 Bir katyon seçici membran modeli

Kuvvetli bir elektrolitin seyreltik çözeltisindeki bir katyon seçici membran için, membranda katyon derişimi genellikle çözeltidekinden daha büyüktür. Çünkü katyonlar membrandaki sabit negatif yüklü iyonlar tarafından tutulurlar. Diğer taraftan çözeltideki hareketli iyonların derişimi membrandakinden daha fazladır. Böylece membran ve çözelti arasında bir derişim farkı kurulur. Bu fark hareketli katyonların çözelti içine ve hareketli anyonların membrana doğru hareket etmesi için sürücü kuvvet etki eder. Elektronötrallik gerektiği için, katyonların çözeltiye ve anyonların iyon değişim membranına doğru nüfuz etmesi dengelenmemiş iyonlar nedeniyle zıt etkiye sahip boşluk yüküne yol açar. Membranın bir tarafındaki yayılma girişimi ve diğer tarafındaki elektriksel potansiyel farkın oluşması arasında bir denge kurulur. İyon seçici membran ve bitişik tuz çözeltisi arasındaki bu elektriksel potansiyel fark Donnan potansiyeli olarak bilinir. Donnan itme dengesi ve böylece membranın seçiciliği sabit yüklerin derişimine, eş-iyonların değerliğine, karşı-iyonların değerliğine ve elektrolit çözeltisinin derişimine bağlıdır[39].

İyon değişim membranlarının seçiciliği ve elektriksel özellikleri esas olarak polimer matrisinde sabit iyonik yüklerin türü ve derişimi tarafından belirlenir. Bu farklı anyonik ve katyonik gruplar Şekil 3.9' da verilmiştir. Sülfonik asit ve karboksilli asit katyon değişim membranı hazırlamak için en yaygın kullanılan gruplardır. Sülfonik asit grupları kuvvetli asit özellik gösterirler ve hemen hemen tüm pH aralığında tamamen ayrışır.

Karboksilli asit grupları ise zayıf asitlerdir ve  $pH < 3$  değerlerinde ayrışmazlar. Anyon değişim membranları hazırlamak için çoğunlukla kullanılan gruplar, geniş bir pH aralığında ayrışmaları nedeniyle quaterner amonyum gruplarıdır ve kuvvetli bazik özellik gösterirler. Daha az kuvvetli bazik gruplar olarak tersiyer, sekonder ve primer aminler ile fosfonyum ve sülfonyum grupları kullanılır [29].

İyon değişim membranlarının özellikleri temel polimer matrisi ve fonksiyonel grubun türü ve derişimi olmak üzere iki parametre tarafından belirlenir. Temel polimer matrisi büyük oranda mekanik, kimyasal ve ısı kararlılığı belirler. Bir iyon değişim membranı çözünmemeli fakat belirli bir derecede şişme kabiliyetine sahip olmalıdır[29]. Bu membranların karakterizasyonu için önemli parametreler polimer ağının yoğunluğu, polimer matrisinin hidrofobik ve hidrofilik özellikleri, yük yoğunluğunun dağılımı ve membranın kendi morfolojisidir. Tüm bu parametreler yalnızca mekanik özelliklerini belirlemez, aynı zamanda elektrolit ve elektrolit olmayanların tutunması ve şişme üzerinde etkilidir [39].

İyon değişim membranlarının sahip olması gereken özellikler aşağıdaki gibidir [29],[39];

- Düşük elektriksel direnç: Elektrik potansiyel farkının yürütücü kuvveti altında membrandaki IR kayıplarını ve böylece sistemin güç gereksinimini azaltmak için mümkün olduğunca düşük olmalıdır.
- Yüksek seçici geçirgenlik: Karşı-iyonlar için çok iyi geçirim sağlarken, eş-iyonlar, iyonlaşmamış moleküller ve çözücüler için geçirgen olmamalıdır.
- İyi mekaniksel ve şekil kararlılığı: Membran seyreltikten derişik iyonik çözeltilere geçişte elektrolit çözücüsü ile yüksek derecede şişme ve ozmotik etkiler nedeniyle büzüşmeye karşı mekaniksel olarak dayanıklı olmalıdır. Ancak membranda meydana gelebilecek kırışma veya gerilmeleri önlemek için membranı sürekli nemli tutmak önemlidir.
- Yüksek kimyasal kararlılık: Membranın kararlılığı sürecin başarısı için en önemlisidir. Yüksek maliyetleri nedeniyle membran materyalleri birkaç yıl süreyle işlem görmeyi gerektirir. İyon değişim membranları yükseltgeyici ajanların varlığında geniş bir pH aralığında ve geniş sıcaklık aralıklarında iyi kimyasal kararlılık sergilemelidir.

- İyi işlem karakteristikleri: Değişen sıcaklık, yüksek akım yoğunluğu ve pH koşulları altında işlem yapabilmelidir.

Katyon Değişim Membranları			Anyon Değişim Membranları		
İşlevsel grup	Yapı	Özellikler	İşlevsel grup	Yapı	Özellikler
Sülfonik asit	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\    \\ -\text{S}-\text{O} \\    \\ \text{O} \end{array}$	kuvvetli asit	Quaterner amin	$\begin{array}{c} \text{R}^+ \\   \\ -\text{N}-\text{R} \\   \\ \text{R} \end{array}$	kuvvetli bazık
Karboksilli asit	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\    \\ -\text{C} \\   \\ \text{O} \end{array}$	zayıf asit	Tersiyer amin	$\begin{array}{c} \text{H}^+ \\   \\ -\text{N}-\text{R} \\   \\ \text{R} \end{array}$	zayıf bazık
Fosfonik asit	$\begin{array}{c} \text{O}^{2-} \\    \\ -\text{P}-\text{O} \\   \\ \text{O} \end{array}$	kuvvetli asit	Sekonder amin	$\begin{array}{c} \text{H}^+ \\   \\ -\text{N}-\text{R} \\   \\ \text{H} \end{array}$	zayıf bazık
Fosfinik asit	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\    \\ -\text{P}-\text{O} \\   \\ \text{H} \end{array}$	zayıf asit	Primer amin	$\begin{array}{c} \text{H}^+ \\   \\ -\text{N}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	zayıf bazık
Arsenik asit	$\begin{array}{c} \text{O}^{2-} \\    \\ -\text{As}-\text{O} \\   \\ \text{O} \end{array}$	zayıf asit	Quaterner fosfonyum	$\begin{array}{c} \text{R}^+ \\   \\ -\text{P}-\text{R} \\   \\ \text{R} \end{array}$	zayıf bazık
			Tersiyer sülfonyum	$\begin{array}{c} \text{R}^+ \\   \\ -\text{S} \\   \\ \text{R} \end{array}$	zayıf bazık

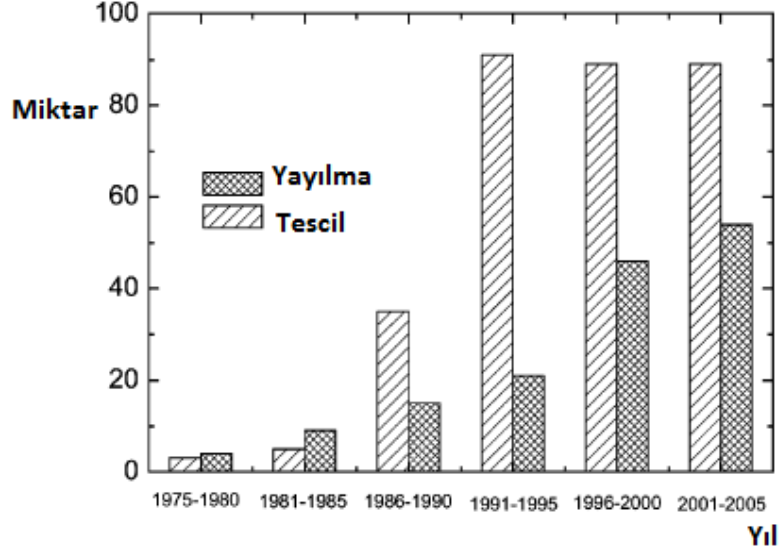
Şekil 3.9 Katyon ve anyon seçici membranlarda kullanılan iyon seçici gruplar

Bununla beraber iyon değişim membranlarının özelliklerini optimize etmek güçtür. Çünkü farklı özellikleri belirleyen bu parametreler çoğunlukla zıt etkilere sahiptir. Örneğin çapraz bağların yüksek derecede olması membranın mekaniksel dayanıklılığını geliştirirken aynı zamanda elektriksel direncini de artırır. Membran matrisindeki sabit iyonik yüklerin yüksek yoğunlukta olması elektriksel direnci düşürdüğünden istenen bir özelliktir fakat zayıf mekaniksel kararlılığa, seçiciliğin azalmasına ve aşırı su taşınımına yol açar. Eğer membran yüksek sıcaklıkta kullanılacaksa iyi bir ısıl kararlılığa da sahip olması istenir. Ayrıca deniz suyundan sofr tuzu üretiminde olduğu gibi kullanıldığı sürece göre membranların aynı yükü taşıyan iyonlar arasında seçici olması da gerekebilir [29].

### 3.3.2 Bipolar Membranlar

Bipolar membranlar ilk olarak 1950' li yıllarda ortaya konulmuş, iyon seçici membranların bir çeşididir[40]. Bipolar membranın temel çalışma prensibi hidrofilitik su moleküllerinin elektriksel alan altında ayrıştırılmasıdır [41]. Bipolar membran elektrodializ sistemine benzer şekilde iki elektrot arasındaki bir anyon ve bir katyon seçici membran arasına paralel olarak ayarlanır[42]. Elektriksel alan etkisiyle yeterli elektrolit çözeltisi sayesinde membran suyu hidrojen ve hidroksil iyonlarına ayırabilir[43]. Bipolar membranlar ile ikincil bir tuz kirliliği olmaksızın tuzdan asit ve baz üretimi mümkündür. Bu yüzden ekonomik ve çevresel yarar sağlayan bir teknolojidir. Sağlamış olduğu yararlar sebebiyle elektrodializ bipolar membran sistemler (BMED) kimya, gıda, biyokimya endüstrisi ve çevre koruma alanlarında kullanılmaktadır. Bipolar membran teknolojisinin endüstriyel ekolojiye ne gibi katkılarının olduğunun tam olarak bilinmemesi, membran maliyetlerinin yüksek olması, bu konu üzerine literatürde yeterli çalışma bulunmaması ve işletme deneyiminin az olması gelişimi kısıtlayıcı etmenlerdir[44].

Elektrodializ bipolar membran sistemler son 20 yılda daha çok dikkat çekmişlerdir. 1986' dan 2004' e kadar bipolar membran dünya çapında toplam 3010 m<sup>2</sup> alanda kurulmuştur. Bunun 1660 m<sup>2</sup>'si Amerika'da, 650 m<sup>2</sup>' si Asya' da ve 700 m<sup>2</sup>' si ise Avrupa' da kullanılmıştır [44]. BMED sistemi çeşitli çözeltilerin asidifikasyonu ve bazifikasyonu için hem proton hem de hidroksil iyonların ayrışmasını sağlayan bir elektrokimyasal süreçtir [41]. BMED ile klasik ED sistemi karşılaştırıldığında klasik sistemde ortaya diluat ve konsantre dışında bir ürün çıkmazken, BMED sistemlerinde asit, baz ve tuz üretimi gerçekleşmektedir [43]. Özellikle son yıllarda kullanımı hızla artan bu teknolojinin gelişimine ilişkin görsel bir grafik, Şekil 3.10'da verilmektedir[44].



Şekil 3.10 BMED sistemlerin gelişim kronolojisi

BMED prosesler; asit [45] ve organik asit üretimi [46], asit geri kazanımı[47], suyun iyonlarına ayrıştırılması [48], gıdaların ekstrakte edilerek desalinasyonu [49], nutrientlerin ve organik bileşenlerin tuz bileşiklerinden ayrılması[50], deniz suyu arıtımı[51], içecek endüstrisinde atıksuların arıtımı ve konsantre eldesi[52], mikrobiyal yakıt hücrelerinden demir iyonları giderimi [53] vs. gibi birçok konuda kullanımı mevcut bir teknolojidir.

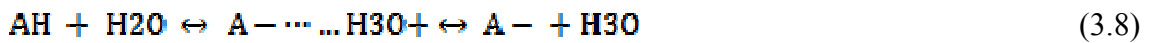
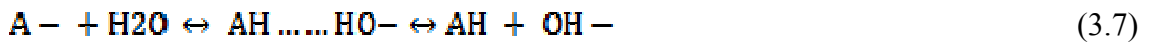
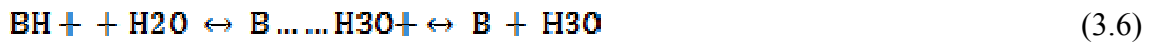
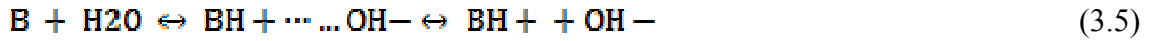
### 3.3.2.1 Bipolar Membranlı Elektrodializ Prosesi

Bipolar membran, en az bir katyon ve anyon seçici membran tabakasından oluşan bir membran kompozisyonudur [37]. Bipolar membran yapısında bulunan bu anyon ve katyon seçici tabakalar suyun iyonlarına ayrılması, depolamayı ve tıkanmayı önleme ve tek ve çift yüklü iyonların birbirinden ayrılması gibi uygulamalarda yer almaktadırlar. Özellikle elektrodializ proseslerde bipolar membranlar konsantre tuz çözeltisinden asit ve baz üretimini gerçekleştirmektedirler.

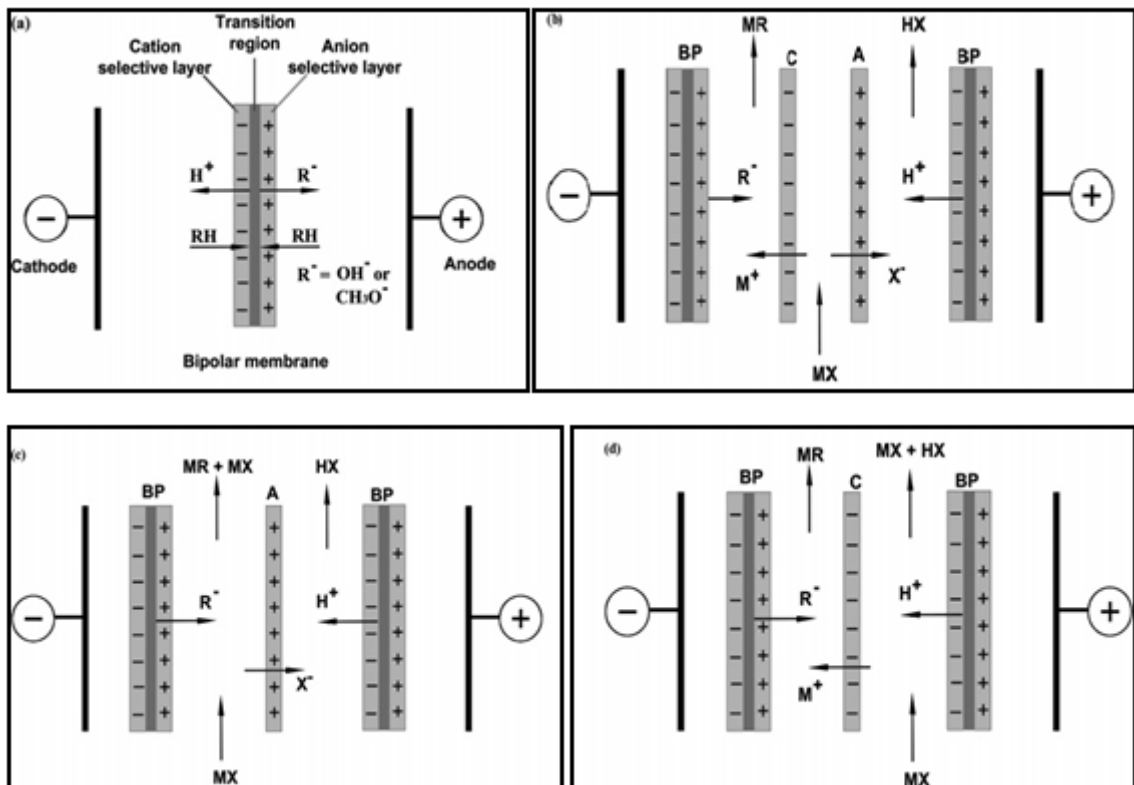
Bipolar membranlar ile su ayrıştıran elektrodializ sistemlerde konvansiyonel elektrodializ prosesleri gibi 2 elektrot arasına yüzlerce hücre biriminin yığılması nedeniyle çok verimli bir enerji ile ilgili tuz konsantrasyonundan asit - baz oluşur [37]. Ancak bipolar membran yapısının çok yüksek akım yoğunluklarında kararsızlık gibi bazı

sorunları halen mevcuttur[54]. Bu açıdan bakıldığında uygulanan sistemdeki kritik nokta bipolar membranlardır.

Bipolar membranların kullanıldığı elektrodializ sistemlerde bazı katalitik reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Su molekülleri ve fonksiyonel kimyasal gruplar arasında oluşan reaksiyonlar (3.5), (3.6), (3.7), (3.8) eşitliğindeki gibi oluşum göstermektedir.



Şekil 3.11’de elektriksel akım etkisiyle meydana gelen bipolar membran reaksiyonları anlatılmaktadır.



Şekil 3.11 Bipolar membran ve BMED: BP, bipolar membran; A, anyon seçici membran; C, kation seçici membran; M<sup>+</sup>, kation; X<sup>-</sup>, anyon; H<sup>+</sup>, hidrojen iyonu; R, OH veya CH<sub>3</sub>O. (a) bipolar membran ve fonksiyonları; (b) asit ve baz üretimi; (c) asit üretimi; (d) baz üretimi

Şekil 3.11 (a)' da elektrodializ hücresi içinde zıt yüklü iki elektrot arasında solvent olarak kullanılan su (H<sub>2</sub>O) veya metanol (CH<sub>3</sub>OH) sırasıyla H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> veya H<sup>+</sup> ve CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup> gibi anyon ve katyonlarına ayrılmaktadır. Şekil 3.11 (b)' de bipolar membranlar arasına yerleştirilen anyon ve katyon seçici membranlar sayesinde katyonlar, OH<sup>-</sup> veya CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup> anyonları ile, anyonlar da H<sup>+</sup> katyonu ile birleşerek asit ve baz üretimi eş zamanlı sağlanmaktadır. Şekil 3.11 (c)' de bipolar membranlar arasında yalnızca anyon seçici membran kullanılarak asit oluşumu gözlemlenmektedir. Şekil 3.11 (d)' de ise elektrodializ hücresinde bipolar membran ve katyon seçici membran ile baz üretimi gerçekleşmektedir.

### 3.3.3 Doğru Akım Kaynağı

Elektrodializ sistemde anyon ve katyonların doğru transferini sağlayan elektriksel gerilimi ve akımı ayarlanabilen bir akım kaynağı mevcut olmalıdır.

### 3.3.4 Elektrotlar

Elektrokimyasal reaksiyonlar açısından reaksiyonların çıkış noktası olan elektrotların seçimi ve özellikleri büyük önem taşımaktadır. Elektrodializ hücresi içinde kullanılan her iki elektrot yeterli mekanik dayanıklılığa, erozyona karşı dirençliliğe ve elektrolit, tepkimeye girenler ve ürünler tarafından oluşabilecek fiziksel etkilere dayanabilme özelliklerine sahip olmalıdır. İnert elektrotların kimyasal etkilere karşı direnci önemlidir ve korozyon, istenilmeyen oksit, hidrür veya istenilmeyen organik filmlerden hem işlem koşulları altında hem de pasif durumlarda kaçınılmalıdır. Tasarlanan ED hücresine uygun fiziksel şekillerde elektrot seçimi hücre bakımı ve elektriksel bağlantıları sağlayabilmek açısından önem arz etmektedir. Bir elektrodun yüzey koşulları ve şekli, ürün ayırımındaki gaz veya katılar gibi madde çeşidine bağlı olarak dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, elektrot maliyeti düşük olmalı ve mümkün olduğu kadar uzun süre verimli bir şekilde kullanılabilmelidir[55]. Çizelge 3.1'de elektrodializ prosesinde en çok kullanılan elektrot tipleri görülmektedir[56].

Çizelge 3.1 En çok kullanılan elektrot malzemeleri

Katotlar	Anotlar
Hg, Pb, Ni	Pt, Pt/ Ti, Ir/ Ti, Pt-Ir/ Ti, (Pt/ Nb, Pt/ Ta)
Grafit ve çoğu zaman polimerlerle, porozite, yoğunluk, korozyon direnci, nemliliği iyileştirmek için belli sıcaklıklarda işlem görmüş karbonun diğer şekilleri	Grafit veya karbonun diğer şekilleri (işlenmiş), Asit-sülfat ortamında Pb, Ti-Nb veya C üzerinde PbO <sub>2</sub>
Çelikler	Alkali ortamda Ni
Paslanmaz Çelikler	
Çelik üzerinde düşük H <sub>2</sub> aşırı gerilim materyalleri kaplaması (Ni, Ni/ Al, Ni/ Zn)	Boyutsal olarak kararlı anotlar (Ti oksit karışımı, Ti üzerinde O <sub>2</sub> için IrO <sub>2</sub> )
Ni, Mo, Fe veya Ni, Mo, Cr	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
TiO <sub>x</sub>	İletken seramikle Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub>

Elektrot malzemesinin seçimi çalışılan prosese bağlı olarak değişmektedir. Bununla beraber kullanılacak elektrodun seçimi yapılırken aşağıdaki özelliklere dikkat edilmesi önemlidir[23],[36].

- Yüksek fiziksel dayanıklılık,
- Yüksek kimyasal kararlılık,
- Yüksek elektriksel iletkenlik,
- Uygun bir fiziksel biçime getirmek için işlem kolaylığı,
- Uygun elektrokatalitik özellikler,
- Uzun kullanım ömrü,
- Kirlilik oluşturmaması,
- Düşük maliyet,
- Güvenlik,
- Kolayca elde edilebilir ve onarılabilir olması,

Metal elektrotların genel bir üstünlüğü, düşük (genellikle ihmal edilebilir) akımla sonuçlanan yüksek iletkenlikleridir. Katı elektrotlarda, zorlanmış ulaşım hassasiyeti ve yeniden üretilebilirliği arttırmak oldukça kolaydır. Yüzeyleri elektriksel birikim veya kimyasal işlemlerle iyileştirilebilir. İkinci durum karbon elektrotları ile daha yaygındır. Metal elektrot kullanımının diğer bir yararı ise elektrot malzemesinin yapım ve onarım kolaylığıdır [57].



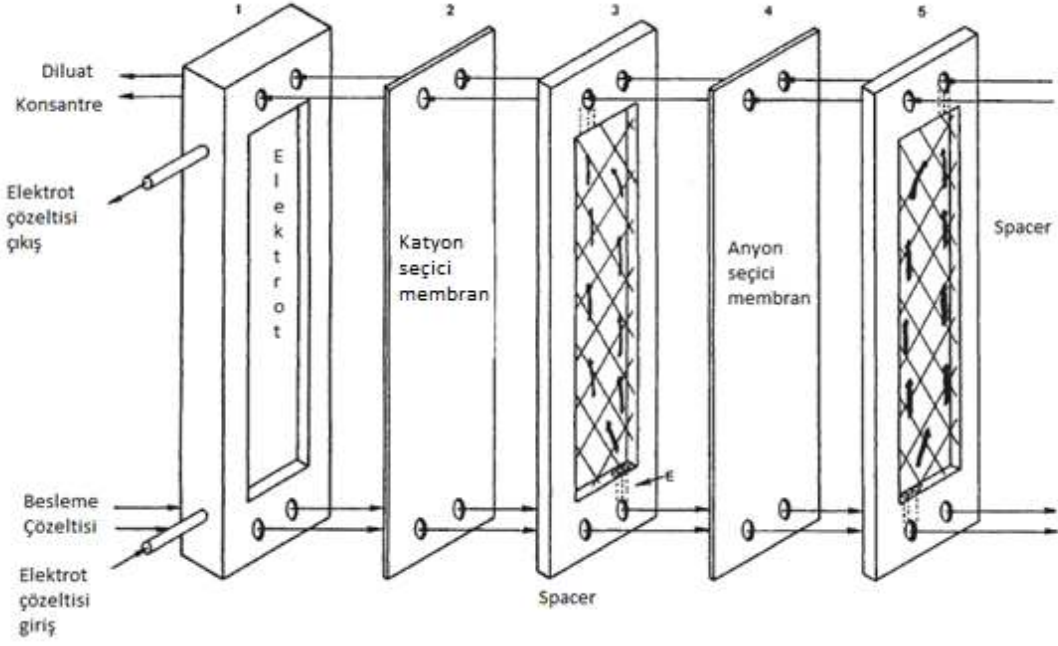
### 3.3.5 Çözücüler ve Elektrolitler

Elektrotlar katot ve anot arasında akım taşıyıcılarıyken, çözücüler elektrolitler ve gerekli membranlar arasındaki boşluğu doldurarak iyon taşınımı için bir süreklilik sağlamaktadır. Çözücülerdeki tuzların veya elektrolitlerin çözünürlüğü elektrik direnci ve ED hücrelerinin enerji tüketimi için kritiktir. Bu durum aynı zamanda işlem kararlılığını da etkilemektedir (membran kirliliği ve boru erozyonu). Bazı çözücüler membranların fonksiyon için ihtiyaç duydukları besleme stoğudur. Bu duruma bipolar membranlarda alkol ayrılması için metanol örnek gösterilebilir [36].

### 3.3.6 Elektrodiyaliz Hücresi

Elektrodiyaliz hücresi genellikle çerçeve ve plaka membran tiplerine göre tasarlanır. Hücrenin en dış tabakasında zıt yüklü iki elektrot vardır. Hücrenin iç tabakasında iyon seçici membranlar yer alır. Membran tabakaları arası uzaklık mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Membranlar 2-5 mm aralıklarla dizi halinde anot ve katot arasına dizilirler. Böylece farklı konsantrasyonlarda çözeltilerin oluşacağı ayrı bölmeler meydana gelir[58].

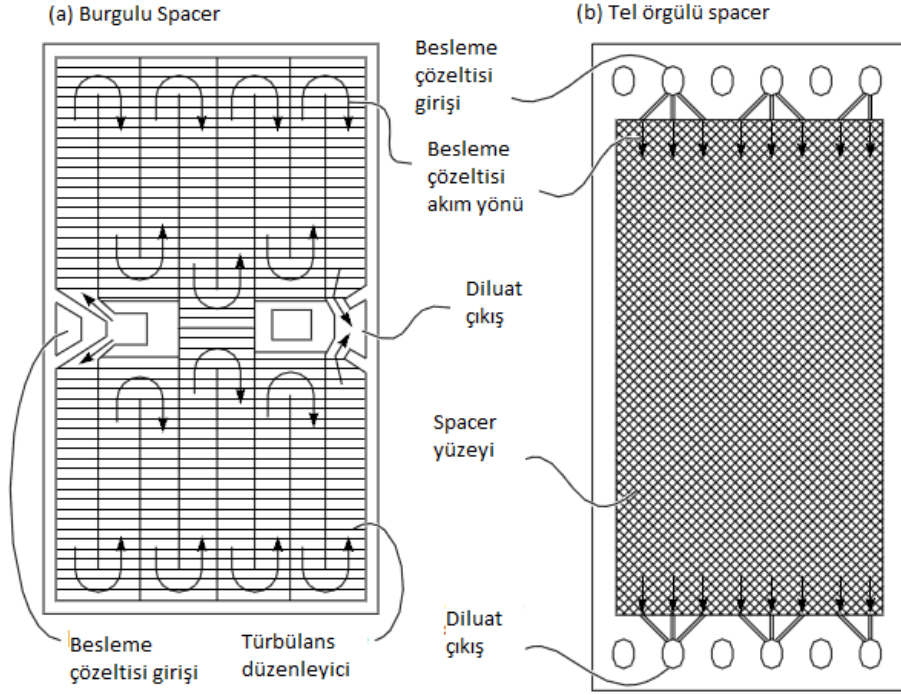
Elektrodiyaliz sistemler kesikli ve sürekli olmak üzere iki şekilde işletilebilmektedir. İşletimi kısıtlayan unsur tüm membran proseslerde olduğu gibi elektrodiyaliz sistemlerde de iyon seçici membranların kirlenerek tıkanmasıdır. Bu kısıtlayıcı unsur neticesinde işletme performansı düşmektedir. Kesikli sistemler, performansı düşen membranların değiştirilebilmesi sebebiyle laboratuvar uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda ise kesikli veya sürekli işletme mevcuttur[22]. Şekil 3.12’de bir elektrodiyaliz hücresinin ana bölümleri görülmektedir[59].



Şekil 3.12 Membran ve spacer arası çözelti giriş ve çıkışlarını gösteren bir elektrodializ hücresi

Şekil 3.12’de 1 numaralı bileşen başta ve sonda bulunan elektrotlardan biridir. Bölmelere uygulanan basınca karşı dirençli olması için elektrot kalın ve sert yapılmaktadır. Elektrotun iç yüzeyi 2 ve 4 numaralı bileşen olan iyon seçici membran ile kenetlenebilmesi için girintili çıkıntılı olabilmektedir. 3 ve 5 numaralı bileşenler çözeltilerin ayırımını yapan spacerlardır. Spacer kenarlarında iyon seçici membranlar ile kenetlenmelerini sağlayan contalar bulunur. Spacerların iyon seçici membranlar ile birleştirilmesi ile değişik çözeltilerin elde edildiği bölmeler oluşmuş olur. Her bir spacer Şekil 3.12’de E ile gösterilen çözelti kanalları meydana getirir. İki bölme arasında basınç farkı olduğunda çökeltmeleri önlemek ve iyon seçici membranlara destek sağlamak için tel örgülü spacer kullanılır. Bir elektromembran hücresi Şekil 3.12’de görülen 2, 3, 4, 5 numaralı bileşenler ve son bir elektrotun tekrarlanmasından oluşur. Bu tekrarlanan birimlere hücre çifti denilmektedir [59].

Elektrodializ hücrelerinde kullanılan 3 farklı spacer tipi bulunmaktadır. En çok kullanılan iki spacer şematik gösterimi Şekil 3.13’te görülmektedir[33].



Şekil 3.13 Elektrodiyalizde çözelti dağıtıcı iki spacer

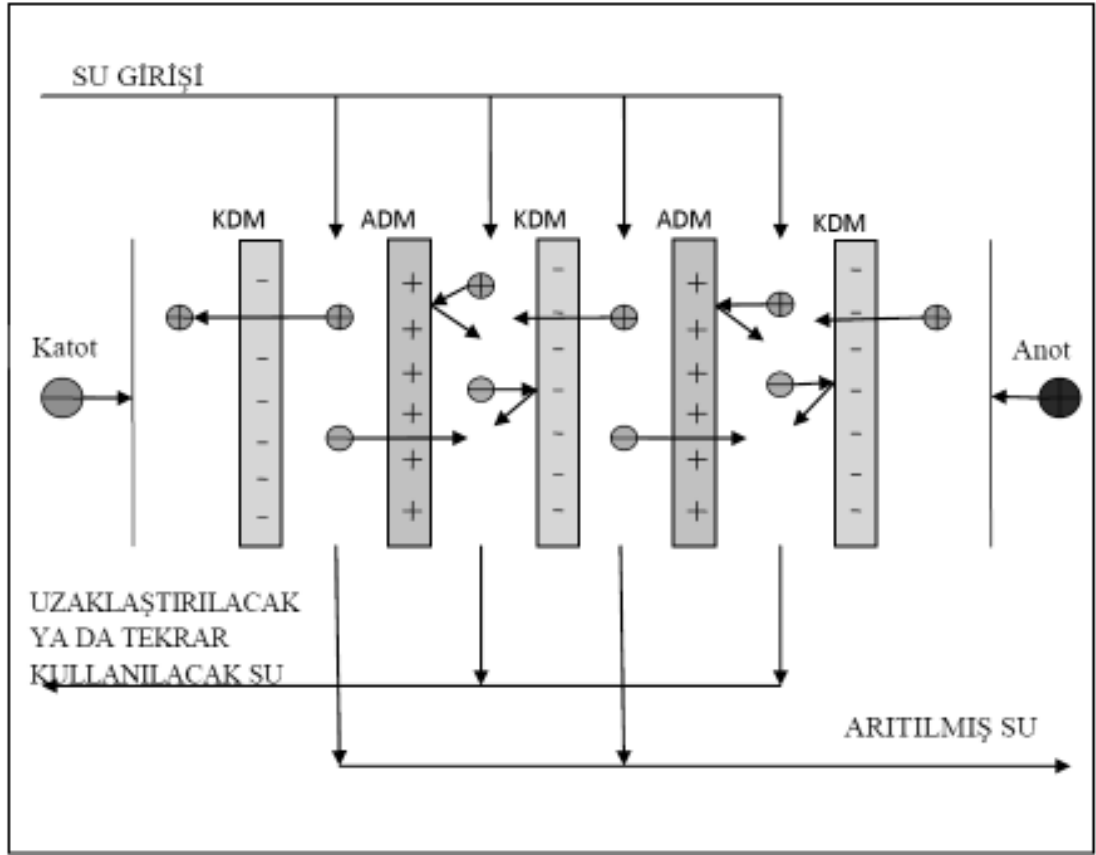
Bunlardan ilki burgulu spacer; bölmelerin giriş ve çıkış noktaları 180° eğimli, çözelti akım yolları uzun ve dar kanalları vardır. Kanal uzunluğunun genişliğine oranı genellikle 100:1 den yüksektir. İkinci spacer çeşidi tel örgülü spacer'dır. Tel örgülü spacerda çözelti akış yolu düz, çözelti giriş ve çıkış noktaları eşit sayıdadır. Çözelti akım hızı genellikle 5-14 cm/s aralığında değişmektedir. Oysa burgulu spacerlarda çözelti akım hızları 30-100 cm/s gibi daha yüksek aralıklardadır. Tel örgülü spacerda çözelti akım yolu daha kısa ve daha düz olduğundan hidrolik basınç burgulu spacer'a göre daha düşüktür. Üçüncü olarak birim hücre spacerları konsantre çözeltiler için özel olarak modifiye edilen bir çeşit spacerdır.

### 3.4 Elektrodiyaliz Türleri

#### 3.4.1 Klasik Elektrodiyaliz

Diyaliz, bir membranla birbirlerinden ayrılmış çözeltilerin, çözünen maddelerin aktivitelerindeki farklılığın etkisiyle, membran ile elektrolit taşınmasıdır[60]. Diyalizde ilk başta, doğal membranlar kullanılmıştır. Daha sonraki zamanlarda ise yüksek iyon değişim kapasiteli, mekanik olarak dirençli ve aside karşı dayanıklı sentetik membranlar üretilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır[61].

Basit bir elektrodializ sistemi, bir kalıp içinde, bir anot ve katot arasında yerleştirilmiş iyon değiştirici membranları içermektedir. İyon değiştirici membranlar, gidermek istenen maddelere göre, sadece anyon değiştirici membranlar, sadece katyon değiştirici membranlar ya da hem anyon değiştirici hem de katyon değiştirici membranlardan oluşabilmektedir. Şekil 3.14’de iyon değiştirici membranlarla elektrodializ prosesinin çalışma prensibi yer almaktadır.



Şekil 3.14 İyon değiştirici membranlarla elektrodializ sisteminin çalışma prensibi

Anot ve katot kutupları arasında anyon değiştirici ve katyon değiştirici membranlar yerleştirilerek elektrodializ düzeneği elde edilir. Kutuplar arasında belli bir potansiyel uygulanması halinde, besleme çözeltisindeki katyonlar katoda doğru, anyonlar ise anoda doğru hareket etmektedirler. Anyon değiştirici membranlar anyonların, katyon değiştirici membranlar ise katyonların geçmesine izin vererek, besleme çözeltisindeki anyon ve katyonlar birbirinden ayrılmış yani çözelti temizlenmiş olur. Buna ilave olarak, ayrılmak istenen katyon ve anyon bakımından daha konsantre olan bir çözelti de elektrodializ işlemi sonunda elde edilmektedir. Bu şekilde geri kazanılmak istenilen

iyonlar (özellikle değerli metallerin iyonları) daha konsantre halde ayrılırken besleme çözeltisinin arıtımı da gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Donnan diyaliz ve elektrodiyaliz sistemleri, su ortamından anyon ve katyonların uzaklaştırılması işlemlerinde, son yıllarda yapılan yoğun çalışmalarla daha yaygın bir hale gelmiştir. Donnan diyaliz ve elektrodiyaliz metotları genel olarak, deniz suyunun saflaştırılması[62], çözelti ortamından tuz ve asitlerin geri kazanımı [47], metallerin endüstriyel atıksulardan geri kazanımı[63] işlemlerinde kullanılmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, donnan diyaliz ve elektrodiyaliz metotlarının su arıtımında çok geniş uygulama alanı olması yanında, spesifik olarak, kromun, su ortamından uzaklaştırılması için söz konusu diyaliz metotlarının kullanıldığı değişik çalışmalar da mevcuttur[64],[65]. Ayrıca, elektrodiyaliz metotları ile çözelti ortamından Cr (VI)'nın ayrılıp geri kazanım işleminin yapıldığı bazı çalışmalar patent alma hakkı kazanmıştır.

Elektrodiyaliz sistemlerinin tercih edilme sebepleri;

- Enerji etkin bir biçimde kullanılarak yüksek giderim verimi sağlanması,
- Rejenerasyon gibi sıklıkla yapılan bakımlara ihtiyaç duymaması,
- Enerji kullanımı artışı ile doğru orantılı giderimi verimi artışı.
- Silis gibi iyonsuz maddelerin giderimine yardımcı olması,
- Ön arıtımda, daha az kimyasal kullanımı sağlaması,
- Bilgisayarlı otomasyon sistemleri yardımı ile işletme kolaylığı sağlaması olarak sıralanabilir.
- Bu sistemlerin işletilmesi sırasında çeşitli işletme sorunları da oluşabilmektedir.  
Bu işletme sorunları;
- Polarizasyon ve diğer faktörler, çökelmeye neden olabilir.
- Membran sistemin aralarındaki boşluklar sebebiyle sızma sorunları olabilmektedir.
- Elektrotlardan anotta yükseltgenme, katotta indirgenme reaksiyonları oluşabilir. Bu da elektrotlarda çözünme ve erozyona yol açabilir. Ayrıca, pH'a bağlı olarak klor ve/veya oksijen üretimine yol açabilmektedir.

Elektrodiyaliz hem yüksüz hem de yüklü membranlar kullanılarak yapılabilir. Yüksüz membranlar kullanılarak gerçekleştirilecek bir elektrodiyalizin klasik diyaliz yöntemi ile olan farkı derişim farkından çok daha büyük bir kuvvet uygulanmasıdır ve böylece daha büyük akışlar elde edilir. Yüklü membranların kullanılması durumunda ise membrana göre aynı yüke sahip türlerin alikonması nedeniyle seçici ayırım sağlanmıştır.

### **3.4.2 Elektrodeiyonizasyon**

Elektrodeiyonizasyon iyon değişim ve elektrodiyalizin bir bileşimidir. Elektrik yükü, aralarında reçine bulunan membranların dışındaki elektrotlara uygulanmaktadır. EDI sürecinde, iyon taşınımı iyon değişim reçineleri boyunca meydana gelir ve suyun mukavemetinden etkilenmez. Elektriksel direnci 18 M $\Omega$ .cm'den büyük olan ultra saf su üretiminde sıklıkla iyon değiştirici reçineler kullanılır. Bununla beraber reçinelerin yenileme işlemi bu sürecin dezavantajıdır. Ancak elektrodiyalizle kombinasyonu kullanılmaksızın sürekli bir yenilenmeyi mümkün kılar [35].

Elektrodeiyonizasyon sistemleri ilk kez kirli sulardan radyoaktif elementlerin küçük miktarlarını gidermek için önerilmiştir[66]. Bu süreçler suyun tuzunun giderimini dışındaki diğer uygulamalarda da görölmektedir. Bu konudaki temel uygulamalar elektronik ve ilaç endüstrileri için ultra saf su hazırlamaktır. Bu süreç kimi zaman ters ozmoz ünitesi ile bir ön işlemden sonra da kullanılabilir.

### **3.4.3 Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz**

Bipolar membranlar membran teknolojisinin gelişmesiyle kendine önemli bir yer bulan ve proses içerisinde önemli rol oynayan membran türüdür. Yüksek dayanıklılığa sahip düşük gerilimli anyon ve katyon değiştirici membranların bir araya gelmesiyle bipolar membranlar oluşturulabilmektedir[67]. Bipolar Membranlar özellikle son yıllarda rağbet gören ve çeşitli alanlarda kullanılan membran tipleridir. Bu nedenle çeşitli firmalar bu membranlardan üretmeye başlamıştır. Çizelge3.2'de bipolar membran ürünlerin özellikleri ve bu ürünleri üreten firmaların adları verilmiştir[44].

Çizelge 3.2 Bipolar Membran Üreticileri ve Özellikleri (a: 0.5N Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> için 30°C'de 1kA/m<sup>2</sup> deki voltaj değişimi, b: 1 kA/m<sup>2</sup>'de 1 N NaOH ve 1 N HCl için verim)

Firma	Membran	Kalınlık	Voltaj*	Verim**	Boyut	Amaç
Fumatech GmbH, Almanya	FT-FBI	0,180	<1,2	%99	0,50×2,00	Aminoasit
Fumatech GmbH, Almanya	FT-FTBM	0,450	<1,8	%92	0,50×1,00	Ultra Saf Su
Fumatech GmbH, Almanya	FT-AQL-S1	0,250	<1,1	%98	0,50×2,00	İnorganik Tuz
Fumatech GmbH, Almanya	FT-AQL-P6	0,200	<1,1	%98	0,50×2,00	Organik Asit
Solvay SA - Belçika	BPM	0,20-0,30	0,9-1,2	-	-	-
Tkuyama Co. - Japonya	Neosepta BP1	0,20-0,35	1,2-2,2	>%98	1,00×1,00	Standart
WSI Tech. - USA	WSI	-	0,95	%97	-	-
Graver Water Co., USA	Aqualytics BP6	-	-	-	-	-
Tianwei Membran Tech. Çin	TWBPM	0,20-0,30	1,5-2,1	-	-	-

Yapılması planlanan bir bipolar membran düzeneğinde işletme şartları gerek çalışmanın verimliliği açısından ve gerekse elde edilen sonuçların optimum düzeyde olması açısından geniş aralıklı bir şekilde seçilmelidir. Bu açıdan bakıldığında başta akım ve volt değerleri daha sonra ise süre ve pH dikkate alınarak uygun işletme şartları aralığı belirlenip çalışmaların yapılması gerekmektedir. Akabinde giderilmesi veya üretilmesi istenilen parametrenin ne ölçüde değiştiğini gözlemlemek mümkün olabilmektedir[67],[68]. Ayrıca elektrotların bağlantı şekillerinin farklı olması ve iyon seçici membran sayısının fazla olması verime olumlu yönde etki ettiği saptanmıştır[69]. Bipolar membran elektrodializ prosesinin çalışıldığı takdirde çeşitli işletme şartları üzerinde çalışılmalıdır. Bu parametreler genel olarak şu şekildedir[69-70].

**1- Akım (ve Volt):** Akım ve Elektriksel gerilim değerleri benzer parametreler olduğu için tek bir başlık altında incelenmesi uygun görülmüştür. Elektrodializ prosesini diyaliz prosesinden ayıran en temel özellik elektriksel potansiyel farkına dayalı olarak iyonların hareket etmesidir. Bu nedenle akım parametresi iyon göçünün nasıl ve ne oranda sağlanabileceğini belirlemek açısından oldukça önemlidir. Yapılan çalışmaların tamamında bu parametre üzerinde değişiklikler yapılarak optimum değer belirlenmeye çalışılmaktadır. Ayrıca iyon göçlerinde membranların kendi içerisinde yer alan direnç kayıplarının da göz ardı edilmemesi için akım değerleri önem taşımaktadır. Ayrıca elektriksel gerilim değerleriyle de birlikte değerlendirilerek ekonomik analiz yapılabilmektedir.

**2- Süre (Akış Hızı):** Bir diğer ve tüm çalışmalarda kullanılan işletme parametresi de reaksiyon süresi ve bir başka deyişle akış hızıdır. Bu hızın artırılması iyon göçünün tamamlanmadan reaksiyonun sona ermesi anlamına gelebileceği için

iyi incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu akış hızının da uygun değerinin altında olması elektrik enerjisine mâl olduğu için gereksiz maliyet kaybı olarak karşımıza çıkacaktır. Bu bakımdan tüm elektrokimyasal proseslerinde olduğu gibi elektrodializ prosesinde de reaksiyon süresi veya bir başka deyişle akış hızı oldukça önemli bir parametredir.

**3- pH:** bir diğer önemli parametre ise şüphesiz pH parametresidir. Bu sayede numune içerisindeki fraksiyonel değişim söz konusu olduğu için direkt olarak etkilidir. Yapılan çalışmaların çoğunda başlangıç pH değeri üzerinde değişiklikler yapılmaktadır. Ayrıca çıkış pH değerlerine bakılarak konsantrasyon kısmındaki asit ve baz oluşum değerlerinin de verimliliği tayin edilebilecektir.

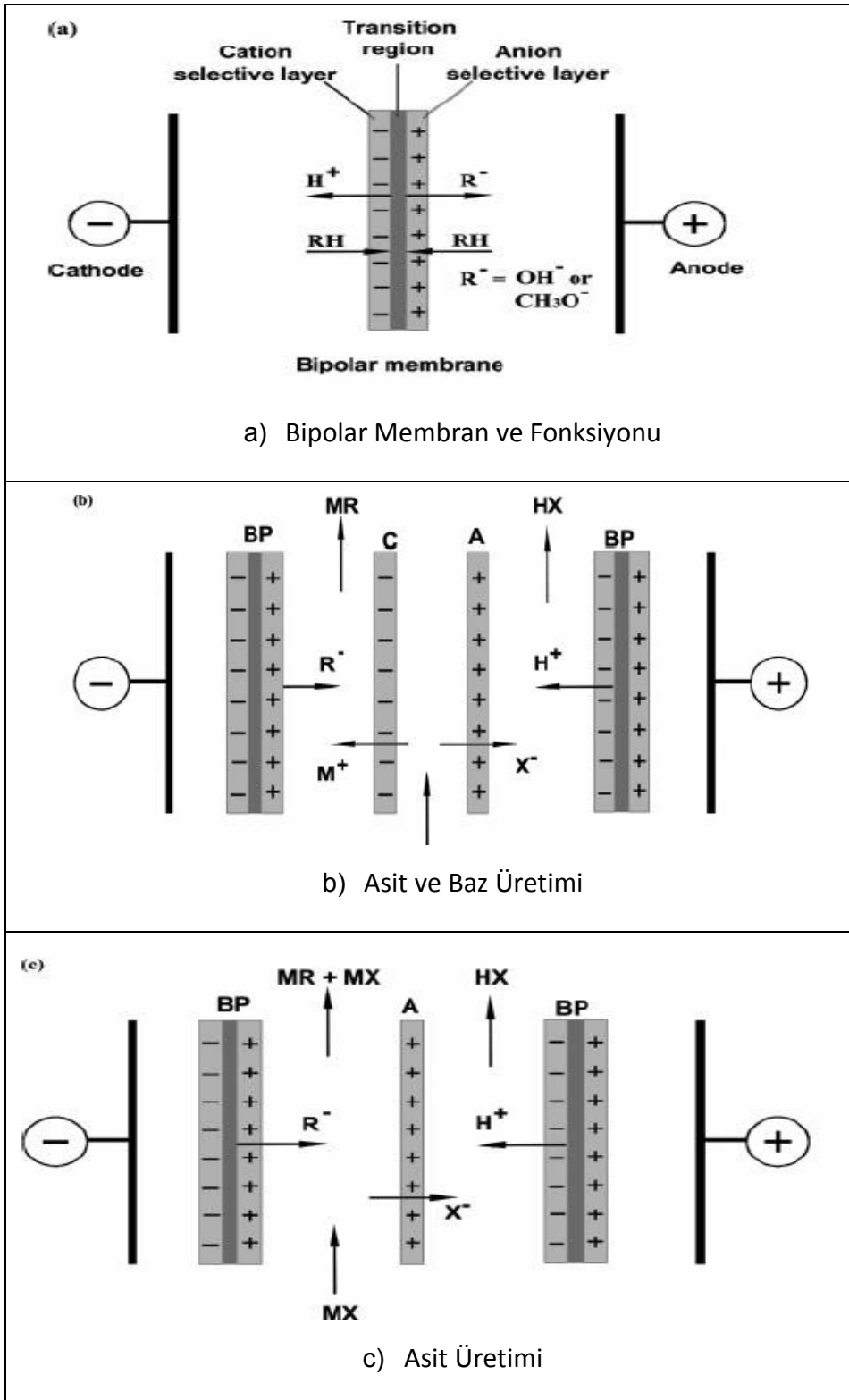
**4- Sıcaklık :** Bu parametreler dışında ara sıra kullanılan farklı parametrelerden biri de sıcaklıktır. Sıcaklığa bağlı olarak gerek iyon hareketleri ve gerekse fraksiyonel ilişkiler etkilenmektedir. Bu da elektrolitik reaksiyonlar açısından önem arz etmekte ve proses üzerinde etkin bir parametre olarak yer almasını sağlamaktadır.

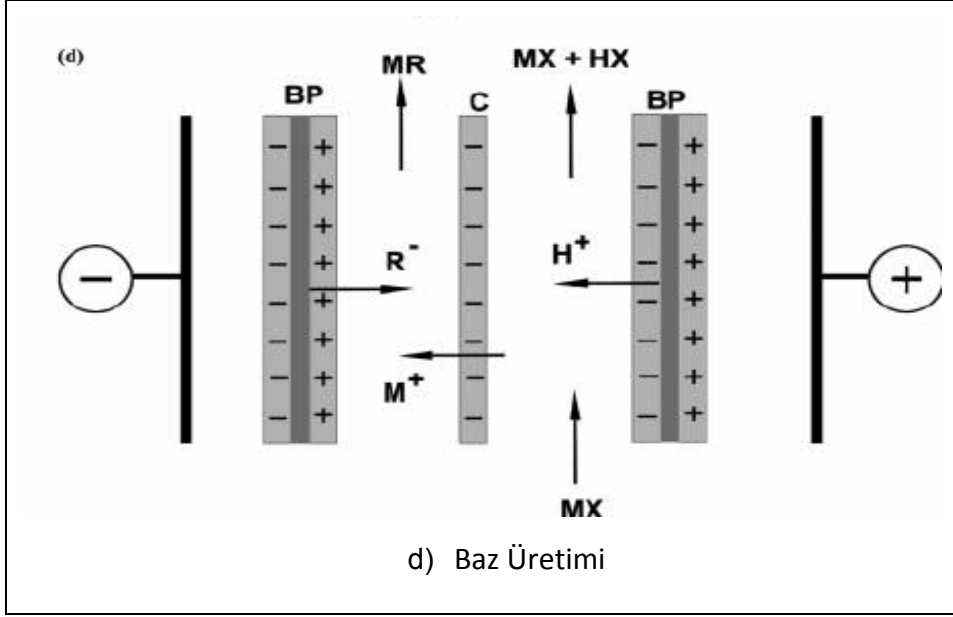
#### **3.4.3.1 Bipolar Membranlı Elektrodializ Prosesinin Kullanım Alanları**

Bipolar membran elektrodializ prosesi en son teknolojik şekilde içme suyu ve endüstriler tuzlu suların kullanma suyu temininde ve endüstriyel çıkış sularının geri kazanılabilmesinde entegre bir proses olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan gerek kimyasal proseslerde ve gerekse çevre koruma proseslerinde son yıllarda başarılı bir şekilde uygulamaları devam etmektedir. Bipolar membranın bir diğer kullanım alanı da kimya sektörü olup, bu sektörde  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  gibi bir tuzdan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ve  $\text{NaOH}$  gibi yeni ürünlerin üretimi sağlanmaktadır. Nitekim bu yöntem son dönemde oldukça yaygınlaşmış olup, başarıyla kullanılmaktadır[71]. Özellikle bu yöntemle atık oluşturmadan asit ve baz üretiminin sağlanması ve organik – inorganik asitlerin üretilmesi bu yöntemle olan ilgiyi arttırmıştır[72]. Bu konuyla ilgili olarak bir çok araştırmacı çalışmıştır. Özellikle asetik asit, propiyonik asit, glukonik asit, sitrik asit ve laktik asit üzerine çok sayıda çalışmalar bulmak mümkündür[73]. Hatta son dönemde bazı model çalışmaları bile yapılmaya başlanmıştır[74]. Asit geri kazanımının



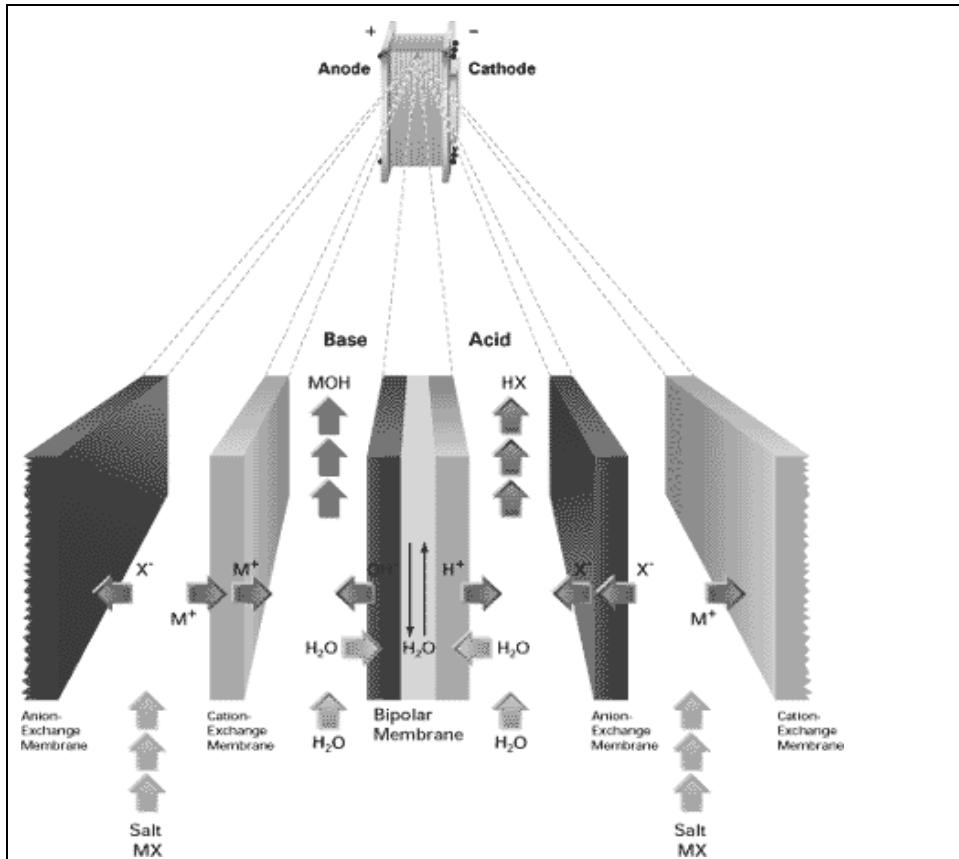
sağlanması ile ilgili olarak giderin daha düşürülmesi için elektrodiyaliz prosesindeki maliyetlerin düşürülmesi üzerine biyoteknolojik araştırmalar devam etmektedir[75]. Aşağıdaki şekilde bipolar membranlar kullanılarak yapılan çalışmalara ait membran bağlama konfigürasyonları verilmektedir[44].



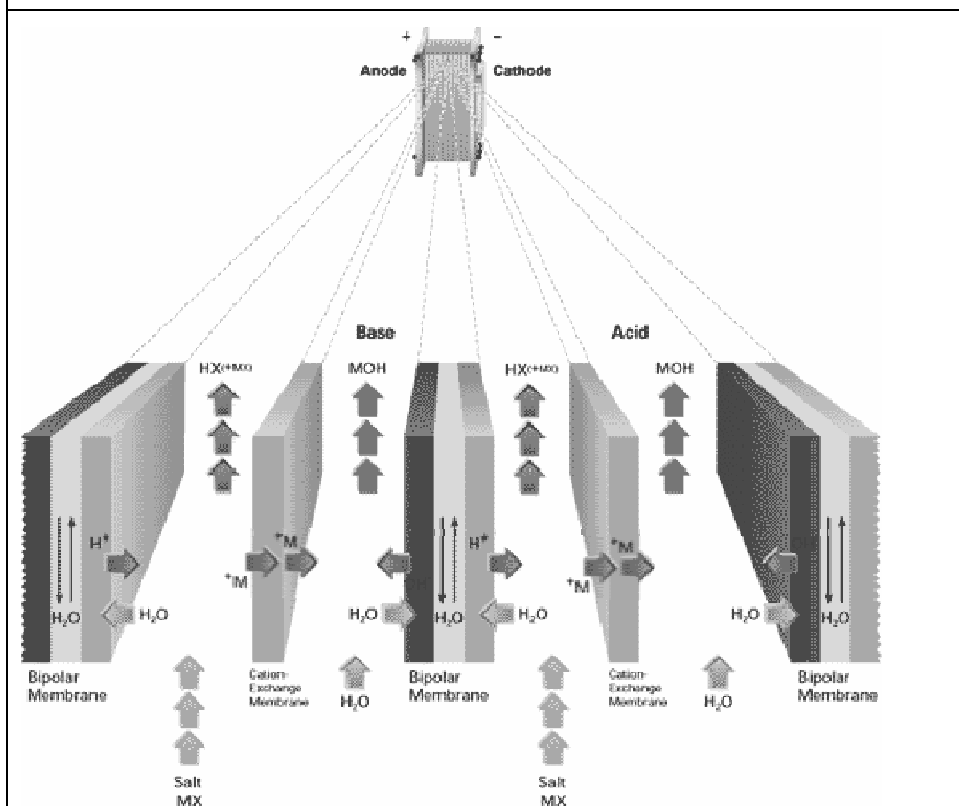


Şekil 3.15 Bipolar membranlı elektrodializ prosesleri, (BP:Bipolar Membran, A: Anyon Seçici Membran, C: Katyon Seçici Membran,  $M^+$ : Katyon,  $X^-$ : Anyon,  $H^+$ : Hidrojen İyonu,  $R^-$ :  $OH^-$ )

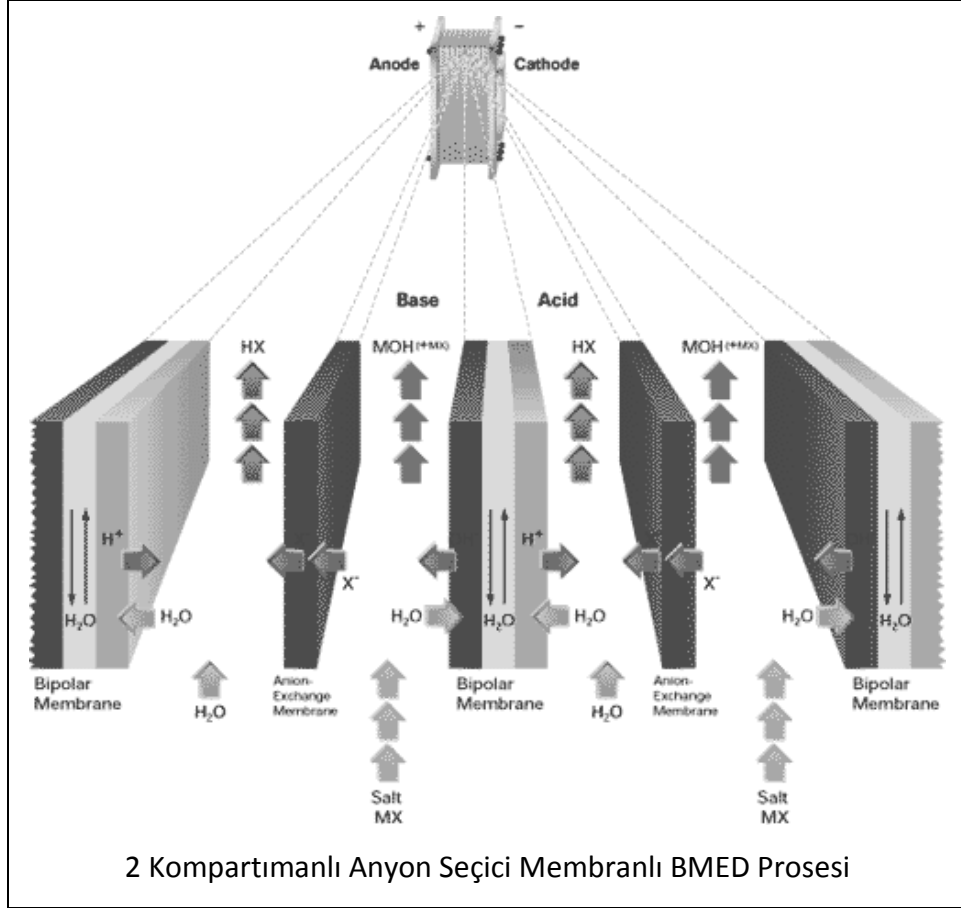
Şekil 3.15'den de görüldüğü üzere farklı bağlantı şekilleri ile bipolar membran elektrodializ prosesinin kullanım alanı oldukça değişebilmektedir. Ayrıca her bir şekil içinde farklı modifikasyonlar ile kullanım esnasında verimin geliştirilmesi mümkün olabilmektedir. En yoğun kullanım alanı asit ve bazın eş zamanlı olarak geri kazanımı şeklindedir. Nitekim yapılan çalışmalarda bu yönde sonuçlar tespit etmiştir. Aşağıdaki şekilde iki ve üç kompartımanlı sistem yanısıra yalnızca anyon seçici, yalnızca katyon seçici ve kombine şekilde anyon ve katyon seçicili elektrodializ proseslerinin görüldüğü çalışmalara yer verilmiştir[76].



3 Kompartımanlı Bipolar Membran Elektrodializ Prosesi



2 Kompartımanlı Katyon Seçici Membranlı BMED Prosesi



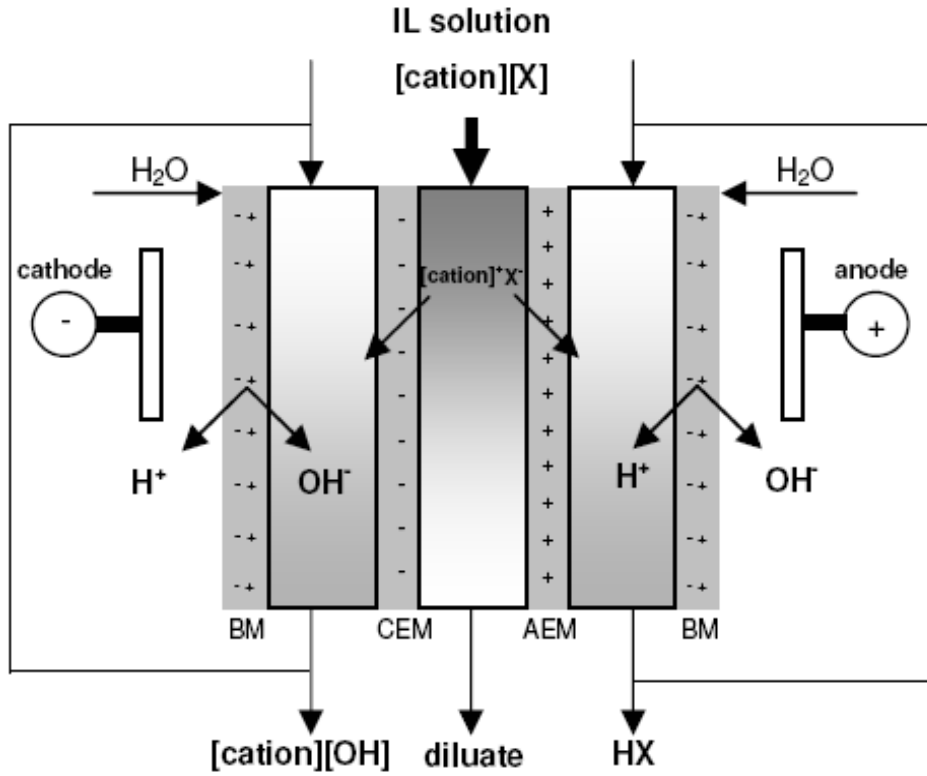
Şekil 3.16 Bipolar membranlı elektrodializ prosesi ile değişik konfigürasyonlar  
Tüm bu değerlendirmeler yanı sıra atıksu arıtımında yapılmış bazı örnek çalışmalara ait elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

Bu değerlendirme ve ayırma verimini arttırmak için tek ve çok kademeli elektrodializ üniteleri kullanılabilir. Bu açıdan verimi yüksek tutmak için literatürde de verildiği üzere birden çok kademeli sistem öngörölmüştür. Yapılmış bazı çalışmalarda olduğu gibi 3'lü sistemlerde 2'li sistemlerden daha yüksek giderim verimlerine ulaşılabileceği belirlenmiştir [77],[78].

### 3.4.3.2 Bipolar Membranlı Elektrodializ Prosesiyle Oluşan Kirleticilerin Değerlendirilebilme alışmaları

Elektrodializ prosenin diğer proseslere oranla önemli bir artısı da şüphesiz kirleticilerin değerlendirilebilme olanağının da mümkün olmasıdır. Literatürde elektrodializ için yapılan çalışmalara dikkat edildiğinde bazı kirleticilerin geri kazanımı mümkün olabiliyor. Bu ağırlıklı olarak tek veya bir kaç kirleticinin bulunduğu sulu çözeltiden o kirleticilerin geri kazanımı şeklinde gerçekleşmektedir. Bu çalışmada ise

çok kompleks bir atıksu olan sızıntı suyundaki tüm kirletici iyonlar ayrılarak deiyonizasyon işlemi gerçekleşecektir. Bu iyonların toplandığı konsantre kısım ise değerlendirilmeye çalışılacaktır. Buna benzer birçok çalışma yapılırken temel mekanizma Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 Elektrodializ prosesiyle kirleticilerin değerlendirilebilmesi

Bu ve benzeri bir çok çalışma gerek laboratuvar gerekse tam ölçekli olarak sürdürülmüştür. Çizelge 3.3’de literatürde yapılmış bazı çalışmalar, proses karakteristikleri verilmektedir[78].

Çizelge 3.3 Bazı Değerlendirme Çalışmaları, Karakteristik Özellikleri

Uygulama	Ölçek	Proses Karakteristiği	Ekonomik Değerlendirme	Referans
HF ve HNO <sub>3</sub> Geri Kazanımı	Endüstriyel Ölçek	3 Kompartımanlı, M. Alanı; $3 \times 10^5 \text{ m}^2$ , BM Ömrü; 2 yıl, Verim %90-95	Toplam 2.950.000 \$ Yıllık T. İşletme Maliyeti: 870.000 \$	[79]
NaOH Geri Kazanımı	Yarı Endüstriyel Pilot Ölçek	Besleme Hızı 5L/h Başl. Kons. 22g/L Akım Yoğ. 900A/m <sup>2</sup> Verim %82 (1 M)	5.0kWh/kg NaOH	[79]

Çizelge 3.3 Bazı Değerlendirme Çalışmaları, Karakteristik Özellikleri (Devamı)

Uygulama	Ölçek	Proses Karakteristiği	Ekonomik Değerlendirme	Referans
NH <sub>3</sub> ve HNO <sub>3</sub> Geri Kazanımı GmbH, Almanya	Yarı Endüstriyel Pilot Ölçek	M. Alanı:120 m <sup>2</sup>	0.34 \$/kg NaNO <sub>3</sub>	
		Başl. Kons. 250g/L		[79]
Dimetilzopropilamin geri kazanımı	Yarı Endüstriyel Pilot Ölçek	Akım Yoğ. 1000A/m <sup>2</sup>		[80]
		Verim %97		
Dimetilzopropilamin geri kazanımı	Yarı Endüstriyel Pilot Ölçek	M. Alanı: 0,3 m <sup>2</sup>		[79]
		Başl. Kons. 110g/L	2,5-5,0 \$/kg amin	[80]
Glukonik Asitin geri Kazanımı	Lab. Ölçekli	Akım Yoğ. 800A/m <sup>2</sup>		
		Verim %30-70		
Glukonik Asitin geri Kazanımı	Lab. Ölçekli	2 Kompartımanlı		
		M. Alanı: 0,19 m <sup>2</sup>	-	[79]
Metanosülfonik Asitin Geri Kazanımı	Endüstriyel Ölçek	2.2 V – 415 A/m <sup>2</sup>		
		Verim %98,3		
Metanosülfonik Asitin Geri Kazanımı	Endüstriyel Ölçek	3 Kompartımanlı	Toplam Gider: 700.000 \$	
		M. Alanı: 64 m <sup>2</sup>	İşl. Mal. 354\$/ton MTA	[79]
Metanosülfonik Asitin Geri Kazanımı	Endüstriyel Ölçek	2.26 V – 800 A/m <sup>2</sup>	Satış Fiyatı: 5500\$/ton MTA	
		Başl. Kons. 80-250g/L		
Amino Asitin Geri Kazanımı	Endüstriyel Ölçek	Verim %95		
		3 Kompartımanlı		
Amino Asitin Geri Kazanımı	Endüstriyel Ölçek	M. Alanı: 540 m <sup>2</sup>	-	[79]
		M. Ömrü 2 yıl		
Laktik Asit Üretimi	Endüstriyel Ölçek	Verim (4-6 M Org. Asit)		
		2 Kompartımanlı	BM Maliyeti	[79]
Laktik Asit Üretimi	Endüstriyel Ölçek	M. Alanı: 280 m <sup>2</sup>	0,12\$/kg	[67]
		Verim %60-96	1kWh/kg Asit	
Kamforsülfonik Asitin Rejenrasyonu	Pilot Ölçek	3 Kompartımanlı		
		BM Alanı 0,14m <sup>2</sup>		[79]
Kamforsülfonik Asitin Rejenrasyonu	Pilot Ölçek	Akım Yoğ. 500 A/m <sup>2</sup>	300 kWh/ton Asit	
		Asit Kons. 0,8 M		
Askorbik Asitin Üretimi	Lab. Ölçek - Yarı End. Pilot Ölçek	Verim %98,5		
		2 Kompartımanlı		
Askorbik Asitin Üretimi	Lab. Ölçek - Yarı End. Pilot Ölçek	Akım Yoğ. 1000 A/m <sup>2</sup>	1,4-2,3kWh/kg Asit	[79],[81],
		Asit Kons. 1 M		[82]

Çizelge 3.3 Bazı Değerlendirme Çalışmaları, Karakteristik Özellikleri (Devamı)

Uygulama	Ölçek	Proses Karakteristiği	Ekonomik Değerlendirme	Referans
Sitrik Asit Üretimi	Pilot Ölçek	2 Kompartımanlı BM Alanı 0,004 m <sup>2</sup> Akım Yoğ. 1000 A/m <sup>2</sup> Asit Kons. 30 g/L	2-5 kWh/kg Asit	[72],[83], [84]
Salisilik Asit Üretimi	Lab. – Pilot Ölçek	3 Kompartıman 30 V – 750 A/m <sup>2</sup> Asit Kons. 4,5 g/L	15-20 kWh/kg ürün	[85]
Sodyum Asetatın Dönüşümü	Pilot Ölçek	5 Kompartımanlı BM Alan 0,008 m <sup>2</sup> Ürün 0,5M Asetat	1,3-2,0 kWh/kg ürün	[82],[86]
Toluensülfonik Asitin Rejenerasyonu	Lab. Ölçek	2 Kompartımanlı	1,2kWh/kg Asit	[87]
Formik Asitin Rejenerasyonu	Lab. Ölçek	3 Kompartımanlı Akım Yoğ. 500 A/m <sup>2</sup> Asit Kons. 7M	2,6kWh/kg Asit	[88]
Sülfirik Asitin Geri Kazanımı	Lab. Ölçek	6 Kompartımanlı 3 Kompartımanlı	3,3kWh/kg Asit 2,4kWh/kg Asit	[89]
Magnezyum ve Protein Geri Kazanımı	Lab. Ölçek	Bipolar Membran Elektrodiyaliz	1,7kWh/kg Mg+2 0,6kWh/kg protein	[90].

Arıtım ve geri kazanımın yanı sıra direkt olarak asit ve baz üretiminde de elektrodiyaliz yönteminin kullanıldığı bilinmektedir[91]. Yapılan bir çalışmada elektrodiyaliz prosesiyle ilgili üretim ve enerji tüketimi belirlenmiştir. Buna göre değerler 2285 kWh / ton asit, 3100 kWh / ton kostik ve 3500kWh / ton baz olarak elde edilmiştir. (Schoeman ve Steyn, 2000) 4 Nisan 2009 tarihli TEDAŞ tarifesine göre elektriğin Kwh fiyatı 0.13878 TL olarak dikkate alındığında bu veriler 317 TL/ton asit, 430 TL / ton kostik ve 486 TL/ton baz olarak elde edildiği görülmektedir. Bu değerlerinde oldukça düşük olduğu açıkça ortadadır.

### 3.5 Elektrodiyaliz Prosesinde Enerji Gereksinimi

Bir elektrodiyaliz işleminde gereken enerji iki terimden oluşur;

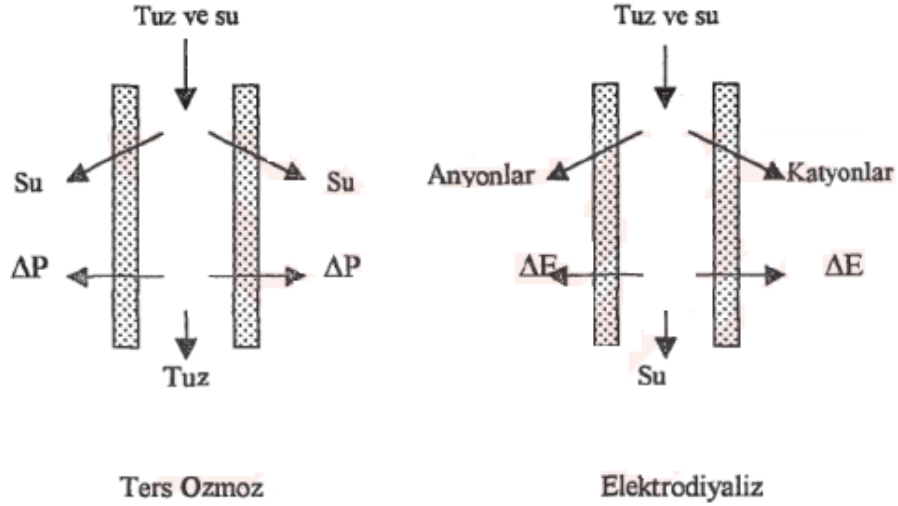
- Bir çözeltilerden iyonik bileşenleri aktarmak için gerekli enerji,
- Elektrodializ ünitesi boyunca çözeltileri pompalamak için gerekli enerji,

Çeşitli işlem parametrelerine bağlı olarak, özellikle besleme derişimi, toplam enerji maliyetinin belirlenmesinde bu iki terimden biri daha etkin olur. Yüksek besleme çözeltileri derişimlerinde iyon aktarımı için gerekli enerji daha önemli iken çok düşük besleme çözeltileri derişimlerinde yığın boyunca çözeltilerin pompalanması için gerekli enerji daha önemli olabilir [38]

### **3.5.1 Elektrodializ ve Diğer Ayırma Süreçlerindeki Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması**

Elektrodializ sahip olduğu bazı üstünlükleri nedeniyle çoğu uygulamada ters ozmoz, iyon değişimi ve diyaliz gibi diğer ayırma süreçleri ile rekabet halindedir. Bu üstünlükleri, yüklü bileşenler için yüksek seçicilik sağlaması, yüksek ürün geri kazanma oranına sahip olması, besleme suyu bileşenlerini en az değişikliğe uğratması, besleme suyu için belirgin bir ön işlem veya kimyasal madde gerektirmemesi ve düşük enerji ve yatırım maliyeti ile sürekli bir ön işlem veya kimyasal madde gerektirmemesi ve düşük enerji ve yatırım maliyeti ile sürekli işlem yapabilmesidir(Scott, 1994). Tüm ayırma süreçleri için teorik olarak gerekli minimum enerji hemen hemen aynı iken, tersinmez enerji dağıtımında belirgin farklılıklar vardır. Bir tuz çözeltilerinin tuzunun giderilmesinde elektrodialize ek olarak ters ozmoz, iyon değişimi ve damıtma kullanılabilir. Bu süreçler için teorik olarak gereken minimum enerji aynıdır fakat tersinmez enerji dağıtımı Şekil 3.18’de elektrodializ ve ters ozmoz için şematik olarak gösterildiği gibi her süreç için farklıdır[38].





Şekil 3.18 Ters ozmoz ve elektrodiyalizin işlem prensibini açıklayan şematik görünümü Enerji tüketimi açısından diğer süreçler ile karşılaştırıldığında elektrodiyalizde enerjinin pahalı bir biçimi olan elektrik kullanılırken, damıtmada daha ucuz olan ısı enerjisi kullanılır. İyon değişiminde doğrudan enerji gereksinimi çok azdır, fakat reçinelerin rejenerasyonu için kullanılan kimyasal maddeler önemli bir maliyet getirir. Ayrıca toplam maliyete göre bu süreçler karşılaştırıldığında çok düşük tuz derişimlerinde en ekonomik sürecin iyon değişimi olduğu görülmektedir. 500 mg/L civarında ise elektrodiyaliz dahası ekonomik görünürken artan tuz konsantrasyonunda bu özelliğini yitirdiği de ortadadır.

### 3.6 Elektrodiyaliz Prosesiyle Literatürde Yapılmış Atıksu Arıtım Çalışmaları

Tüm bu değerlendirmeler yanı sıra atıksu arıtımında yapılmış bazı örnek çalışmalara ait elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

Literatürde yapılan bir çalışmada deri atıksu üzerinde bir geri kazanım yapılmaya çalışılmıştır. Fotoelektrokimyasal proseslerle kombine bir şekilde elektrodiyaliz uygulanan bu çalışmada KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TKM, amonyak azotu, klorür, fosfor, krom, kalsiyum, magnezyum ve sodyum bileşikleri için elde edilen giderim verimleri sırasıyla yüzde olarak 87.3, 95.8, 98.8, 99.9, 99.8, 93.0, 98.9, 99.8, 99.9, 99.1 olarak bulunmuştur [92].

Sızıntı suyu üzerinde yapılan bir çalışmada ise elektrodiyaliz prosesiyle arıtım sonrasında elde edilen giderim verimleri KOİ, amonyak azotu, arsenik, klorür ve iletkenlik için sırasıyla yüzde olarak 77.4, 97.6, 84.4, 98.4, 97.5 seviyelerindedir. Yapılan

ekonomik analiz neticesinde işletme maliyeti de 0.38\$/m<sup>3</sup> atıksu olarak belirlenmiştir[93].

Sızıntı suyu arıtımı için elektrodializ prosesi kullanılan bir başka çalışmada ise çöktürme prosesi sonrasında ED prosesi uygulanmıştır. ED prosesiyle KOİ, Alkalinite, NH<sub>3</sub>-N, klorür ve magnezyum giderim değerleri yüzde olarak sırasıyla 48.6, 74.0, 87.5, 93.3 ve 93.1 seviyelerindedir. Bu yüksek giderim verimi sonralarında uygulanan kombine bir proses sonrasında ise rahatlıkla deşarj edilebilecek sınır değerlere kirletici konsantrasyonları indirgenebilmiştir [94].

Bir başka çalışmada ise kağıt endüstrisi atıksuyu kullanılmıştır. MF ile birlikte kombine olarak çalıştırılan elektrodializ prosesi ile ÇOM (Çözünmüş Organik Madde), KOİ ve BOİ değerleri ölçülemeyecek mertebeye indirgenebilmiştir[95].

Yapılan bir diğer çalışmada da pilot ölçekli bir tesis kurulmuştur. Bu tesiste yağ-gres, BOİ, BTEX ve toplam katı madde giderimleri sırasıyla %95.5, %84.5, %99.1 ve %88.9 seviyelerindedir[28].

Elektrodializ sürecinde kesikli ve sürekli olmak üzere iki farklı işlem türü vardır. Tüm membran esaslı süreçlerde olduğu gibi, uzun süreli kullanımda elektrodializin verimi iyon değişim membranlarının kirlenmesi, tıkanması ve bozulmasından etkilenebilir. Çoğu laboratuvar uygulamalarında kirlenmiş membran ve elektrotların yenileri ile değiştirilmesinin kolay olması bakımından kesikli işlemler tercih edilir. Endüstriyel uygulamalarda ise kesikli geri döngülü veya sürekli olarak uygulanır [23].

Ekonomik değerlendirme yeni arıtım yöntemlerinin kullanılabilirliği açısından büyük önem taşır. Elektrodializ prosesleriyle ilgili olarak bir ekonomik analizde yalnızca elektrodializ için gerekli enerji, pompalar için gerekli enerji ve membranların yıkanması için gerekli enerji dikkate alınarak yapılmıştır. Tüm bu sarfiyatlar sırasıyla 0,046\$/m<sup>3</sup>, 0,082\$/m<sup>3</sup>, 0,018\$/m<sup>3</sup> olmak üzere toplam 0,146\$/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir[96]. Bir başka çalışmada ise Amerika'da Iowa State sınırları içerisinde kurulan ilk elektrodializ ünitesi için ekonomik analiz çalışması yapılmıştır. Bu tesise ait özellikler Çizelge 3.4'de verilmektedir[97].

Çizelge 3.4 Iowa State Elektrodializ Tesisine ait Ekonomik Analiz

Maliyet	\$/1000 galon
İlk Yatırım Maliyeti	0,52
İşletme ve Bakım Maliyeti	0,59
Toplam Maliyet	1,11

Elde edilen değerler incelendiğinde elektrodializ prosesinin sanıldığı kadar aksine oldukça ekonomik olduğu açıkça görülmektedir. Her ne kadar bu tablo örnek bir çalışma gibi sergilenmiş olsa da elektrodializ ünitelerinde atıksu tipi, işletme parametreleri, tesisin büyüklüğü ve yerinin de ekonomik açıdan büyük önem arzettiği unutulmamalıdır[25].

### 3.7 Sızıntı Sularının Elektrodializ Prosesiyle Arıtılabilirliği

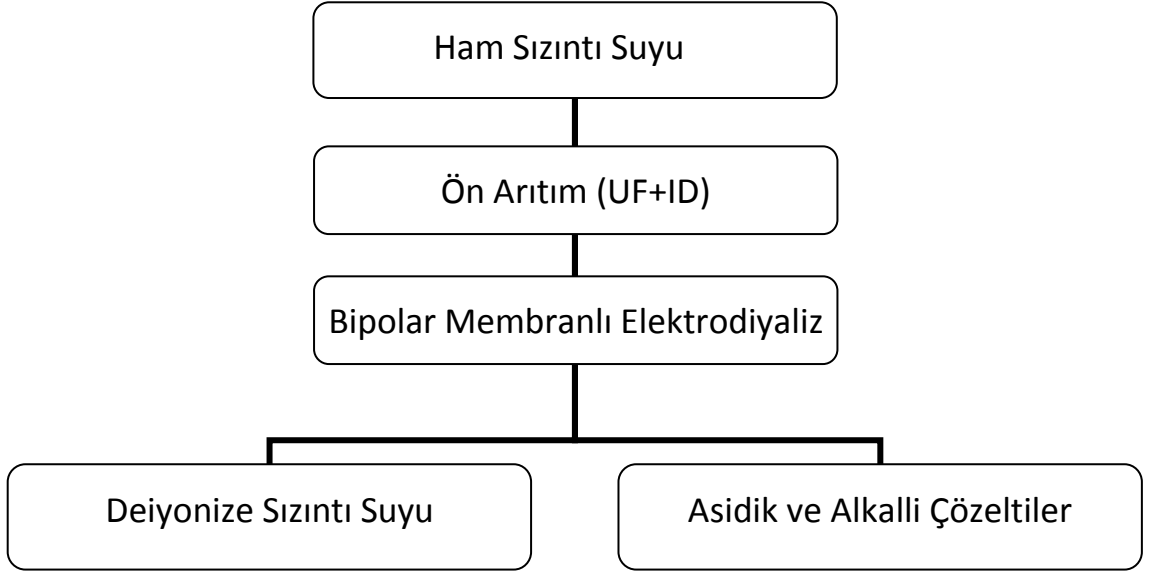
Elektrodializ prosesi yaygın bir biçimde asit-baz geri kazanımı gibi proses suları için kullanılsa da mekanizması gereği atıksu arıtımı için de oldukça uygun görülmektedir. Bu açıdan son yıllarda atıksu arıtımı açısından kullanıldığı görülmektedir. İyon taşınımı iletkenlik parametresiyle yakından ilgili olduğu için yüksek iyon içerikli suların elektrodializ prosesi için daha uygun olduğunu söyleyebiliriz. Bunun yanı sıra arıtımı zor sular içerisinde de kendisine önemli bir yer tutan sızıntı suları ile ilgili bir arıtılabilirlik çalışması yapılmıştır. Bu konuda yalnızca iki çalışma yapılmış olup, bu çalışmalarda oldukça kısıtlıdır [93],[94]. Oysa sızıntı suyu gibi kompleks bir atıksuyun elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliği, oluşturduğu atıkların değerlendirilebilirliği (geri kazanımı) ve her bir sızıntı suyu tipi için giderim performansı detaylı bir biçimde irdelenmelidir. Bu amaçla bu çalışmada sızıntı suyunun farklı yaşlardaki numuneleri elektrodializ membranlarına zarar vermeyecek ölçüde bir ön arıtıma tabii tutulduktan sonra elektrodializ prosesinde arıtılabilirliği belirlenmiş, işletme şartlarında optimizasyon yapılmıştır. Ayrıca gerek elektrodializ prosesi için çalışma şartlarındaki klasik problemler ve çözüm önerileri gerekse membranlar için en önemli olan tıkanma problemleri detaylı bir biçimde irdelenmiştir. Çıkış suyu her ne kadar kısmi olarak deiyonize olmuş olsa da inert bileşenleri içeren çıkış suyunun da limit değerlere indirgenebilmesi için nihai bir arıtım yöntemi de uygulanmıştır. Tüm bu çalışmalara ait şartlar ve sonuçlar aşağıdaki başlıklarda detaylı bir biçimde sunulmuştur.

### MATERYAL VE METOD

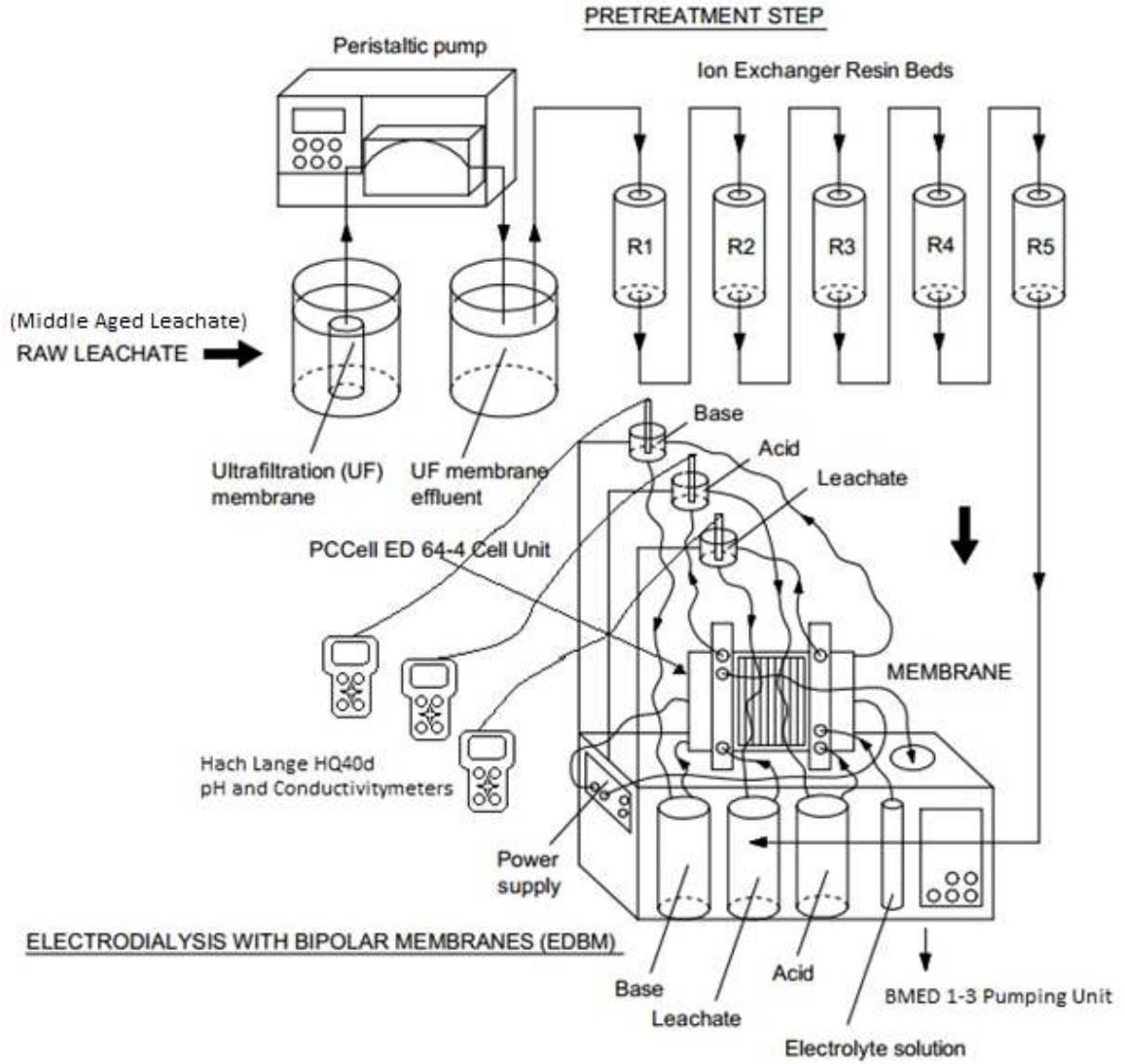
#### 4.1 Çalışmanın Genel Planı

Bu çalışma ile son yıllarda kullanımı hızla artan bipolar membranlı elektrodializ (BMED) sistemlerinin geri kazanım amaçlı kullanılabilirliğinin tespiti için farklı karakteristik özelliklere sahip sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliği ve arıtım çıktılarının kullanılabilirliği incelenmiştir.

Bu amaçla çalışmaları gerçekleştirmek için genç, orta yaşlı ve yaşlı sızıntı suları kullanılmıştır. İlk olarak sızıntı suları BMED sisteme beslenmeden önce uygun ön arıtma prosesi ile arıtımı incelenmiştir. Daha sonra ön arıtılmış sızıntı suyu laboratuvar ölçekli bir elektrodializ bipolar membran prosesine beslenerek sistem işletme parametrelerinin optimizasyonu ve işletme problemlerinin çözümü üzerine çalışılmıştır. Akabinde de çıkış suyunun limit değerlerine indirgenebilmesi için nihai bir arıtım yöntemi uygulanmıştır. Şekil 4.1'de çalışmanın deneysel açıdan genel akış diyagramı görülmektedir. Yine aynı çalışmaya ilişkin detaylı çalışma diyagramı da Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.1 Çalışmanın genel akış diyagramı



Şekil 4.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan arıtma basamakları ve ayrıntılı şematik gösterimi[98]

Şekil 4.1 ve 4.2’de de görüldüğü üzere öncelikle elektrodiyaliz prosesinin etkin çalışabilmesi için ön arıtım yapılmıştır. Akabinde bipolar membranlı elektrodiyaliz prosesi uygulanarak hem sızıntı suyunun deiyonizasyonu hem de açığa çıkan iyonik kirlenmelerin asidik ve alkali çözeltiler olarak taşınımı sağlanmıştır.

#### 4.2 Sızıntı Suyu

Yapılan çalışmada sızıntı suyu numuneleri ayda bir olmak üzere İSTAÇ A. Ş.’e bağlı Odayeri Düzenli Depolama Sahası’ndan getirilmektedir. Bu depo sahasında farklı depo hücrelerinden gelen sızıntı suları bulunmaktadır. Ana sızıntı suyu havuzunda değişimler

oluşabileceği için, sızıntı suları ayrı bir hücreden ana havuza dökülmeden önce alınmaktadır. Bu nedenle bu hücrelerden orta yaşlı sızıntı suyu karakteristik özelliği gösteren biri belirlenip, çalışma süresince tüm sızıntı suları aynı hücreden alınmıştır. Bu nedenle Odayeri depo sahası genel karakteristik özellikleri ile çalışmada kullanılan sızıntı suyunun karakteristik özellikleri aynı değildir. Çizelge 4.1’de alınan sızıntı suyu örneklerinin karakterizasyonu, ortalama değerler olarak verilmektedir.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan sızıntı suyuna ilişkin karakterizasyon değerleri

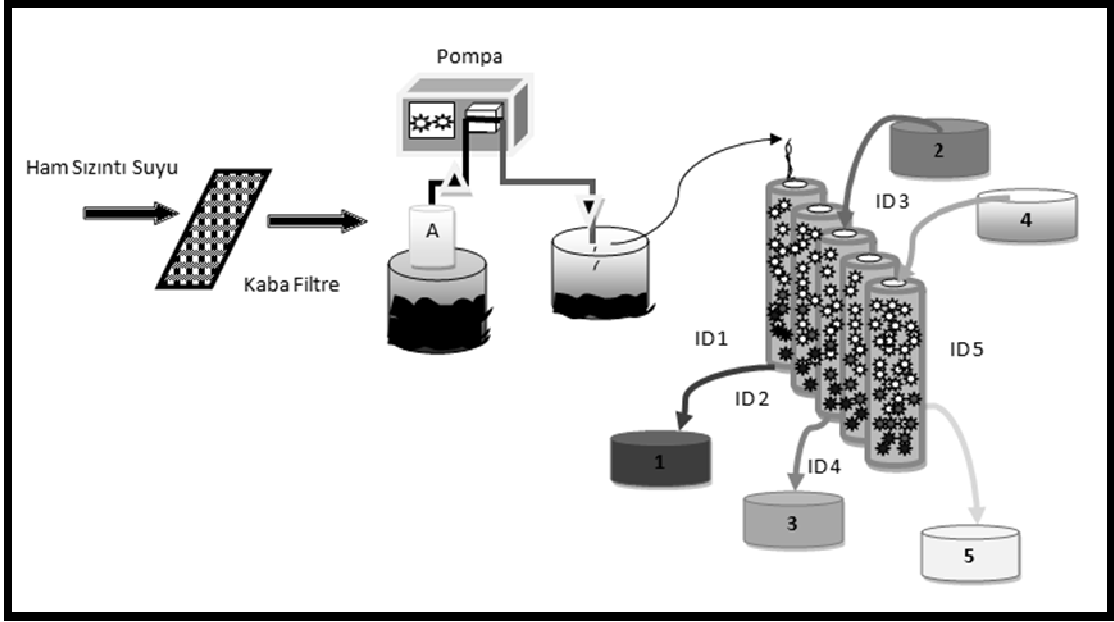
Parametre	Birim	Sızıntı Suyu		
		Genç	Orta Yaşlı	Yaşlı
KOİ	mg/L	17760±200	14400±55	3550±25
BOİ <sub>5</sub>	mg/L	5895±50	3530±15	2880±5
TOK	mg/L	12000±500	7350±750	440±40
TKN	mg/L	2580±10	3110±15	3980±20
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	2295±15	2910±15	3865±15
TP	mg/L	20±2	24±5	23±3
O-P	mg/L	9,80±1,5	4,10±2,5	4,90±1,5
AKM	mg/L	1580±55	1240±25	2040±30
pH	-	8,07	8,05	8,44
İletkenlik	mS/cm	31,10	39,80	38,70

Bu alınan numunelerde önce genel bir karakterizasyon çalışması yapılmakla birlikte her çalışma öncesi ilgili parametreler bazında ölçümler yapılmıştır. Sızıntı suyunun yaşına, o an depolanan çöpün genel özelliğine ve kullanılan örtü malzemesine de bağlı olarak değişebildiği için her numunenin eş konsantrasyon göstermesi mümkün olamamaktadır. Buna rağmen yapılan analizler sonucunda bu değerler belli değerler arasında salınım göstermektedir.

### 4.3 Ön Arıtım Çalışmaları

Ön arıtma çalışmalarında elektrodiyaliz prosesi için uygulandığı göz önüne alınarak bu proses için uygun bir ön arıtım tekniği olan ultra filtrasyon ve iyondeğiştirici prosesleri kullanılmıştır.

Sızıntı suyu içeriğinde membranların kısa sürede tıkanmasına neden olan kirleticilerin (kaba partiküller) giderimi için ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon prosesleri ön arıtma yöntemi olarak değerlendirilmiştir. Ultrafiltrasyon prosesinde seramik yapıda bir membran kullanılmıştır. Mikrofiltrasyon prosesi ise kartuş filtrelerin kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3’de bu sisteme ait örnek bir çalışma diyagramı şematize edilmiştir.



Şekil 4.3 Ham sızıntı suyuna uygulanan ön arıtma prosesi, HSS+KF+UF+ID+ID+ID+ID+ID (A: ultrafiltrasyon membranı, ID: iyon değıştirici)[98]

Ayrıca membranlar üzerinde kirletici etkisi bulunan sertlik oluşturuıcı bileşenlerin giderimi içinde UF ve MF prosesleri ardından sodyum yüklü zeolitlerden meydana gelen katyon değıştirici reçineler uygulanmıştır. Sertlik giderimini arttırmak için tekli, ikili, üçlü, dörtlü ve beşli iyon değıştirme (ID) alternatifleri değeriendirilmiştir. Her iki proses verimi karşılaştırılarak optimum ön arıtma prosesi belirlenmiştir.

#### 4.4 Bipolar Membranlı Elektrodializ Prosesi

Deneysel çalışmalarda 165 mm genişliğinde, 190 mm yüksekliğinde ve 3 kg ağırlığında PCCell GmbH ED 64-4 kodlu Alman firması tarafından yapılmış bir BMED reaktörü kesikli olarak çalıştırılmıştır.

BMED hücresi aktif membran alanı  $64 \text{ cm}^2$  ve maksimum 25 hücre çifti alabilmektedir. BMED hücresinde 3 çeşit iyon seçici membran ve anolit, katolit ve besleme akımı geçişlerini sağlayan 4 çeşit spacer kullanılmıştır. Bunlar anyon, katyon seçici ve bipolar membran yapıları ile asit, baz, tuz (atıksu) ve end spacer olarak isimlendirilen yapılarıdır. Kullanılan membranların boyutları  $110 \times 110 \text{ mm}$  ve kalınlıkları  $0,5 \text{ mm}$ 'dir. Asit, baz ve besleme=diluat tanklarından BMED hücresine sıvı basan pompalar  $0,5 \text{ bar}$



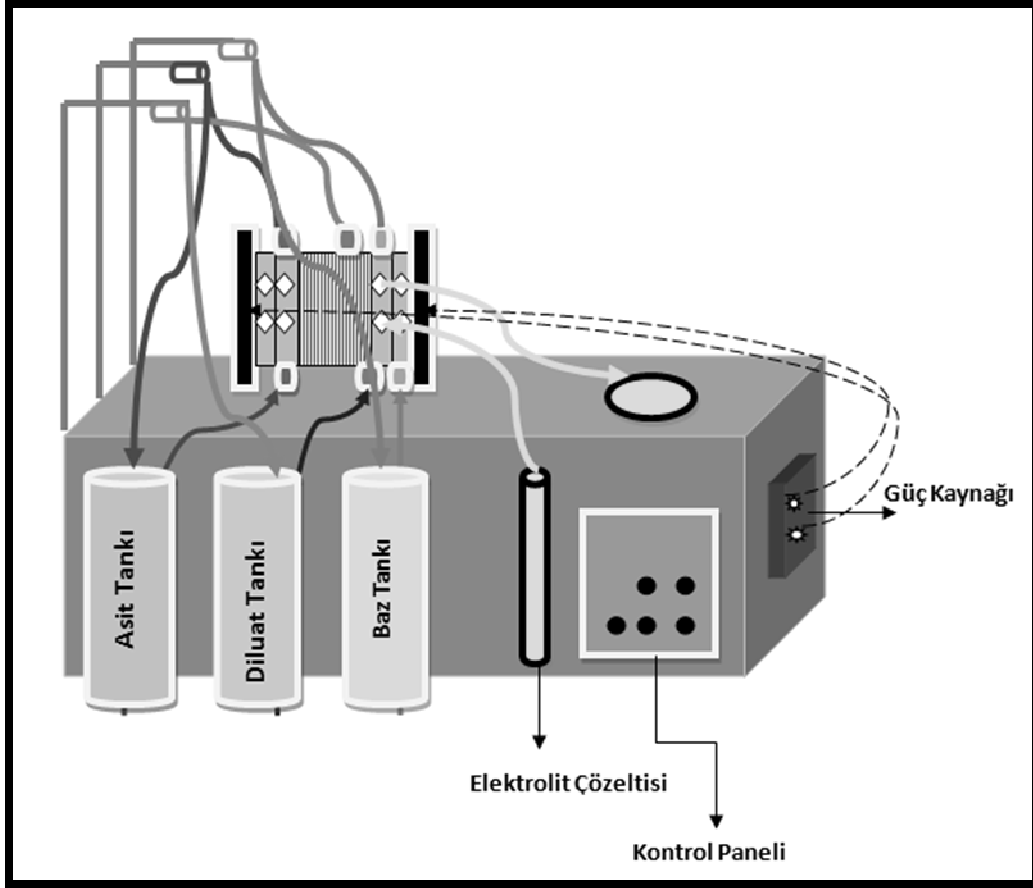
basınçla çalışmaktadır. Çalışmada kullanılan elektrodiyaliz prosesine ilişkin şematik görünüm ve gerçek resmi Şekil 4.4 ve 4.5’de sırasıyla gösterilmektedir.

BMED reaktörün şematik gösteriminde kırmızı renkli bağlantılar asit tankından giriş ve çıkışları, lacivert renkli bağlantılar besleme ve mavi renkli bağlantılar diluat akımlarını, turuncu renkli bağlantılar ise baz tankından giriş ve çıkışları göstermektedir.

BMED hücresi fonksiyonel parçaları ve dizilim hali Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Hücre içerisinde katot elektrotu olarak titanyum metali, anot elektrotu olarak platin/ iridyum ile kaplanmış titanyum metalleri kullanılmıştır.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi iyon seçici membranlar renk olarak birbirlerinden farklıdır. En koyu renge sahip katyon seçici membran iken, en açık renge anyon seçici membrandır. Ayrıca bipolar membran yapısı çift katmanlıdır. Bir katman şeffaf, bir katman kavrengi yapıdadır. Membranların dört bir kenarında hücreye sabitlenebilmesi için vidalardan geçirilen delikler bulunmaktadır[33].

Şekil 4.8’de membran yapısında, noktalı olarak çevrelenmiş orta alan efektif membran alanını vermektedir. Bu alan  $64 \text{ cm}^2$ ’dir. Şekil 4.9’da BMED sistem içinde kullanılan spacer resimleri verilmiştir. Aslında 2 çeşit spacer vardır. Birincisi başta ve sonda kullanılan şekilde de “2” ile numaralandırılmış “end” spacer, ikincisi ise şekilde “1” olarak numaralandırılmış her deliğinden sıvı geçişi olmayan ve farklı yönlerde kullanılarak “asit”, “baz” ve “tuz” olarak adlandırılan spacerlardır.

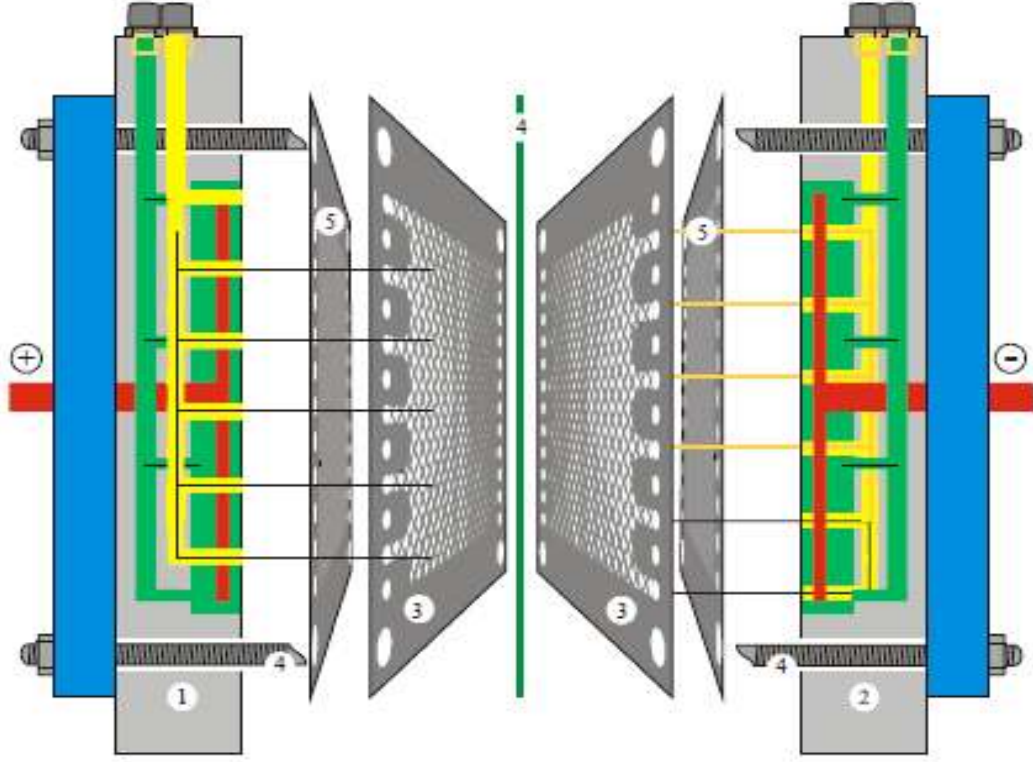


Şekil 4.4 Elektrodiyaliz bipolar membran reaktörün şematik gösterimi

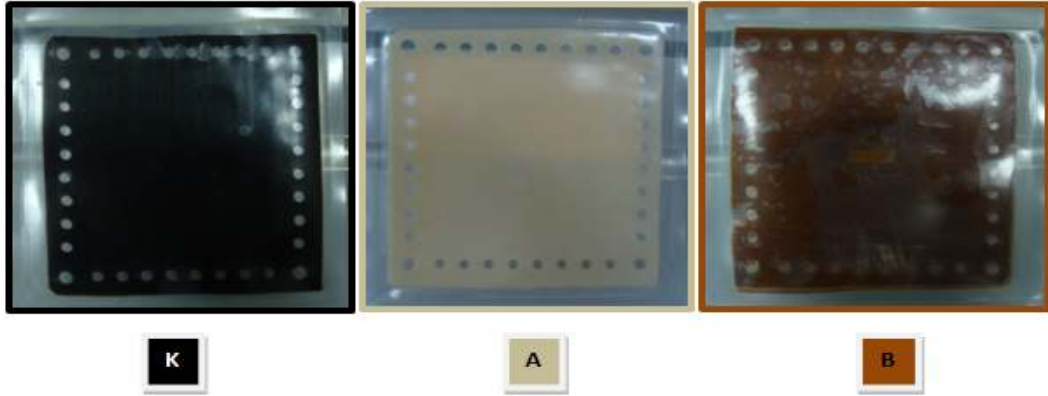


Şekil 4.5 Elektrodiyaliz bipolar membran reaktör

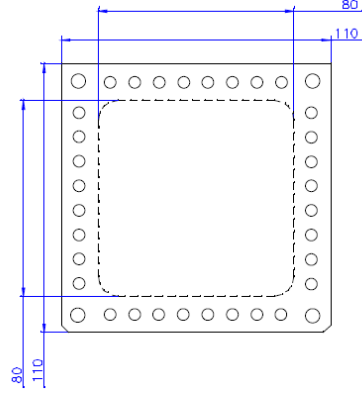
Şekil 4.5’da görülen elektrodiyalizör ünitesinin iç görünümü Şekil 4.6’da daha detaylı olarak verilmiştir.



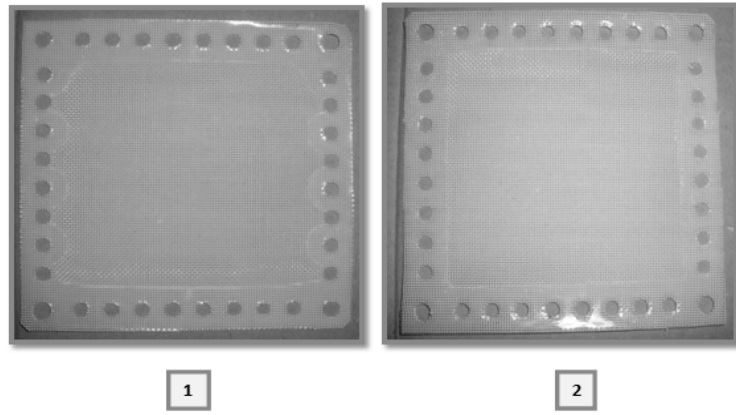
Şekil 4.6 BMED sistem fonksiyonel parçaları 1, 2: elektrotlar, 3, 5: spacer ve membran yapıları, 4: ayar vidası



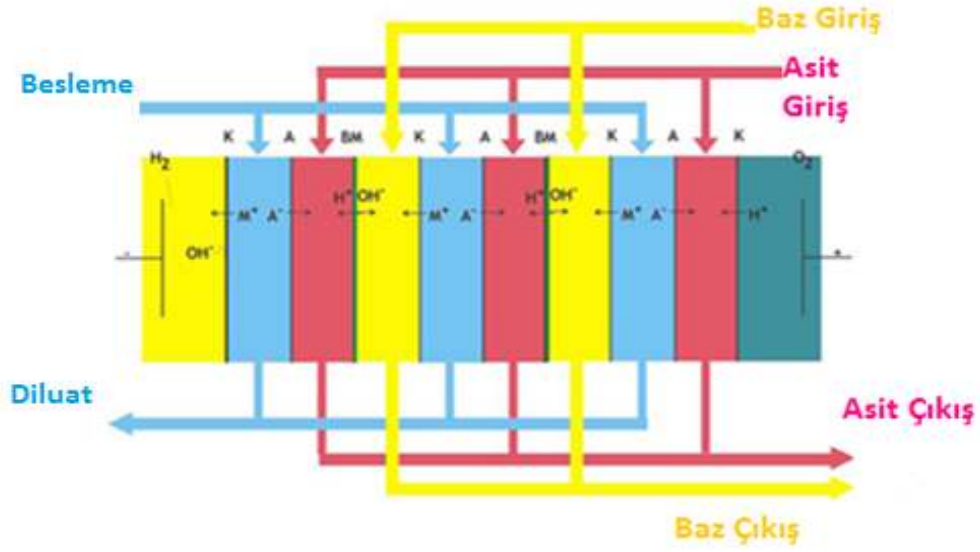
Şekil 4.7 İyon seçici membranların resimleri K; katyon seçici, A; anyon seçici, B; bipolar membran



Şekil 4.8 BMED hücresinde kullanılan membranların büyüklükleri (mm)

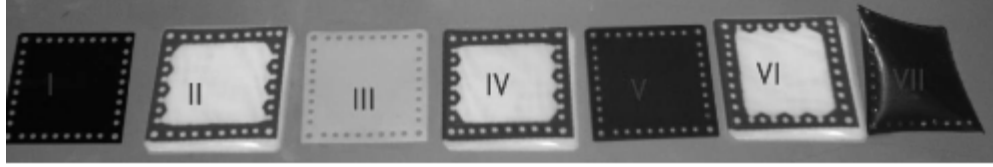


Şekil 4.9 Spacer resimleri: (1 nolu spacer farklı yönlerde yerleştirilerek asit, baz ve tuz (atıksu) spacer olarak kullanılırken, 2 nolu spacer ED hücresi başında ve sonunda end spacer olarak kullanılır.)



Şekil 4.10 BMED proses asit, baz, atıksu giriş ve çıkış akımları ile membran ve spacer dizilişleri

BMED proste iyon transferlerini sağlamak ve başlangıç iletkenliği yükseltmek üzere kullanılan çözeltiler Çizelge 4.2’de listelenmiştir. Proses süresince kullanılan iyon seçici membran yapılarına ait özellikler de Çizelge 4.3’te sıralanmıştır. Bu 3 farklı membran yapısı elektrodializ hücresi içine belirli bir sıra ile yerleştirilir. Bu sıralamaya bağlı olarak asit baz ve atıksu giriş ve çıkış akımları Şekil 4.10’da belirtildiği gibidir. Asit, baz ve besleme (atıksu) giriş bölümlerinde membranlar arasında akımların farklı noktalardan giriş ve çıkışlarını sağlayan sırasıyla asit, baz ve tuz spacerlar yerleştirilmektedir. Spacerlar sayesinde tuz olarak adlandırılan ön arıtılmış orta yaşlı sızıntı suyu; anyon ve katyon seçici membranlar arasından geçerken, asit solüsyonu; anyon seçici membran ile bipolar membran ve baz solüsyonu; katyon seçici membran ile bipolar membran arasından geçmektedir. Bu geçişler sırasında bipolar membran sudaki hidrojen ve hidroksil iyonlarının ayrılmasını sağlarken, anyon ve katyon seçici membranlar da orta yaşlı sızıntı suyunda bulunan anyonik ve katyonik türlerin birbirinden ayrılmasını sağlamaktadırlar. Böylece hidrojen iyonları anyonik türler ile, hidroksil iyonları katyonik türler ile birleşerek sırasıyla asit ve baz üretimi sağlamaktadırlar.



Şekil 4.11 BMED hücresi membran ve spacer sıralanışı  
 BMED hücresinde sıra ile diziliş şu şekildedir; I: KSM, II: tuz (atıksu) spacer, III: ASM, IV: asit spacer, V: BM, VI: baz spacer, VII: KSM ve ardından VIII: end spacerdir.

Çizelge 4.2 BMED prosesinde kullanılan çözeltiler

Çözelti	İçerik
Anolit	0,01 M HCl
Katolit	0,01 M NaOH
Elektrolit	0,01 M HCl

Çizelge 4.3 BMED sisteminde kullanılan iyon seçici membranların özellikleri

Özellikler	Anyon seçici membran	Katyon seçici membran
Transfer Numarası	>0,95	>0,95
Direnç ( $\Omega\text{cm}^2$ )	~1,8	~2,5
Su içeriği (wt%)	~14	~9
İyon seçicilik kapasitesi	n/a	n/a
Maksimum işletme sıcaklığı °C	60	50
Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )	180-220	160-200

#### 4.5 Analizler

Çalışma süresince tüm analizler Standart Metodlara Göre yapılmıştır[99]. Her bir parametrenin hangi metoda göre yapıldığı Çizelge 4.4'de özetlenmiştir. Her bir analiz için kullanılan kimyasal malzemelerde Merck kalitesinde kimyasallarla sağlanmıştır.

Çizelge 4.4 Çalışma süresince yapılan analizler ve kullanılan yöntemler

Analiz Tipi	Metod	Metod Numarası
<b>Organik Maddeler</b>		
KOİ	Açık Reflux	SM 5220.B
KOİ	Kapalı Reflux Kolorimetrik	SM 5220.D
BOİ <sub>5</sub>	5 Günlük BOİ Testi	SM 5210.B
TOK	Yüksek Sıcaklıkta Yakma	SM 5310.B

Çizelge 4.4 Çalışma süresince yapılan analizler ve kullanılan yöntemler(Devamı)

Analiz Tipi	Metod	Metod Numarası
<b>Azotlu Bileşikler</b>		
TKN	Kjeldahl Metodu	SM 4500.Organic.B
NH <sub>3</sub> -N	Distilasyon – Titrasyon	SM 4500.Ammonia B-C
NO <sub>3</sub> -N	Kadmiyum İndirgeme	SM 4500.Nitrate.E
<b>Fosforlu Bileşikler</b>		
TP	Numune Hazırlama – Kalay Klorür	SM 4500.Phosphorus.B-D
PO <sub>4</sub> -P	Kalay Klorür	SM 4500.Phosphorus.D
<b>Ağır Metaller</b>		
Fe	Atomik Abs. Spektrofotometresi	SM 3500.Fe.B
Zn	Atomik Abs. Spektrofotometresi	SM 3500.Zn.B
Cr	Atomik Abs. Spektrofotometresi	SM 3500.Cr.B
Cu	Atomik Abs. Spektrofotometresi	SM 3500.Cu.B
Ni	Atomik Abs. Spektrofotometresi	SM 3500.Ni.B
<b>Anyonlar</b>		
SO <sub>4</sub>	İyon Kromatografisi	SM 4110.B
Cl	Arjantometrik	SM 4500.Chloride.B
<b>Katyonlar</b>		
Na	İyon Kromatografisi	EPA Method D6919
Mg	“	EPA Method D6919
Ca	“	EPA Method D6919
K	“	EPA Method D6919
<b>Diğer Parametreler</b>		
Renk	Spektrofotometrik	SM 2120.C
Bulanıklık	Nefelometrik	SM 2130.B
<b>Sürekli İzlenecek Parametreler</b>		
pH	Elektrometrik	4500.H+.B
İletkenlik	Laboratuvar Yöntemi	SM 2510.B
Alkalinite	Titrasyon	SM 2320.B

#### 4.6 Ekipmanlar

Çalışma boyunca yapılan pH analizleri Thermo marka Orion 4 Star model pH metre ile yine Orion marka bir prob vasıtasıyla ölçülmüştür. Elektrodializ prosesinde online pHölçümleri ise Hach Lange marka, HQ40D model bir multimetre ile ölçülmüştür.

Sürekli ölçümlerde dakikada bir ölçüm yapılarak cihaz hafızasına kaydedilmiştir. Proses sonrasında ise değerler excele aktarılmıştır. Bu çalışma da pH yanı sıra sıcaklık ve iletkenlik ölçümleri de benzer şekilde yine aynı cihaz vasıtasıyla tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümlere ilişkin bipolar membranlı elektrodializ prosesinin görünümü Şekil 'de verilmektedir.

#### **4.7 Deneysel Kurgu, istatistiksel analiz ve modelleme çalışmaları**

Çalışmanın her bir aşamasında işletme şartları ve aralıkları belirlendikten sonra yapılacak deneysel çalışma setlerinin tayini MiniTAB isimli bir program vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için ise STATGRAPHICS isimli bir program kullanılmış ve modelleme çalışmaları yapılmıştır.



### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 5.1 Ön Arıtım Çalışmaları

Ön arıtım prosesleri için öncelikle tıkanma problemine neden olan kirletici türlerinin giderildiği yöntemler esas alınmıştır. Genel kirletici olarak görülen partiküler kirleticiler ve iyonik kirleticiler olan sertlik bileşenlerinin sudan giderimi ile tıkanma probleminin büyük ölçüde sonuçlandırılacağı düşünülmektedir. Bu amaçla kaba partiküller için mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon yöntemlerinden birinin uygulanabileceği kararlaştırılmıştır. Akabinde de uygulanacak bir iyon değiştirici ile de sertlik giderimi amaçlanmıştır. Sertlik giderim veriminin artırılması içinde tekli, seri olarak 2'li ve 3'lü iyon değiştirme alternatifleri düşünülmüştür. Bu şekilde gerek sertlik bileşenleri giderilebilecek ve gerekse katyonlardaki çeşitlilik tek bir katyon türüne dönüşecek ve oluşan alkali akımın daha saf olması sağlanabilecektir.

#### 5.2 Filtrasyon+ İyon Değiştirme Prosesi

Elektrodiyaliz prosesi için pozitif faydalar göz önüne alınarak aşağıda verilen çalışma setlerinin uygulanmasına ve elde edilen iyonik içeriğe bağlı olarak uygun arıtma yöntemi seçimine ilişkin bir karara varılmıştır. Çizelge 5.1'de yapılacak ön arıtma çalışmalarına ilişkin çalışma seti oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1 Ön Arıtıma İlişkin Çalışma Seti (Membran + İyon Değişirme)

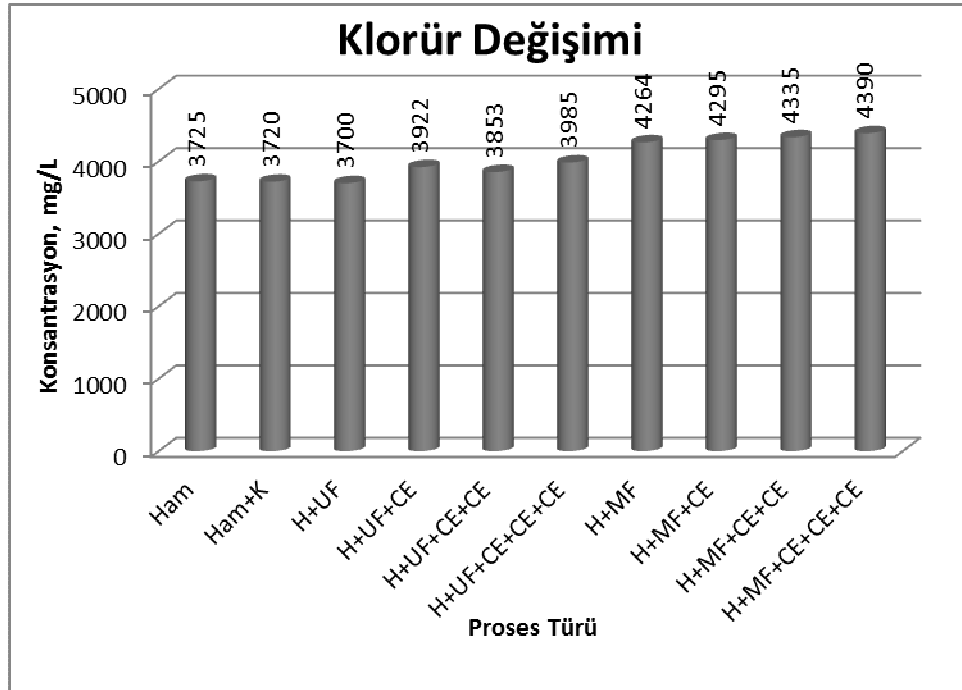
Çalışma No	Birimi
1. Çalışma	Ham Su
2. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre
3. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Mikrofiltrasyon
4. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Mikrofiltrasyon + 1. İyon Değişirme
5. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Mikrofiltrasyon + 1. İyon Değişirme + 2. İyon Değişirme
6. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Mikrofiltrasyon + 1. İyon Değişirme + 2. İyon Değişirme + 3. İyon Değişirme
7. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Ultrafiltrasyon
8. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Ultrafiltrasyon + 1. İyon Değişirme
9. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Ultrafiltrasyon + 1. İyon Değişirme + 2. İyon Değişirme
10. Çalışma	Ham Su + Kaba Filtre + Ultrafiltrasyon + 1. İyon Değişirme + 2. İyon Değişirme + 3. İyon Değişirme

Yapılan bu çalışmalarda arıtım performansı KOİ gibi kirletici parametreler yerine iyonik türler üzerinde belirlenmiştir. Sırasıyla Anyon ve Katyon türleri için elde edilen değişimler aşağıda başlıklar halinde verilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli unsur şüphesiz iyonik türlerin aslında elektrodiyaliz için gerekiyor olduğudur. Bu nedenle yalnız sorun teşkil eden iyonik türlerin giderimi amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan ölçümler DIONEX marka ICS 3000 model İyon Kromatografı kullanılarak yapılmıştır. Tüm anyon ve katyon analizlerinin güvenli bir biçimde kolonlara zarar vermeyecek şekilde sağlanabilmesi için numuneler ile 100'er kat seyreltilip analizler tamamlanmıştır. Bu amaçla özellikle düşük konsantrasyon içeren sonuçların hata payı biraz daha yüksek olabilecektir (Örneğin 1 mg/l ölçülen bir anyon grafikte 100 mg/L olarak görülecektir).

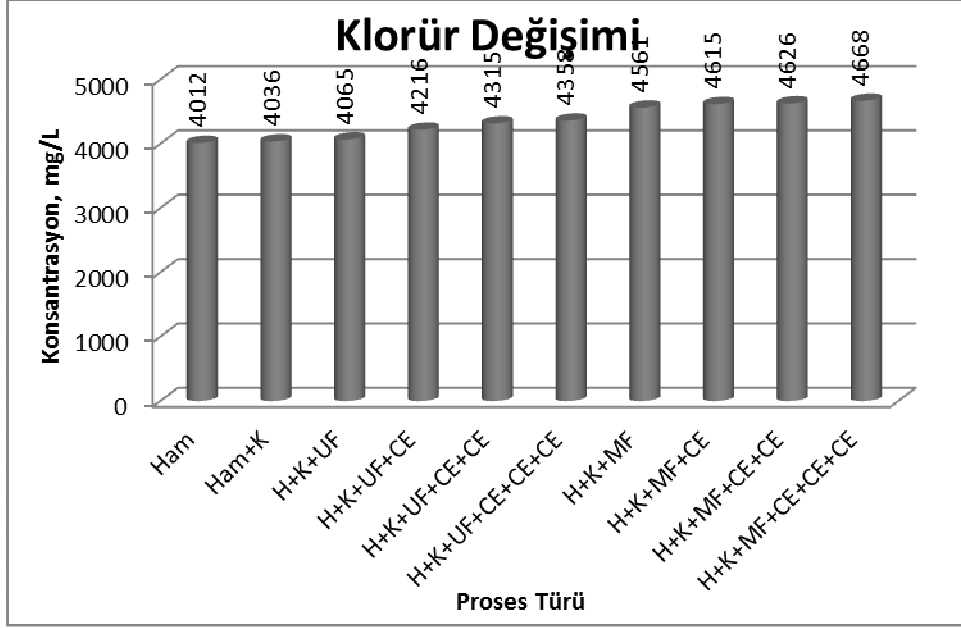
## 5.2.1 Anyon Değişimleri

### 5.2.1.1 Klorür Değişimi

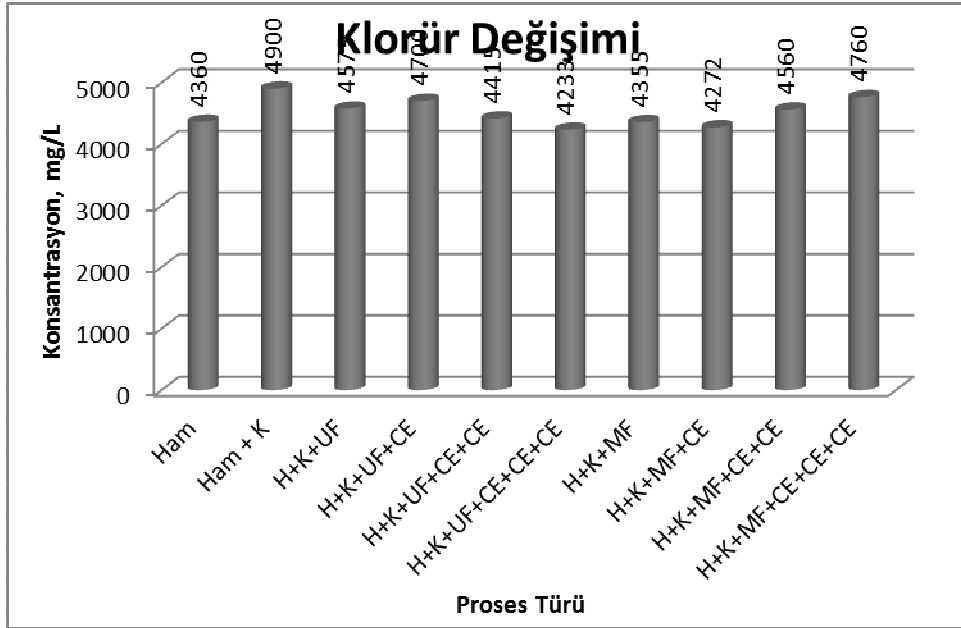
Sızıntı suları için klorür anyonlar içerisinde çok büyük bir öneme sahiptir. Çünkü tüm anyonlar içerisinde klorürün oranı %98 seviyelerine yaklaşmaktadır. Buda oluşması muhtemel asidik türlerin büyük çoğunluğunun hidroklorik asit şeklinde bulunacağını belirtmektedir. Bu nedenle tüm anyonların tek bir anyon tipi şeklinde bulunuyor olması arıtım verimliliği yanı sıra oluşacak yan ürününün de kalitesiyle yakından ilgilidir. Aşağıdaki şekillerde her 3 sızıntı suyu tipi içinde elde edilen sonuçlar verilmektedir.



Şekil 5.1 Genç Sızıntı Sularında Klorür Değişimi



Şekil 5.2 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Klorür Değişimi

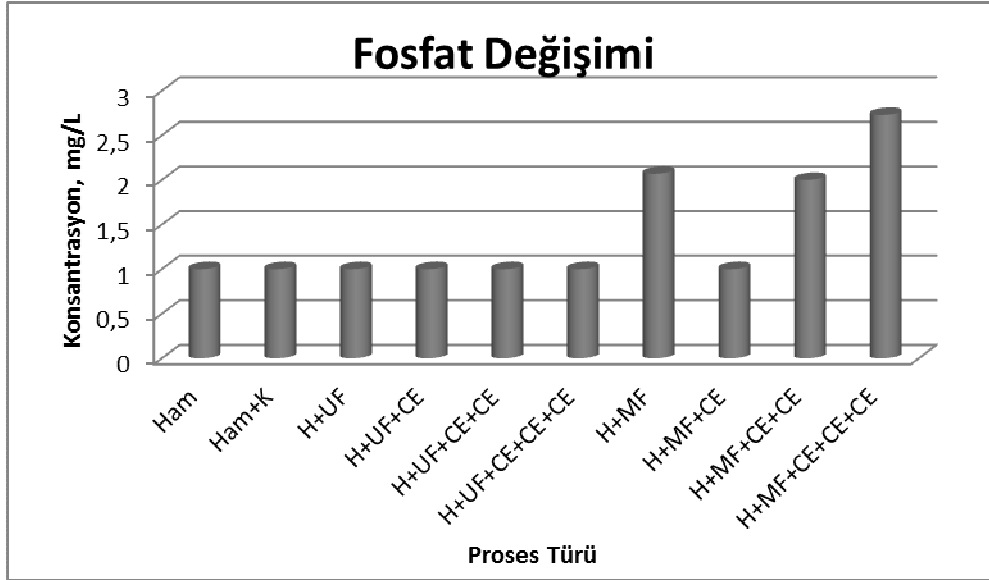


Şekil 5.3 Yaşlı Sızıntı Sularında Klorür Değişimi

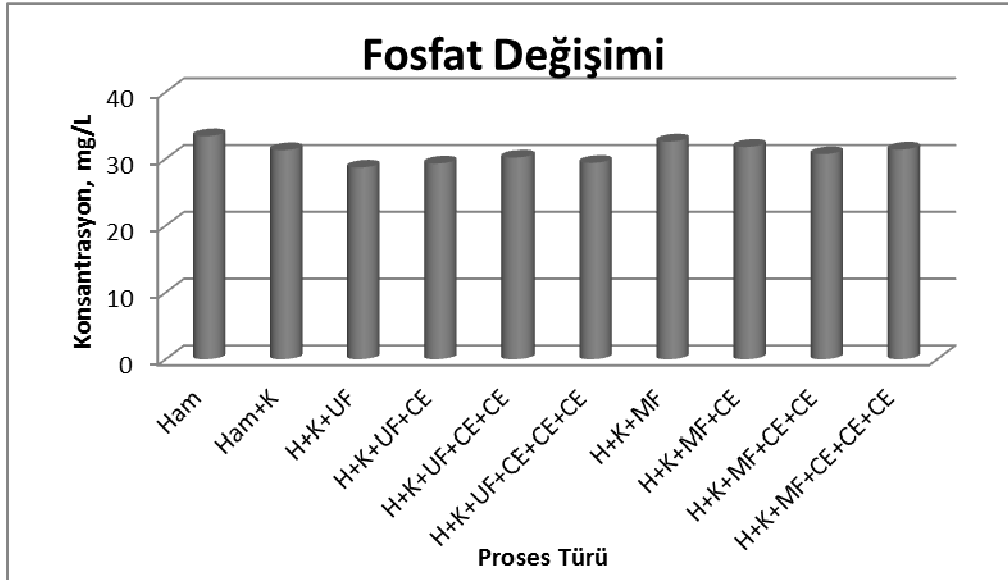
Şekilden de görüleceği üzere herhangi bir anyon değiştirme işlemi uygulanmadığı için klorürü miktarlarında beklenildiği gibi kayda değer bir değişim görülmemiştir. Anyon değiştirme işleminin yapılmamasının nedeni de yine az öncede bahsedildiği gibi tüm anyon tipleri içerisinde %98'e varan bir yoğunlukta klorürün bulunuyor olmasıdır.

### 5.2.1.2 Fosfat Değişimi

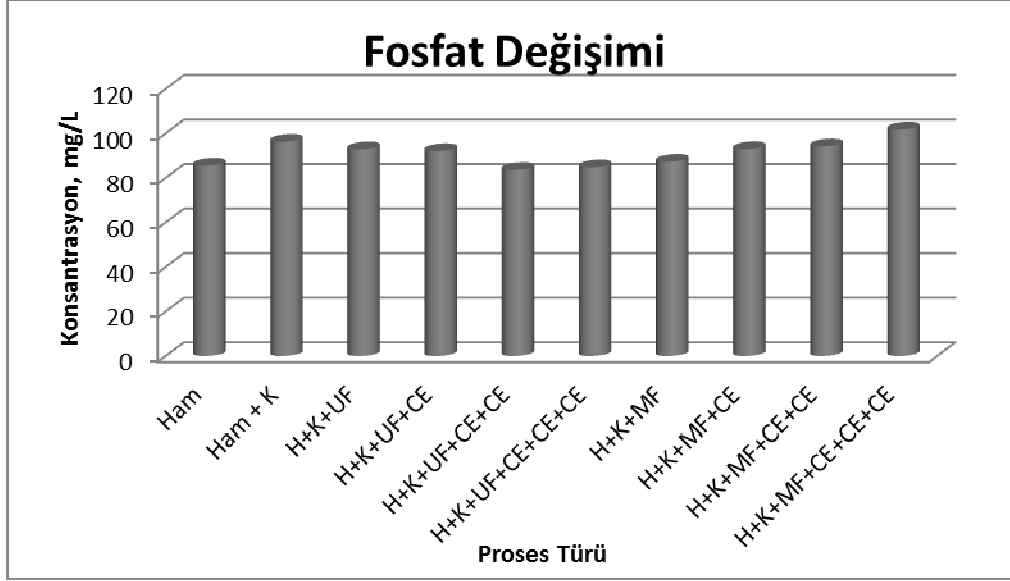
Sızıntı sularının içerdiği fosfat türü %90'ın üzerinde orto fosfat türevi şeklinde bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada fosfat bileşikleri ile bahsedilen orto fosfat türüdür. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.4 Genç Sızıntı Sularında Fosfat Değişimi



Şekil 5.5 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Fosfat Değişimi

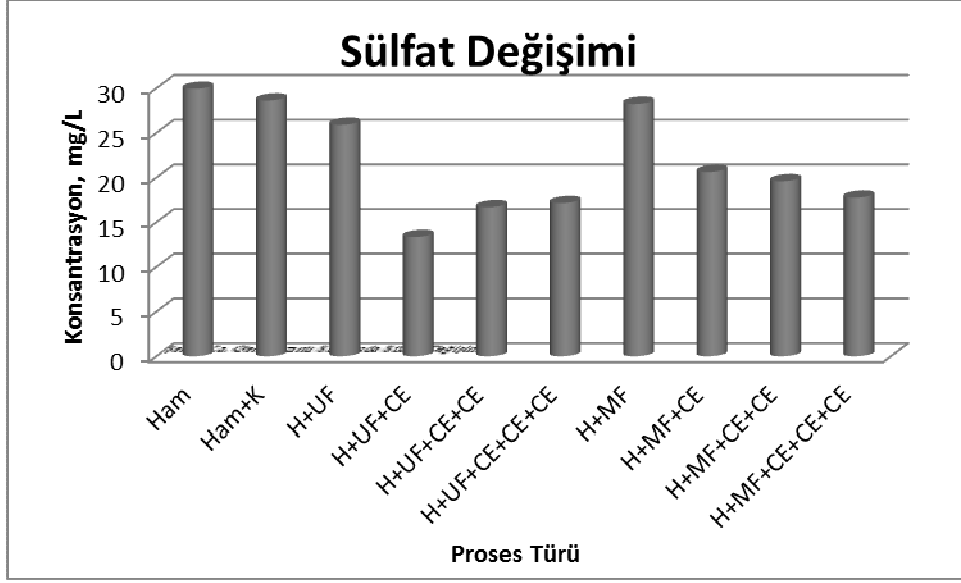


Şekil 5.6 Yaşlı Sızıntı Sularında Fosfat Değişimi

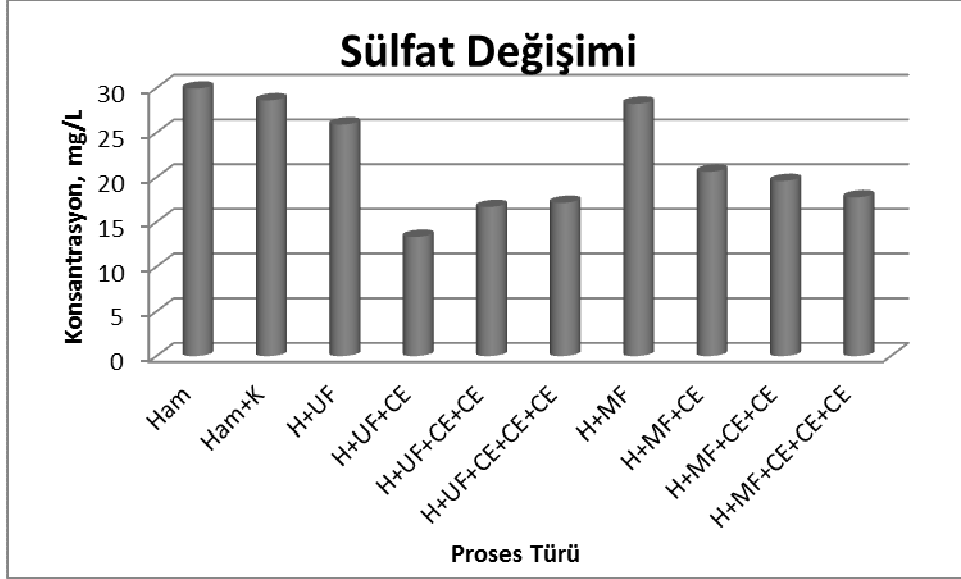
Elde edilen sonuçlara bakıldığında genç ve orta yaşlı sızıntı sularında çok düşük oranda bir fosfat bileşeni bulunmakla birlikte ön arıtım ile giderimi mümkün olmamıştır. Benzer biçimde ön arıtımla giderilemeyen yaşlı sızıntı sularında ise 80-90 mg/L seviyelerinde fosfat türevlerine rastlanmıştır. Yapılan ön arıtım yöntemlerinin fosfat türleri için etkin olmadığı görülmektedir.

### 5.2.1.3 Sülfat Değişimi

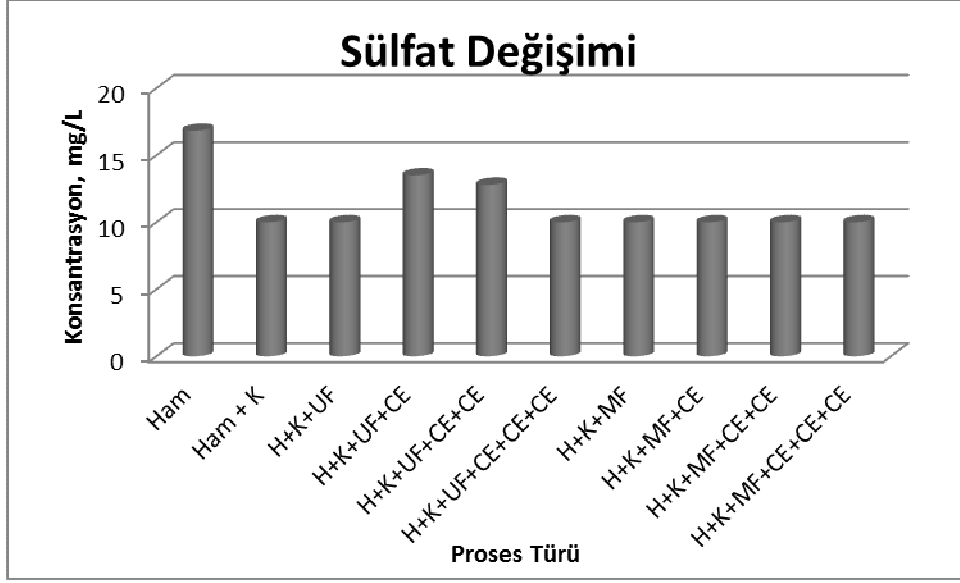
Fosfat gibi sülfat konsantrasyonu da klorür ile boy ölçüşemeyecek ve sızıntı suyu gibi kompleks türler içeren bir atıksu için oldukça düşük seviyede bir anyon türüdür. Yine de incelenen sülfat değerleri Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmektedir.



Şekil 5.7 Genç Sızıntı Sularında Sülfat Değişimi



Şekil 5.8 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Sülfat Değişimi



Şekil 5.9 Yaşlı Sızıntı Sularında Sülfat Değişimi

Elde edilen sonuçlara bakıldığında düşük oranda bulunan sülfat değerlerinde %50 seviyelerini aşabilen bir giderim verimine ulaşılabildiği ama düşük konsantrasyon nedeniyle bu tarz bir giderimin proses açısından önem arzemediği görülmüştür.

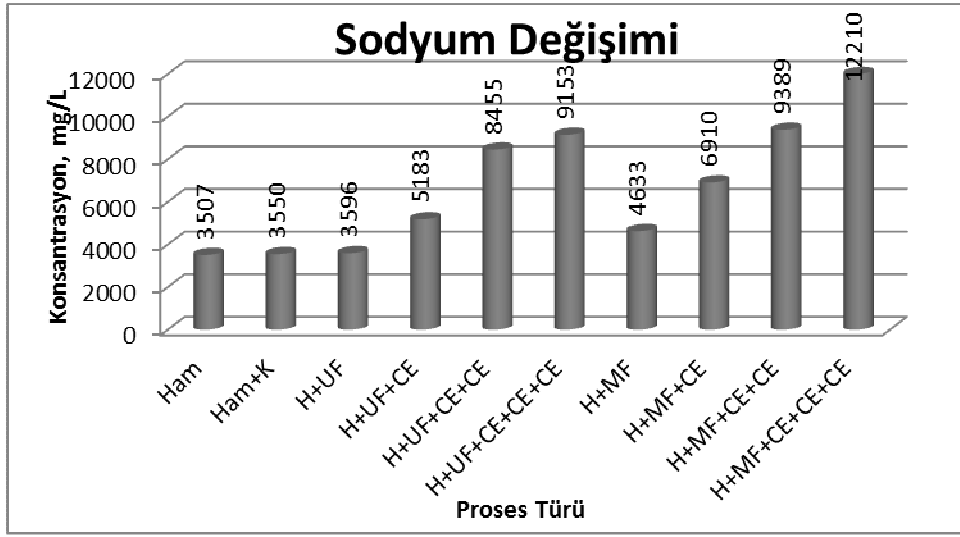
## 5.2.2 Katyon Değişimleri

Anyon değişimlerinden öte bu çalışmada önemli olan katyon değişim değerleridir. Nitekim anyonlar hem tıkanıklığa neden olmayan hem de tek bir anyon türünün yoğunlukla bulunduğu bir yapıdadırlar. Oysa katyon değerleri bu şekilde değildir. Bu amaçla hem tıkanmaya neden olan kalsiyum magnezyum gibi katyonların giderimi hem de sodyum gibi tıkanma üzerinde zararsız ve oluşması muhtemel bazı türler için önemli bir katyonun diğer kirletici katyon türlerinin yerini alması bakımından önemlidir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde şekillerle incelenmiştir.

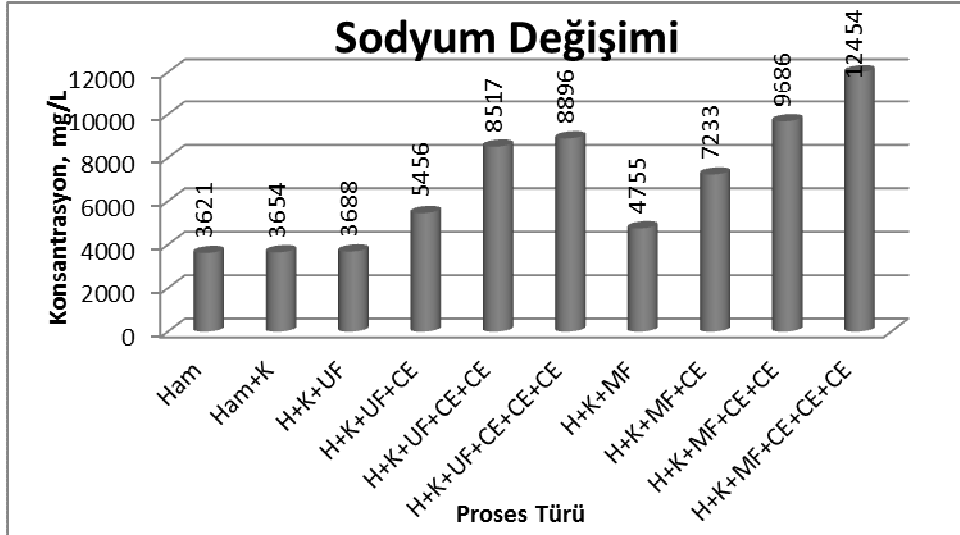
### 5.2.2.1 Sodyum Değişimi

İyon değiştirici olarak sodyum zeolit kullanılmıştır. Bu da beraberinde katyon giderimi yanı sıra sodyum yüklemesinin getirmiştir. Elektrodializ prosesi için bakıldığında tıkanmaya neden olmayan iyonların bulunması, bulunan iyonlarında tek tür olması verim ve oluşan yan ürün için safsızlık açısından önemlidir. Bu amaçla kullanılan sodyum zeolitle oluşan son durum incelenmiş ve aşağıdaki şekiller elde edilmiştir.

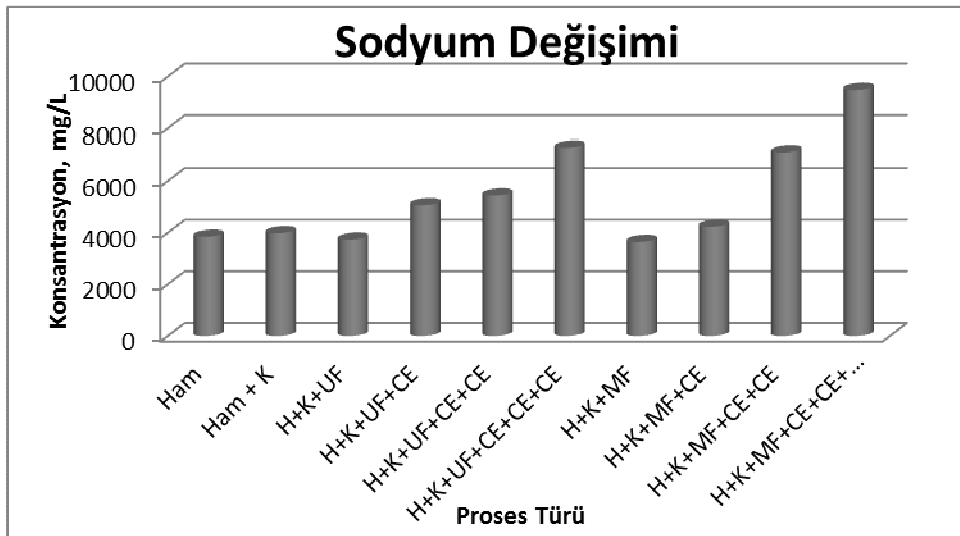




Şekil 5.10 Genç Sızıntı Sularında Sodyum Değişimi



Şekil 5.11 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Sodyum Değişimi

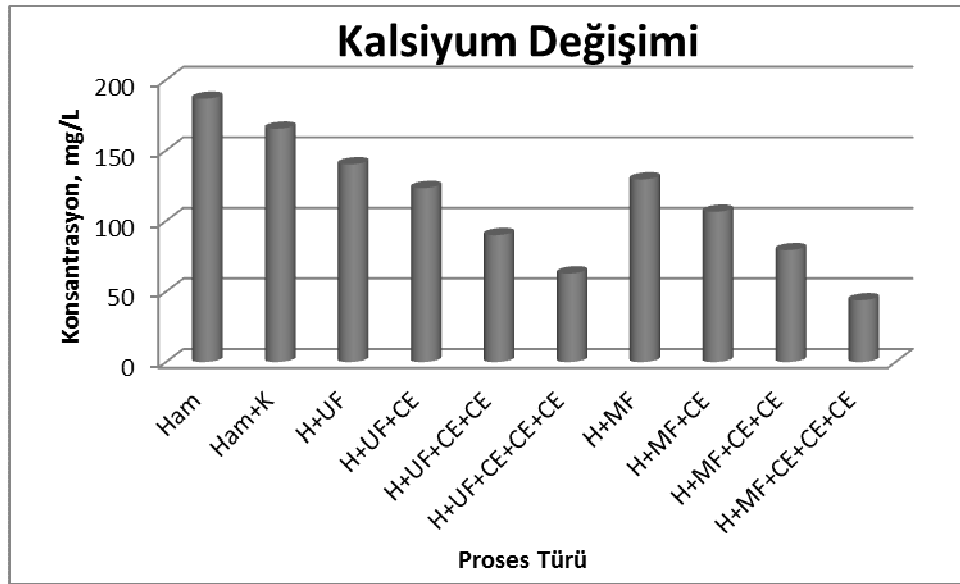


Şekil 5.12 Yaşlı Sızıntı Sularında Sodyum Değişimi

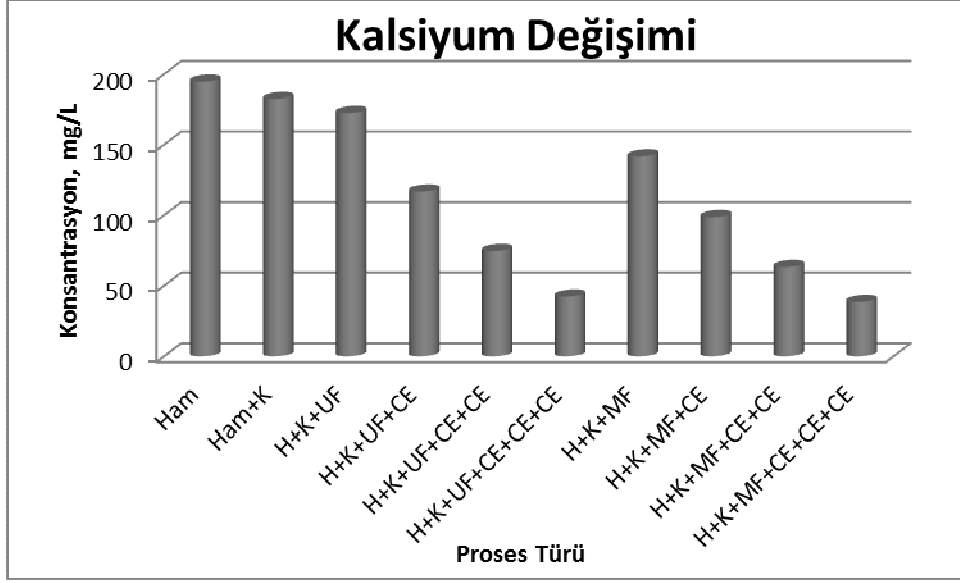
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde görüleceği üzere katyon değiştirme sonrasında sodyum değerleri artmakta ve tıpkı anyonlarda olduğu gibi hakim bir katyon türü oluşmaktadır. Katyon değişimi sonrasında seviyeleri kısmen orta düzeyde olan diğer katyonlarda düşmekte ve sonuç olarak %95 civarında bir sodyum yoğunluğu katyon türleri arasında oluşmaktadır.

### 5.2.2.2 Kalsiyum Değişimi

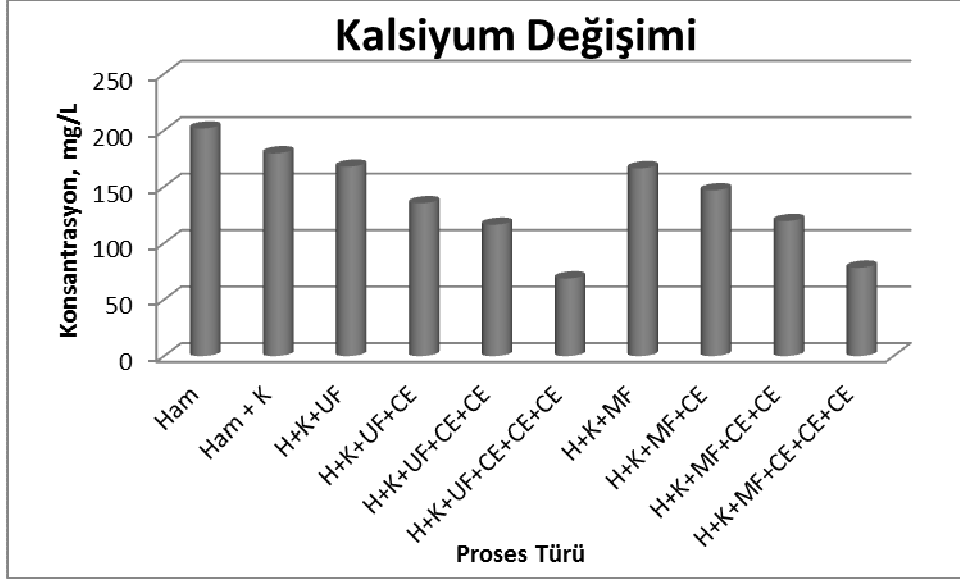
Kalsiyum sertliğe neden olmasıyla tanınan ve sıcaklık artışına paralel çözünürlüğü düşen önemli bir kirletici parametredir. Özellikle elektrodializ prosesinde membran tıkanma işlemlerinde büyük rol oynamaktadır. Yapılan iyon değiştirme işlemi de birinci dereceden bu iyonun giderimi amacıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15’de verilmektedir.



Şekil 5.13 Genç Sızıntı Sularında Kalsiyum Değişimi



Şekil 5.14 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Kalsiyum Değişimi

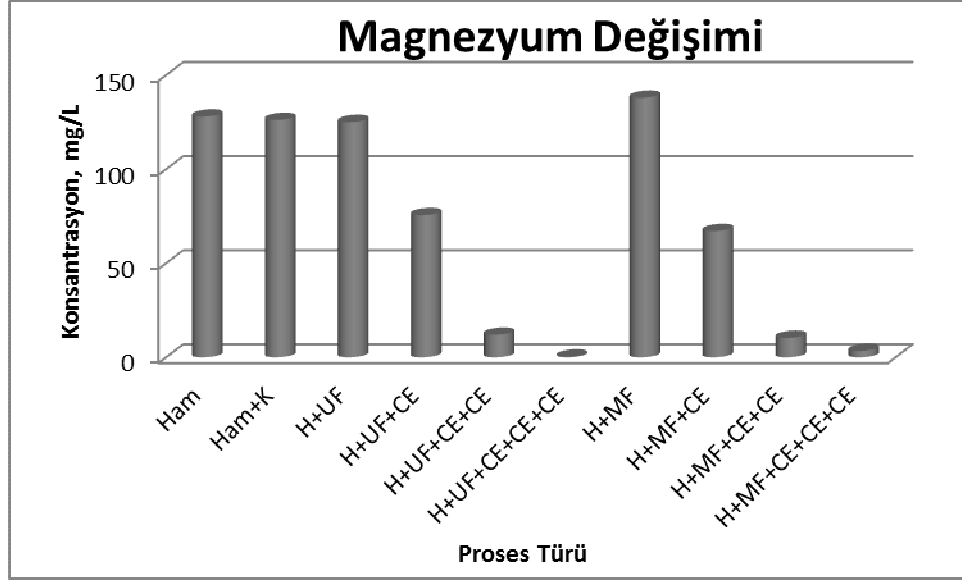


Şekil 5.15 Yaşlı Sızıntı Sularında Kalsiyum Değişimi

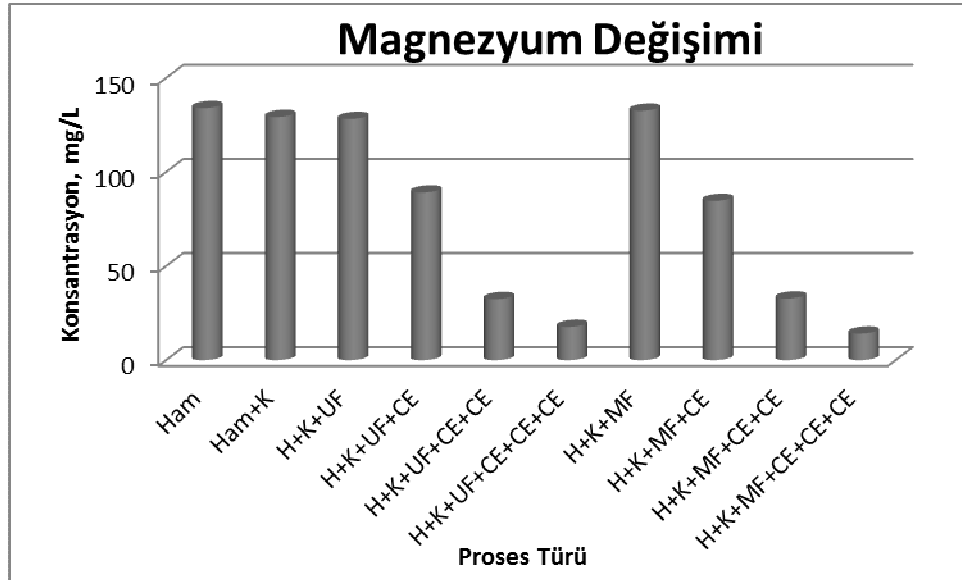
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde %70-80 seviyelerinde bir sertlik giderimi elde edilebilmiştir. Yine de sonuç olarak 30-50 mg/L seviyelerinde bir kalsiyum miktarı gözlenmiştir. Bununla ilgili olarak yapılacak ilave katyon değiştiricilerle bu değer 10 mg/L'nin altına indirgenecek ve çalışmalar bu şekilde yapılacaktır. Özellikle seri bağlı katyon değiştiricilerin başarılı olduğu bu proseste çok iyi görülebilmektedir.

### 5.2.2.3 Magnezyum Değişimi

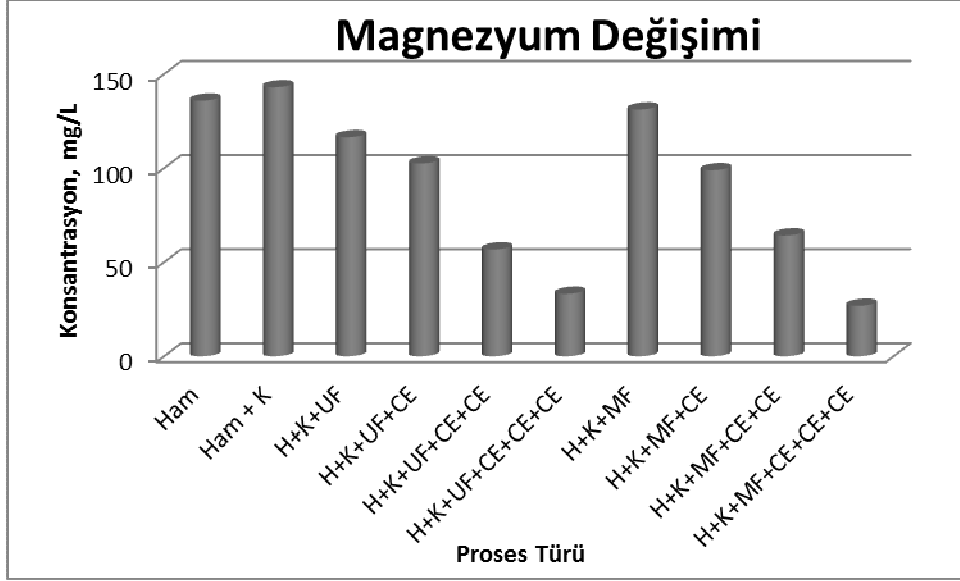
Magnezyum bileşeni de tıpkı kalsiyum gibi sertliğe neden olan önemli bir kirlenici parametre türüdür. Bu açıdan yapılan çalışmada magnezyum değişimi de incelenmiş ve sonuçlar aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 5.16 Genç Sızıntı Sularında Magnezyum Değişimi



Şekil 5.17 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Magnezyum Değişimi

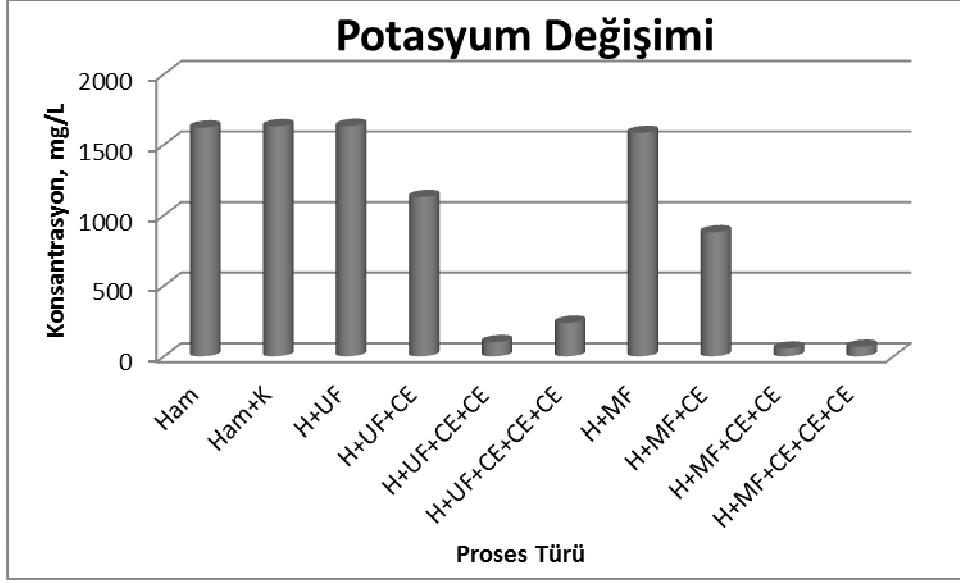


Şekil 5.18 Yaşlı Sızıntı Sularında Magnezyum Değişimi

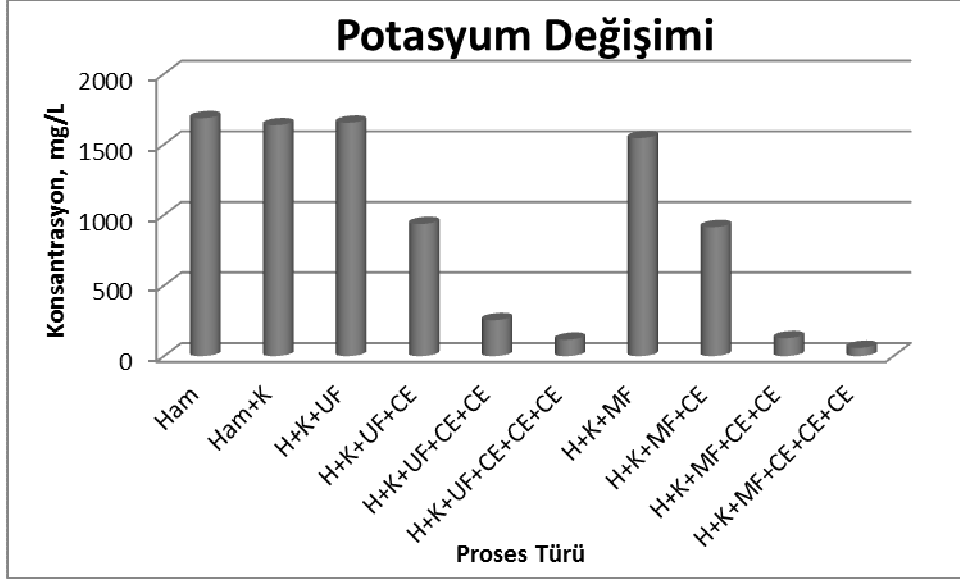
Elde edilen sonuçlardan da görüleceği üzere genç sızıntı sularında %97, orta yaşlı sızıntı sularında %90 yaşlı sızıntı sularında ise %60 seviyelerinde bir giderim elde edilebilmiştir. Kalsiyum giderim için ilave edilecek bir katyon değiştirici ile bu sonuçlar daha da arttırılarak elektrodializ prosesi için sorunsuz bir hal alacaktır.

#### 5.2.2.4 Potasyum Değişimi

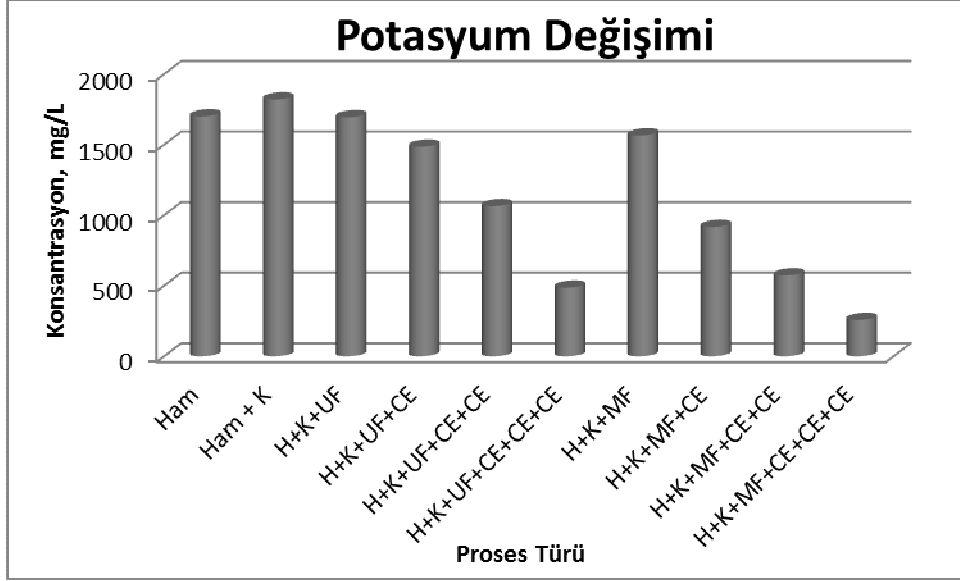
Sızıntı sularında en fazla bulunan katyon türlerinden biri de potasyumdur. Yapılan çalışmalarda 1600-1700 mg/l seviyelerinde özlenen potasyum tıkanma için çok etken olmasa da oluşan yan ürünlerin safsızlığı açısından problem teşkil edebilecektir. Yalnız yapılan iyon değiştirme prosesi ile bu parametrenin de giderimi etkin bir biçimde sağlanabilmiştir. Bu sonuçlara ilişkin şekillerde aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.19 Genç Sızıntı Sularında Potasyum Değişimi



Şekil 5.20 Orta Yaşlı Sızıntı Sularında Potasyum Değişimi



Şekil 5.21 Yaşlı Sızıntı Sularında Potasyum Değişimi

Benzer şekilde genç sızıntı suları için oldukça yüksek, orta yaşlı sızıntı suları için yüksek bir verim elde edilebilirken yaşlı sızıntı suları için kısmen yüksek bir verim ancak elde edilebilmiştir. Ama ilave edilecek katyon değiştiriciler ile desteklendiğinde yaşlı sızıntı suları da çok yüksek giderim verimlerine ulaşabilecektir.

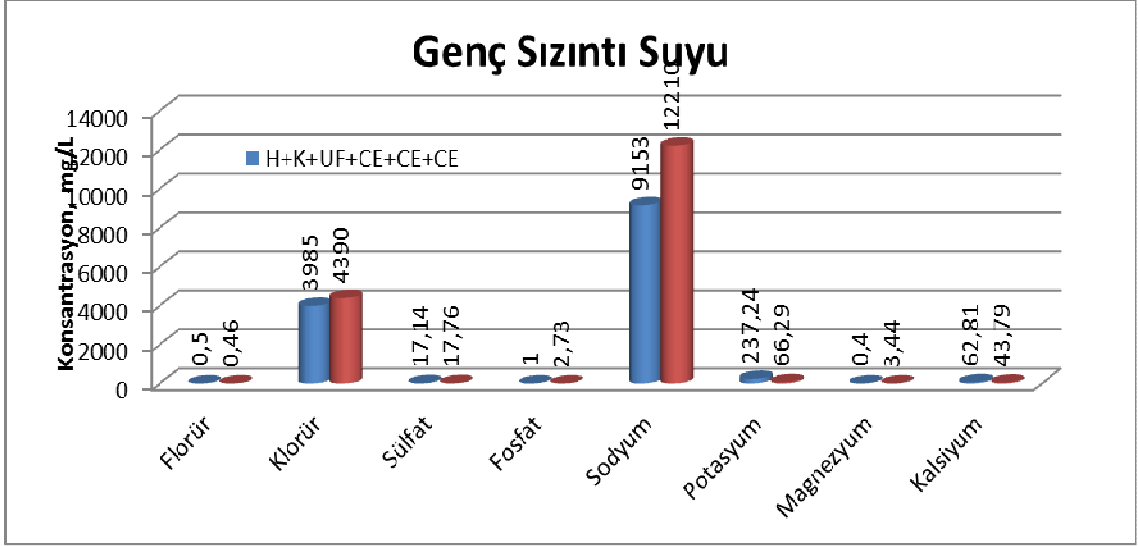
### 5.2.3 Elektrodializ Öncesi Yapılacak Ön Arıtım Seçeneklerinin Değerlendirilmesi

Bu aşamaya kadar Kaba Filtre, Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon ve seri bağlı iyon değiştiricilerle yapılan çalışmalara ilişkin anyon ve katyon değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında iki yöntem üzerinde kalınmıştır. Bu iki yöntem şüphesiz şunlardır;

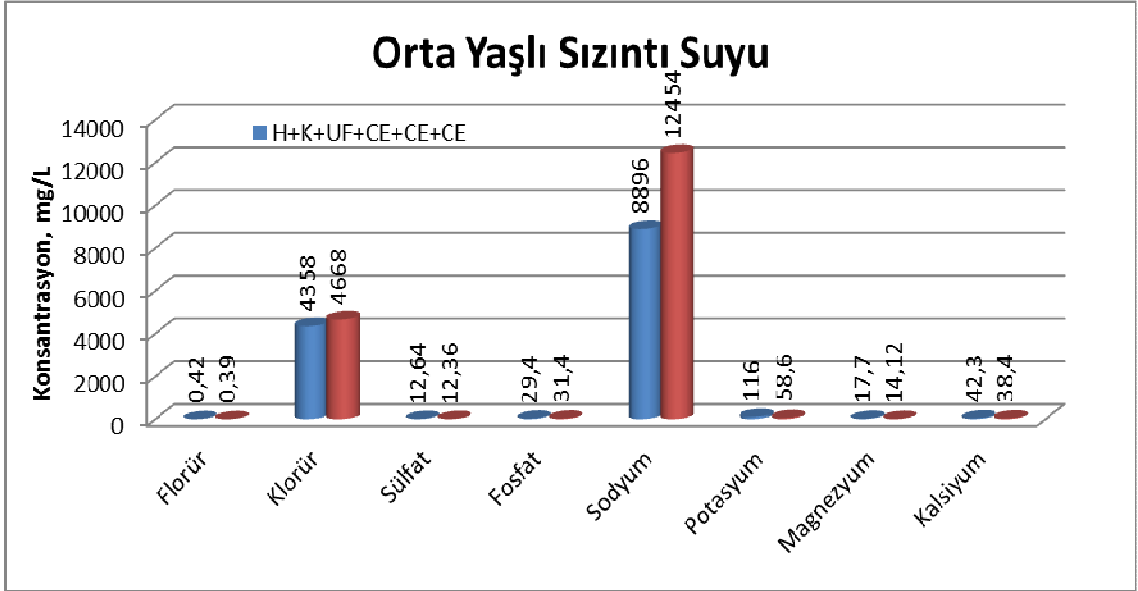
Ham Numune + Kaba Filtre + Mikrofiltrasyon + 1. İyon Değiştirme + 2. İyon Değiştirme  
+ 3. İyon Değiştirme

Ham Numune + Kaba Filtre + Ultrafiltrasyon + 1. İyon Değiştirme + 2. İyon Değiştirme +  
3. İyon Değiştirme

Bu iki yöntemin daha iyi karşılaştırılması için elde edilen sonuçlar grafiğe dökülmüştür.

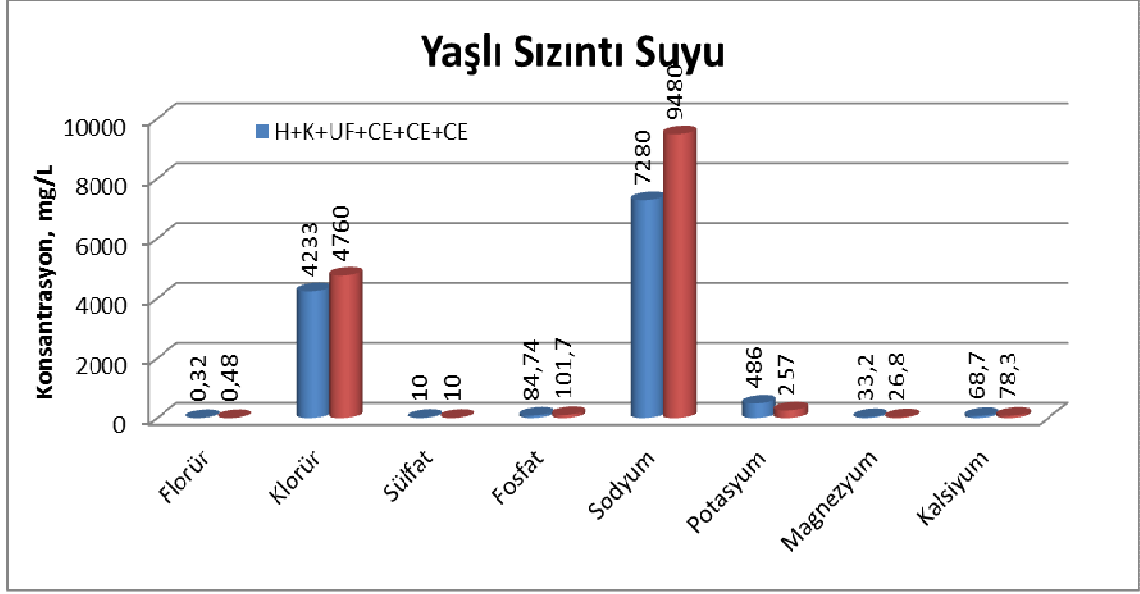


Şekil 5.22 Genç sızıntı suyu için optimum arıtım yöntemi seçimi



Şekil 5.23 Orta Yaşlı sızıntı suyu için optimum arıtım yöntemi seçimi





Şekil 5.24 Yaşlı sızıntı suyu için optimum arıtım yöntemi seçimi

Yapılan çalışmalar elde edildiğinde her iki filtrasyon tekniği ile de etkin verimlere ulaşıldığı görülmektedir. Bu nedenle uygulaması daha kolay olan UF prosesi optimum olarak seçilmiştir. Ayrıca yaşlı sızıntı sularında verimin daha da düştüğü göz önüne alındığında seri bağlı katyon değiştirici sayısı artırılabilir olduğu görülmektedir. Özellikle kalsiyum ve magnezyum değerlerinin daha da düşürülmesi gerektiği için bu çalışmalara ilave olarak 2 kademe daha katyon değiştirici eklenmesine karar verilmiştir. Yalnız anyon türlerinde herhangi bir değişim olmadığı ve UF prosesi optimum olarak seçildiği için bu aşamadan sonra yalnızca UF sonrası 5 kademeli katyon değiştirici prosesi uygulanacak ve elde edilen katyon değişimleri incelenecektir.

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda 3 kademeli iyon değiştirme prosesi uygulanarak tıkanmaya sebep olan katyonik türlerin giderimi sağlanmış yalnız istenilen mertebeye ulaşamamıştır. 3 kademeli iyon değiştirme prosesine ilave iki kademe daha yapılmış olup özellikle kalsiyum ve magnezyum gibi iyonların değerlerinin daha da düşürülmesi sağlanmıştır. Bu sayede elektrodializ membranlarının daha uzun süre tıkanmadan çalışabilmesi amaçlanmış ve ilk çalışmalarda elde edilen bulgulara göre başarılı olunmuştur. Sonuçta optimum ön arıtım yöntemi filtrasyon ve 5 kademe seri bağlı iyon değiştirme prosesi olarak seçilmiştir. Filtrasyon sonrası 5 kademeli iyon değiştirme prosesi ile ön arıtım tamamlanmış olacaktır. Bu şekilde her 3 sızıntı suyu tipi de ön arıtımı tamamlanarak elektrodializ prosesi için hazır hale getirilmiştir. Yalnızca katyon

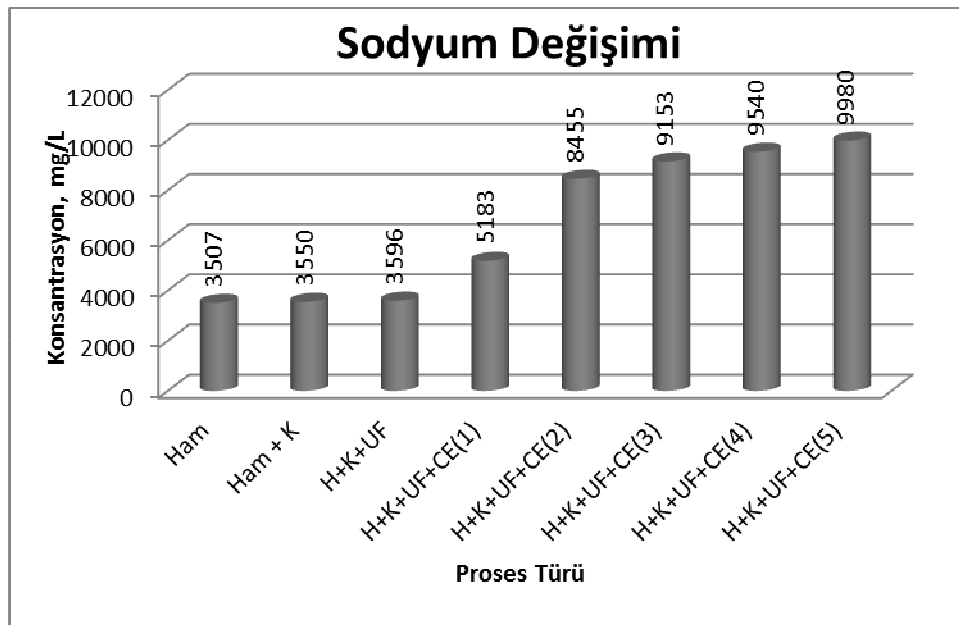
değiştirici ile arıtım gerçekleştirildiği için ilave iki kademe seri iyon değiştiriciler ile elde edilen giderim verimlerine ilişkin bilgiler aşağıdaki başlıkta daha detaylı incelenmiştir.

### 5.2.3.1 Katyon Değişimlerinin Değerlendirilmesi

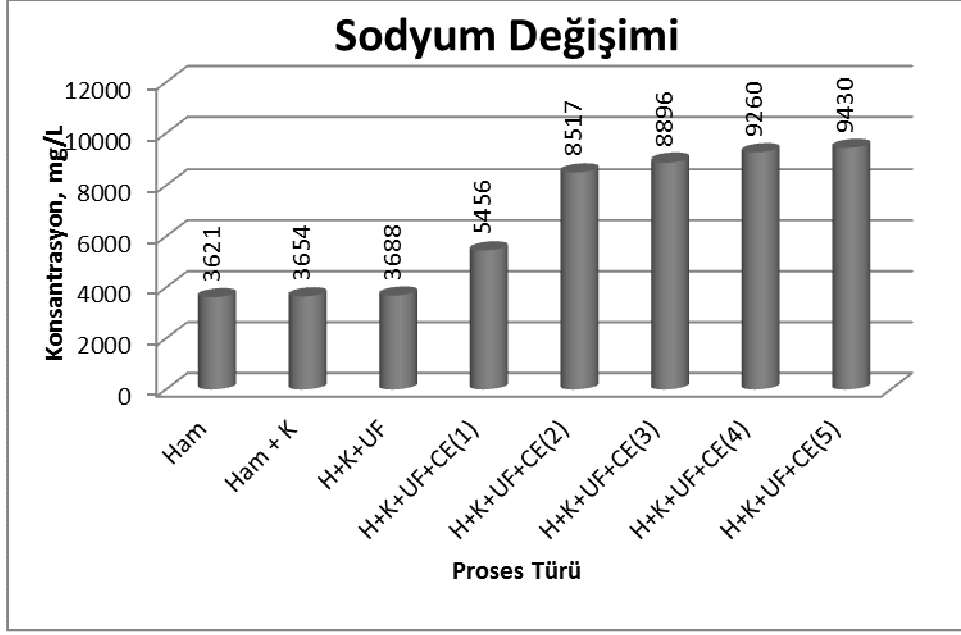
Ön arıtım sonrası analizler DIONEX marka ICS 3000 model İyon Kromatografi cihazı ile gerçekleştirilmiş, elde edilen katyon değişimleri aşağıdaki gibidir.

#### 5.2.3.1.1 Sodyum Değişimi

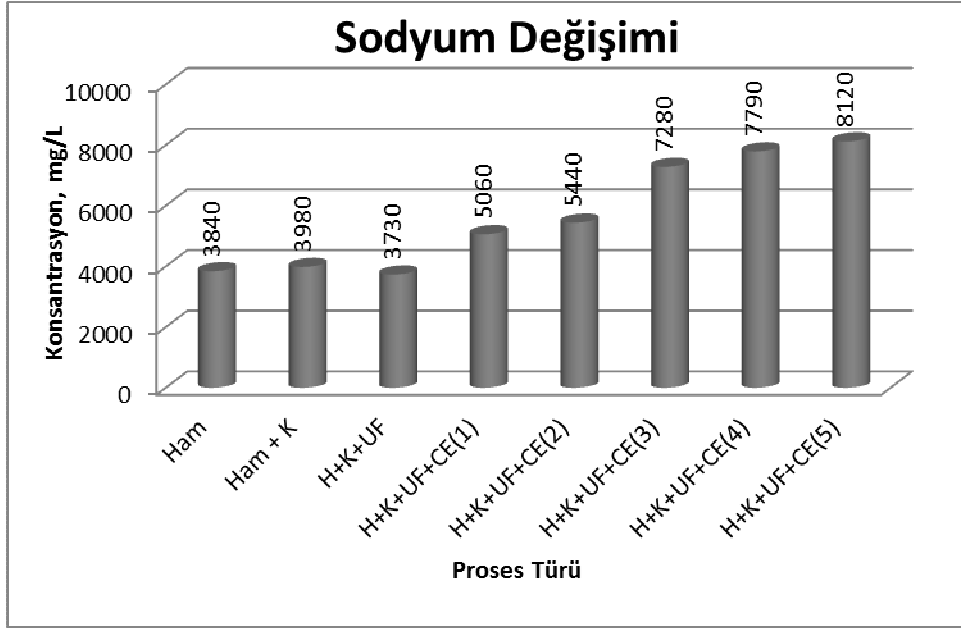
İyon değiştirme sonrası en önemli parametrelerden biri şüphesiz sodyumdur. Sodyum bileşenli katyonik iyon değiştiricilerin kullanımı sonrasında elde edilen katyon giderimine paralel olarak sodyum artışı gerçekleşmektedir. Bu da mevcut atıksu için tek bir katyonik türün son kısımda kalması demektir. Bu sayede oluşması muhtemel ürün konusunda da bir saflık elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen veriler aşağıdaki şekillerde her üç atıksu tipi için de ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 5.25 Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası sodyum değişimi



Şekil 5.26 Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası sodyum değişimi



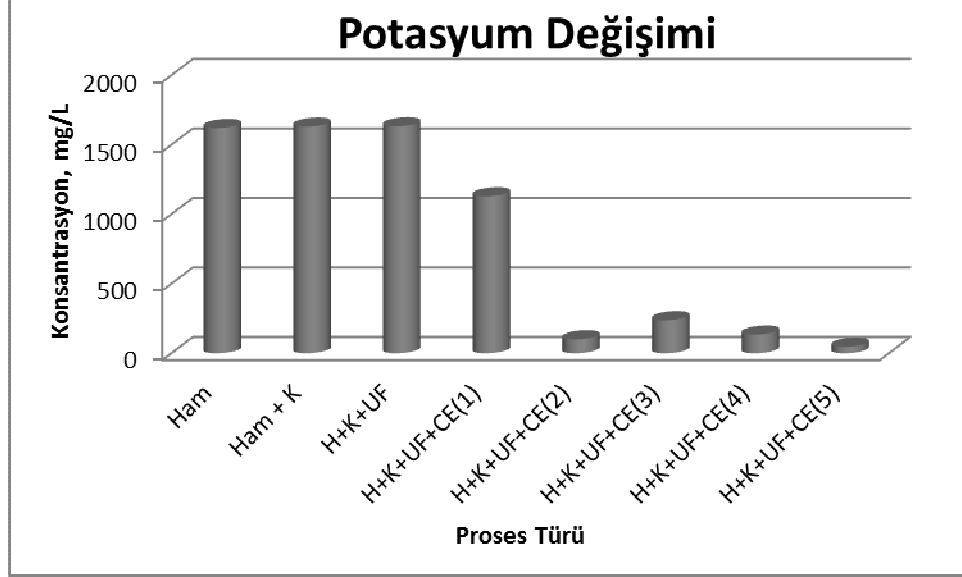
Şekil 5.27 Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası sodyum değişimi

Yapılan analizlerden de görüleceği üzere beklenildiği gibi iyon değiştirme kademelerinde sodyum miktarında artışlar görülmüştür. Bu şekiller aynı zamanda diğer katyonlarında her bir kademede ne ölçüde giderilebildiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

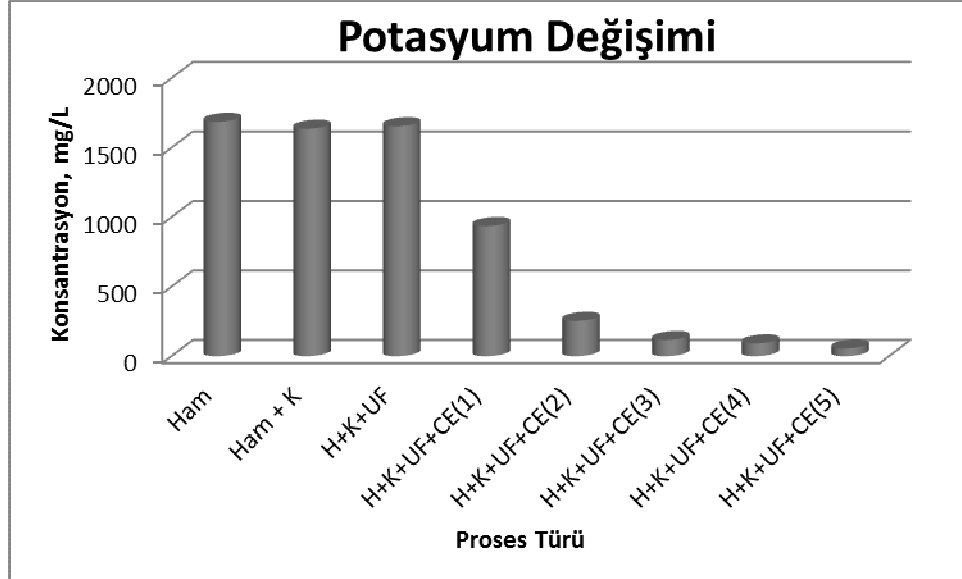
#### 5.2.3.1.2 Potasyum Değişimi

Sızıntı suyu katyon değerlerine bakıldığında potasyumda büyük öneme sahiptir. Çünkü ham numunelerde 1700mg/L seviyelerinde bir kirletici potansiyeline sahiptir. Nitekim

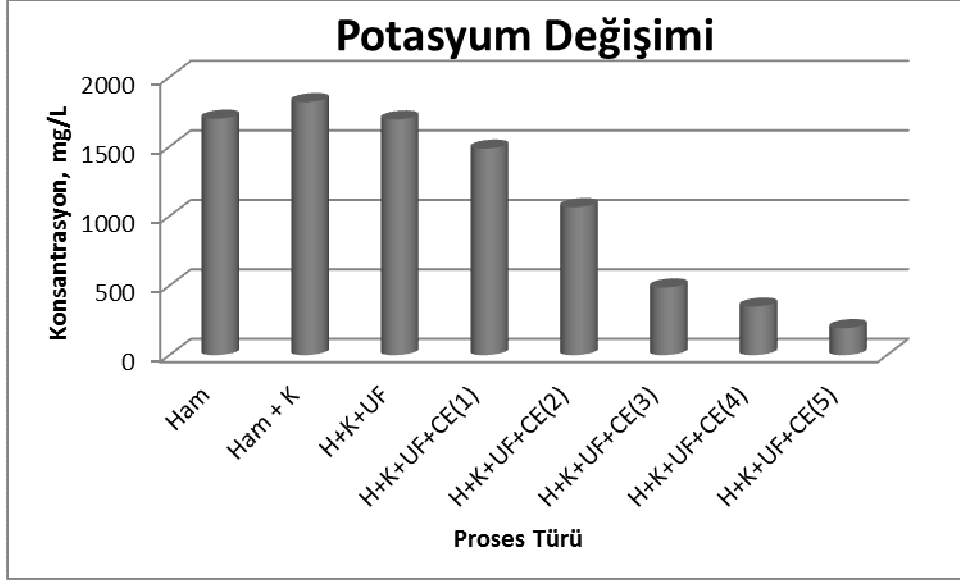
yapılan katyon değiştirme prosesleri sonrasında bu değerler 50-200mg/L seviyelerine kadar indirgenebilmiştir. Katyon değiştirici ilavesiyle elde edilen değişimler şekil 5.28, 5.29 ve 5.30'da verilmiştir.



şekil 5.28 Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası potasyum değişimi



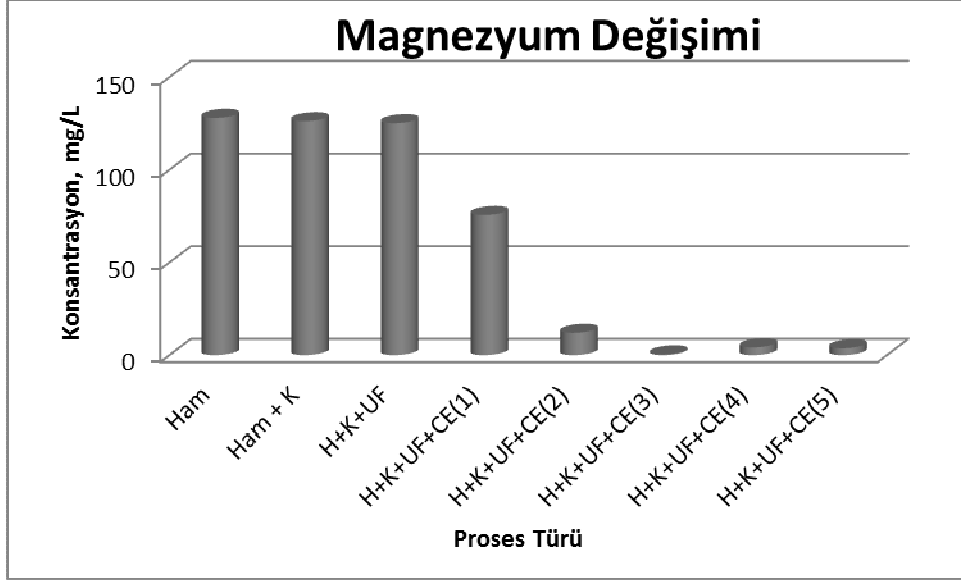
şekil 5.29 Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası potasyum değişimi



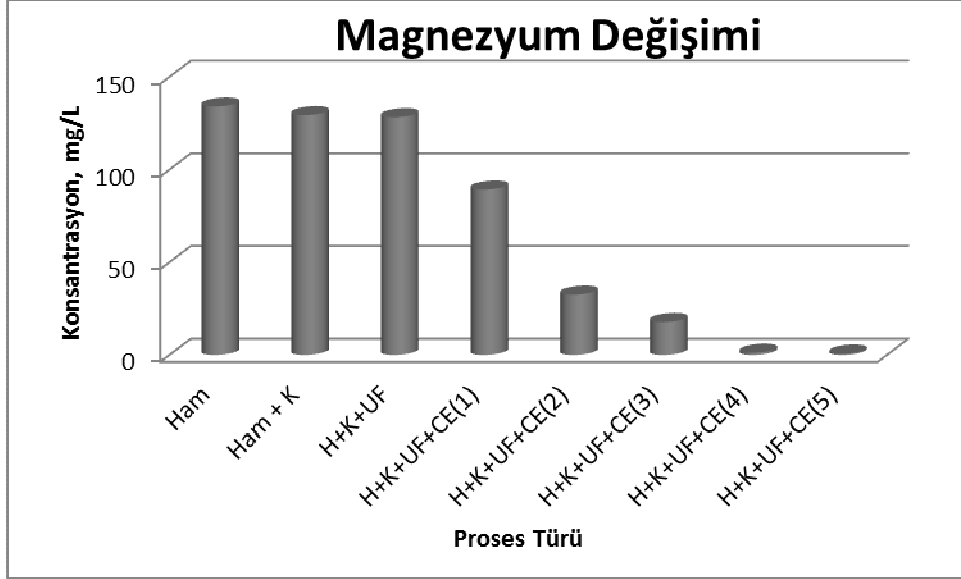
Şekil 5.30 Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası potasyum değişimi Şekiller incelendiğinde görüldüğü gibi kademeli olarak düşüşler gerçekleşmekte ve toplamda farklı sızıntı suları için %88-97 seviyelerinde bir giderim sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar 5 kademeli bir iyon değiştirme prosesi sonrasında katyonik türlerin büyük ölçüde yerini sodyuma bıraktığını göstermektedir.

#### 5.2.3.1.3 Magnezyum Değişimi

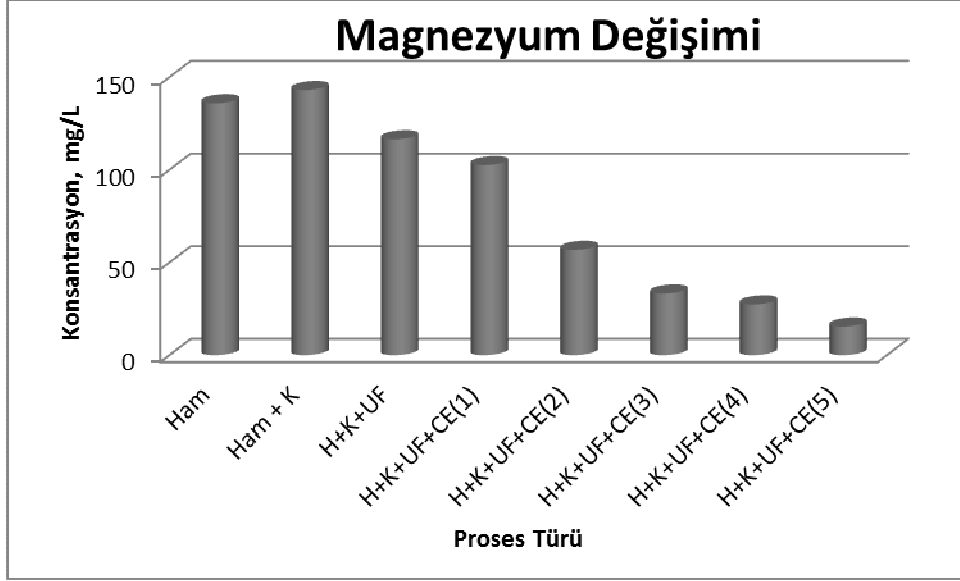
Magnezyum parametresi elektrodiyaliz prosesi için en önemli katyonik türler arasındadır. Kalsiyum ile birlikte tıkanma problemine neden olan iyonik türler arasında yer alan magnezyum, katyon değiştiriciler ile etkin bir biçimde giderilebilmektedir. Sızıntı suyu türüne göre yaklaşık %89-99,5 seviyelerinde gerçekleştirilen ön arıtım verimleri magnezyum giderimi konusunda başarılı olduğunun en önemli göstergesidir. Yapılan çalışmalarda elde edilen verimler Şekil 5.31, 5.32 ve 5.33'te verilmiştir.



Şekil 5.31 Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası magnezyum değişimi



Şekil 5.32 Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası magnezyum değişimi

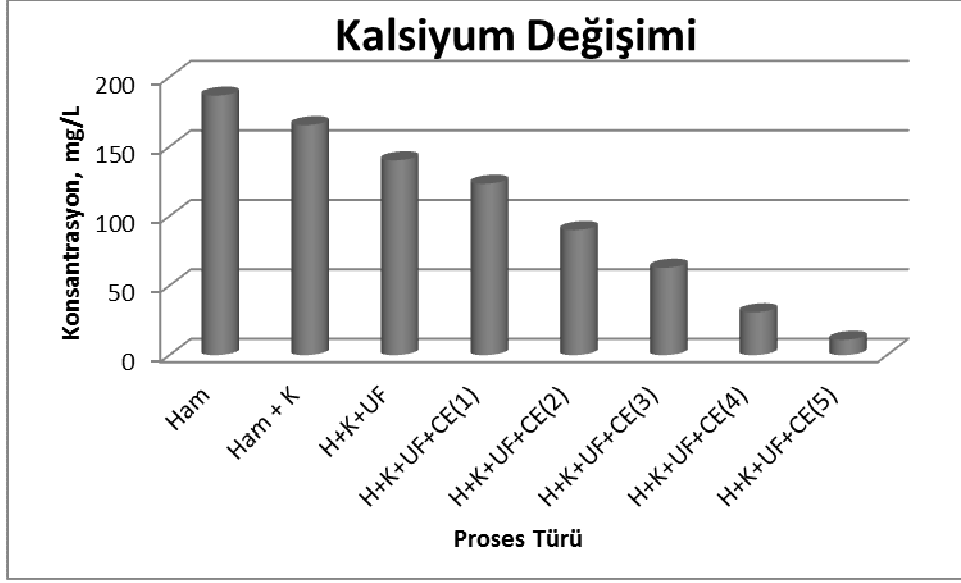


Şekil 5.33 Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası magnezyum değişimi

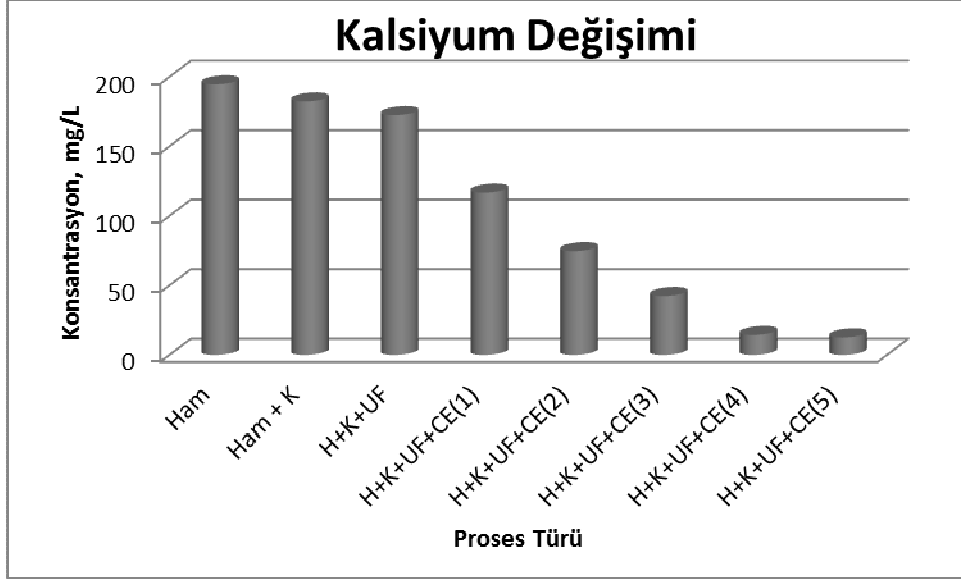
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yaşlı sızıntı sularında %88,9 genç ve orta yaşlı sızıntı sularında ise sırasıyla %97,2 ve %99,4 mertebelerinde bir magnezyum giderimi sağlandığı görülmüştür. Bu sayede 5 kademeli bir iyon değiştirme prosesi ile başarılı bir magnezyum gideriminin sağlanabileceği görülmüştür.

#### 5.2.3.1.4 Kalsiyum Değişimi

Magnezyum parametresi gibi kalsiyum parametresi de sızıntı sularında önemli kirletici türleri arasındadır. Bu amaçla yapılan katyon değiştirme proseslerinin magnezyum gibi kalsiyum için de etkin bir yöntem olduğunu ortaya çıkarmıştır. Şekil 5.34, 5.35 ve 5.36'da kalsiyum değişimleri gösterilmiştir.

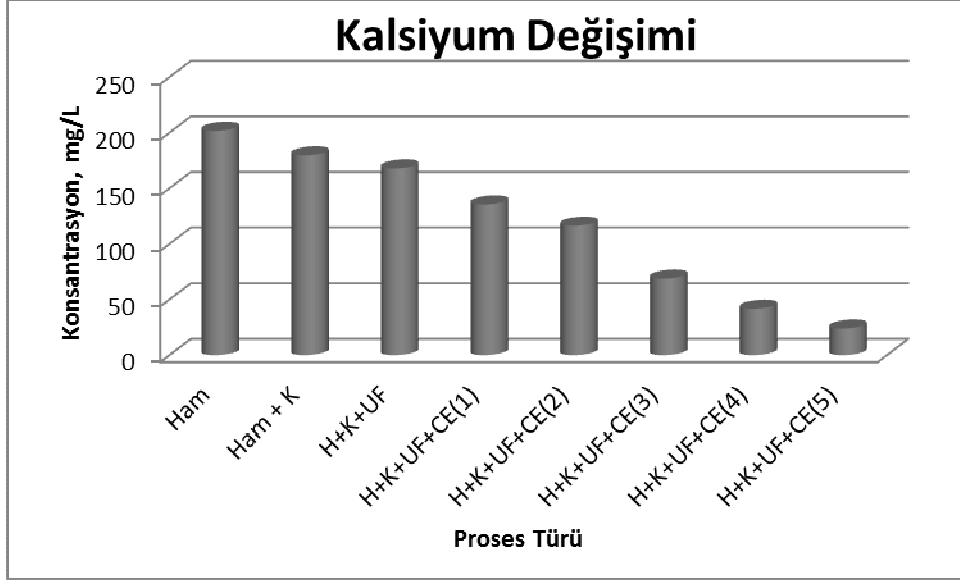


Şekil 5.34 Genç sızıntı suyunun ön arıtım sonrası kalsiyum değişimi



Şekil 5.35 Orta yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası kalsiyum değişimi



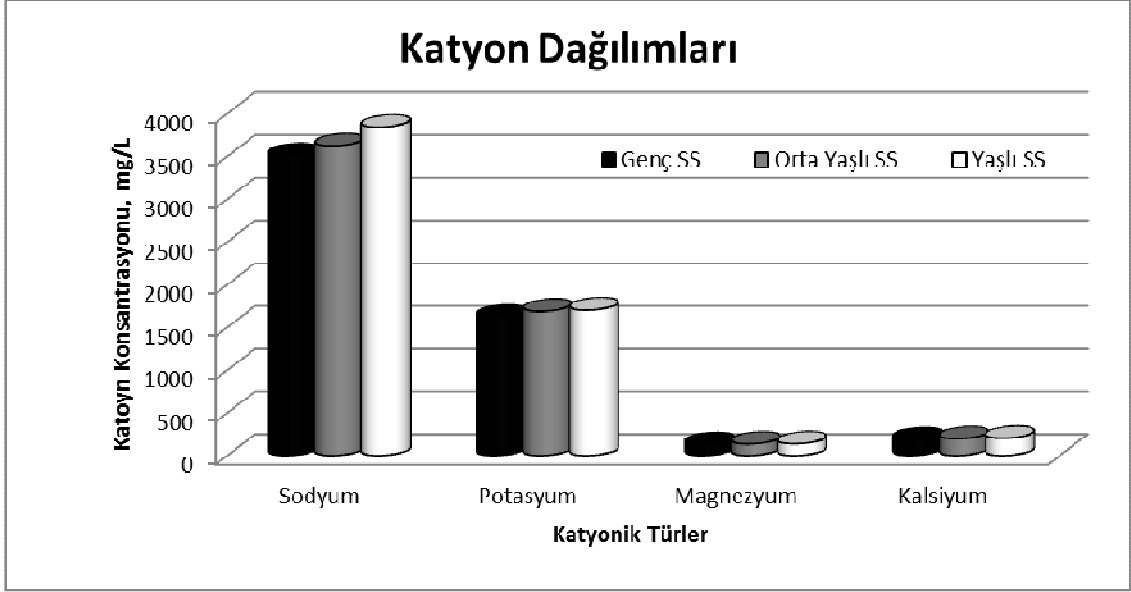


Şekil 5.36 Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtım sonrası kalsiyum değişimi

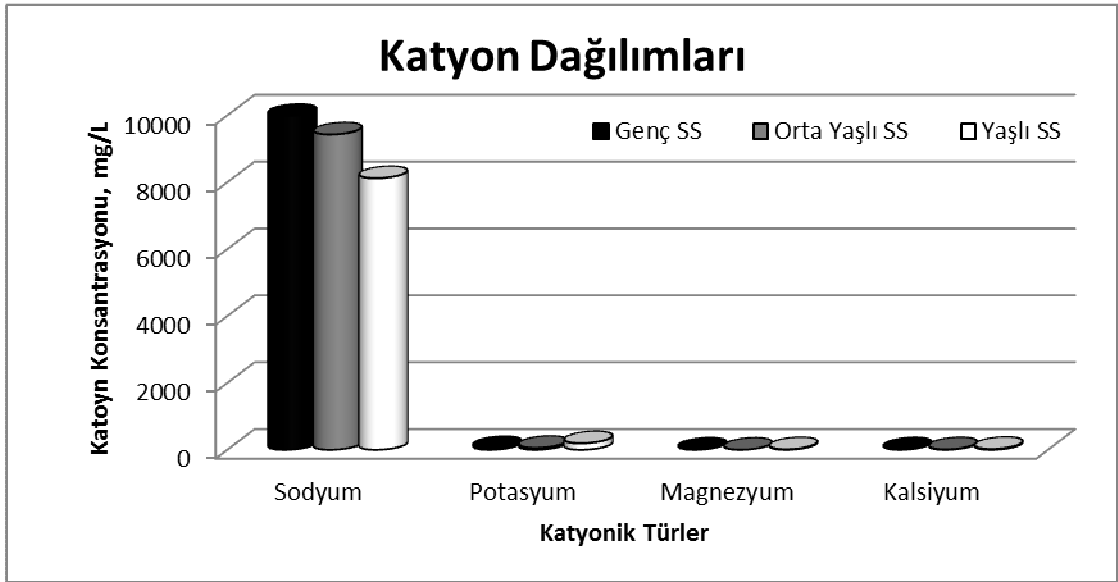
Elde edilen sonuçlar magnezyum parametresi ile paralellik göstermektedir. Genç ve orta yaşlı sızıntı sularında giderim verimleri yaşlı sızıntı sularına oranla daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yaşlı sızıntı sularında %88,2'lik bir giderim verimlerine ulaşılmışken bu değer genç sızıntı suları için %94,2, orta yaşlı sızıntı suları için de %93,6 mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Bu şekilde yapılacak bir elektrodiyaliz prosesinde de çok daha uzun süreli kullanım sağlanabileceği görülmüştür.

### 5.2.3.1.5 Genel Değerlendirme

Yapılan incelemede her bir parametre için her bir kademede elde edilen verimler belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre 5 kademeli iyon değiştirme prosesinin elektrodiyaliz prosesi için en etkin sonucu vereceği gözlenmiştir. Bu nedenle optimum ön arıtım yöntemi olarak filtrasyon sonrası 5 kademeli iyon değiştirme prosesi seçilmiştir. Aşağıda 5 kademeli iyon değiştirme prosesi öncesi ve sonrasında farklı yaşlardaki sızıntı sularına ait katyonik türlerin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.37 Ön Arıtım Öncesi Sızıntı Sularında Kasyonik Türlerin Dağılımı



Şekil 5.38 Ön Arıtım Sonrası Sızıntı Sularında Kasyonik Türlerin Dağılımı

Elde edilen sonuçlara bakıldığında tüm kasyonik türleri temsilen ortamda sodyum kaldığı söylenebilir. Bu sayede elektrodiyaliz sonrası elde edilecek katolit ve anolit türleri için saf bir ürün elde edilebileceği söylenebilir. Bu sonuçlara göre yapılan ön arıtımla elde edilmiş olan numuneler ile elektrodiyaliz prosesiyle optimizasyon çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmalarına ilişkin bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

### 5.3 Elektrodiyaliz Çalışmaları

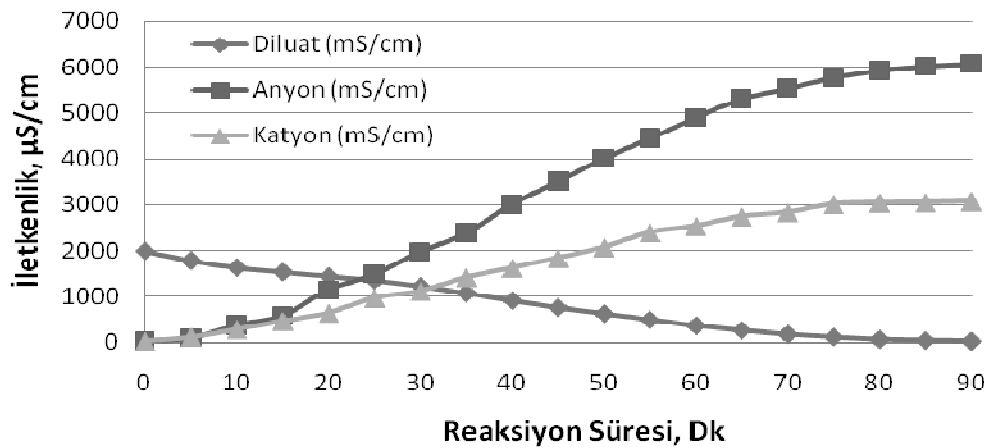
Ön arıtım sonrası hazırlanmış numuneler ile optimizasyon çalışmaları başlatılmıştır. Optimizasyon çalışması her 3 sızıntı suyu türü içinde yapılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmaları öncesi en önemli unsur uygulanacak çalışma setinin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada işletme şartlarının ne olduğu ve ne derece etkili olduğu büyük önem taşımaktadır ve bu nedenle işletme şartları daha detaylı bir şekilde aşağıdaki gibi incelenmiştir.

#### 5.3.1 Elektrodiyaliz Prosesi İçin Etkili İşletme Şartları

Elektrodiyaliz prosesi için işletme şartlarının seçimi çalışma seti oluşturabilmek için oldukça önemlidir. Özellikle bu tez çalışması için temsil edici çalışmaları uygun bir çalışma seti ile sağlamak amacıyla ön çalışmalar yapılmıştır. Yapılan ön çalışmalar elektrodiyaliz prosesi için önemli olan iyonik kirleticilerin yoğun bir biçimde bulunduğu tuzlu su ile yapılmıştır.

##### 5.3.1.1 Süre

Her tür arıtım çalışmasında arıtım süresi büyük önem taşımaktadır. Elektrodiyaliz prosesi çalışmasında ise elektrolitik reaksiyonlar ile birlikte iyon göçlerinin devam ettiği süre verimi büyük ölçüde değiştirmektedir. Yapılan ön çalışmalara ilişkin elde edilen veriler Şekil 5.39'da verilmektedir.

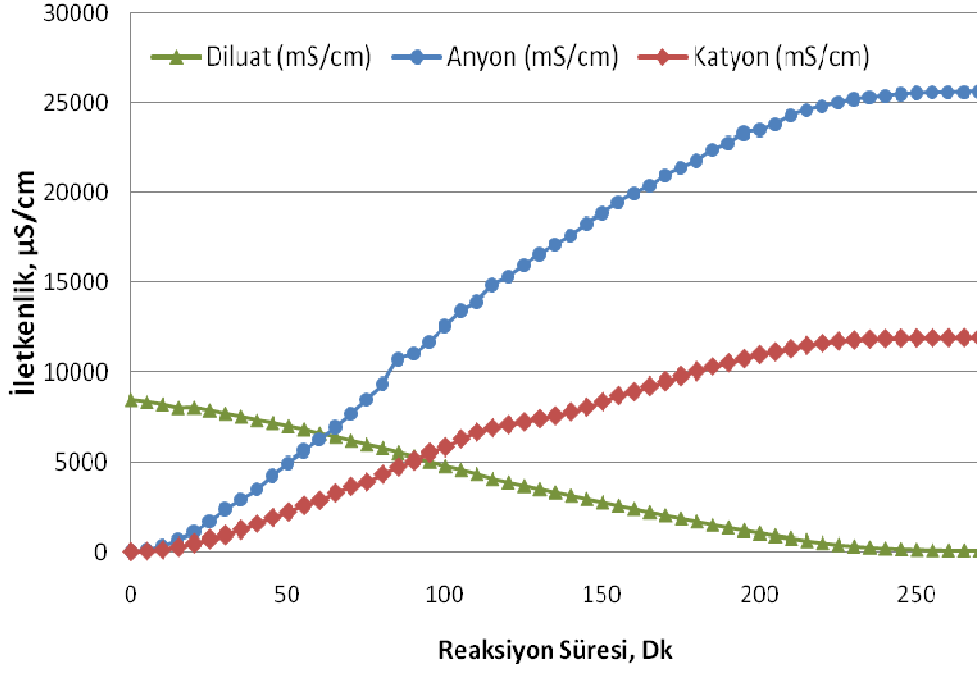


Şekil 5.39 Tuzlu su çözeltisinin deiyonizasyonu ve aynı süreçte anolit ve katolitin iletkenlik değişimi (2mS/cm, 10V)

Şekil 5.39 incelendiğinde 2mS'lik iletkenliğe sahip tuzlu su çözeltisinde beklenildiği gibi atıksu kısmında iletkenlik düşüşü ve buna paralel anolit ve katolit sıvılarında da iletkenlik artışı gözlenmektedir. Yalnız bu çalışmada farklı arıtım süreleri ile reaksiyonun sonlandırılması yerine, ihtiyaç duyulan verime ulaşıldığı anda reaksiyonun sonlandırılması yoluna gidilecektir. Çünkü deiyonizasyon esasına göre bu süreç sonsuza kadar devam edebilir. Su iletkenliği düştükçe elektrolitik reaksiyonlar yavaşlayacak ve deiyonizasyon hızı düşecektir. Bir noktada kesilmediği takdirde süreç çok uzayacaktır. Bu nedenle temel bir işletme şartı seviye değişimine ilişkin bir tablo verilmemiştir. Bu sayede iletkenlik değeri istenilen seviyeye ulaştığında süreç sonlandırılacaktır. Maliyet açısından çok düşük şartlarda yapılan çalışmalarda ise istenilen iletkenlik değerine ulaşamayacağı düşünülmektedir. Bu aşamada, süre konusunda belli bir kısıtlama olması gerekmektedir. Bu nedenle belli bir süre sonunda reaksiyonun tamamlanmadığı görülürse, çıkış suyu iletkenliği belli bir seviyeye ulaşılmadan sonlandırılabilir. Yani başlangıç iletkenliği 15mS/cm olan bir atıksuyun 2 mS/cm seviyesine ulaştığında istenilen performansa ulaştığı kabul edilecektir. Bunun temel nedeni 2mS/cm seviyesinden sonra elektriksel iletkenlik çok düştüğü için sabit tutulan elektriksel gerilim değerine ilişkin akım değeri düşmekte ve verim artıyor gibi görünse de verim artış hızı büyük oranda düşmektedir. Bir önceki raporda yer alan tuzlu su çalışmalarında bu durum çok daha iyi görülmekteydi. Bu açıdan arıtım süresinin sonlandırılması eğer verim elde edilebilecek ise 2mS/cm seviyesine ulaştığında ya da yeterli verim elde edilemiyor ise 6 saatlik süre sonunda sonlandırılmasına karar verilmiştir. Ayrıca online olarak her bir dakikada pH ve iletkenlik ölçümleri de alınarak süreye bağlı reaksiyonlar denetlenmiştir.

### **5.3.1.2 Başlangıç Konsantrasyonu**

Başlangıç konsantrasyonu elektrodiyaliz prosesi için birinci dereceden etken bir işletme şartıdır. Elektrodiyaliz prosesinde zamana bağlı olarak iyon taşınımı gerçekleşmektedir. İyon konsantrasyonunun farklı düzeylerde olması da benzer sonuçlara farklı süreçlerde ulaşabileceğinin göstergesidir. Bu çalışmada da 2 mS/cm ve 8,5mS/cm'lik iki farklı tuzlu su çözeltisinin desalinasyonu yapılmıştır. Şekil 5.39'da 2mS/cm'lik atıksuya ilişkin veriler görselliğe dökülmüştür. Şekil 5.40'da da 8,5 mS/cm'lik veriler görülmektedir.



Şekil 5.40 Tuzlu suyun elektrodializ prosesiyle desalinasyonuna ilişkin verileri (8,5 mS/cm, 10V, 20 l/sa)

Nitekim ön çalışma sonuçları da bunu çok açık bir biçimde gözler önüne sermiştir. Fakat mevcut çalışmamızda sentetik numunelerle çalışılmadığı için düşünülen farklı konsantrasyonlar Çizelge 5.2’de verildiği gibi sızıntı suyu yaşları ile sağlanacaktır. Her 3 sızıntı suyu tipi de farklı konsantrasyon olarak çalışmada ayrı ayrı yer alacak ve her bir sızıntı suyu türü tek tek diğer işletme şartlarıyla incelenecektir.

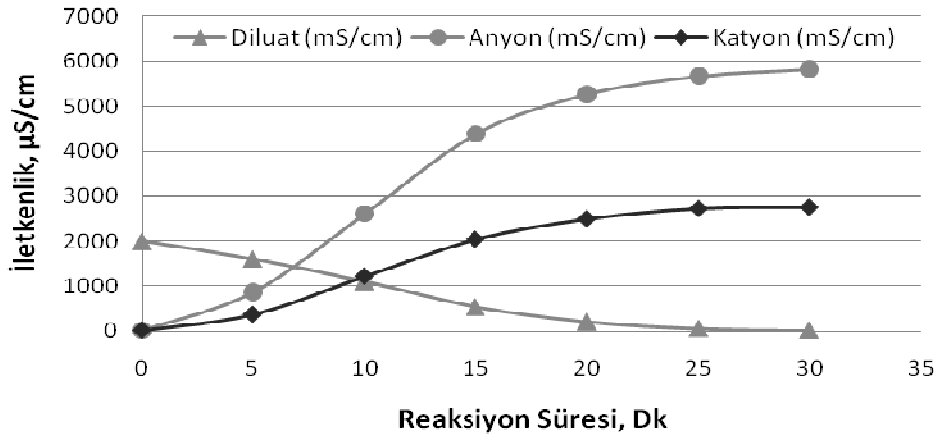
Çizelge 5.2 Ön Arıtıma İlişkin Çalışma Seti (Membran + İyon Değişirme)

İşletme Şartı	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Başlangıç Konsantrasyonu	Genç Sızıntı Suyu	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	Yaşlı Sızıntı Suyu

### 5.3.1.3 Akım (Elektriksel Gerilim)

Elektrodializ prosesinde temel olan ve verimi birinci dereceden etkileyen iyon göçüdür. Bu iyon göçü de elektrolitik reaksiyonlarla sağlanmaktadır. Dolayısıyla elektrodializ prosesinde sisteme verilen akım, reaksiyonları ve dolayısıyla da verimi direkt olarak etkilemektedir. Fazla verilen akım membranlara zarar verebilir ve ekonomik açıdan çalışmayı bir çıkmaza doğru sürükleyebilir. Bu nedenle uygulanacak

akım değeri büyük önem taşımaktadır. Yapılan ön çalışmalarda elde edilen veriler Şekil 5.41’de verilmiştir.



Şekil 5.41 Tuzlu suyun elektrodializ prosesiyle desalinasyonuna ilişkin verileri (2 mS/cm, 20V, 20L/sa)

Şekil 5.39 ve 5.41 incelendiğinde aynı işletme şartlarında elektriksel gerilim değerinin etkisi daha net görülebiliyor. 10V’luk çalışmada çalışma 90 dakikada sonuçlanırken 20V’luk çalışma 30 dakikada sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle artan elektriksel gerilim değerinin verimi arttırdığı görülmektedir. Nitekim çalışmalarda membranların imkân verdiği akım değerlerine kadar elektriksel gerilimlerin uygulanmasına karar verilmiştir. Gerek etkisi ve gerekse reaksiyon mantığında büyük rol oynayan akım değeri elektrodializ prosesi için en önemli işletme parametresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yalnız reaksiyonun temel mantığı gereği, iletkenlik değişimi yüksek seviyelerde olacağından burada akım ve elektriksel gerilim değerleri bir kat daha önem taşımaktadır. Sabit bir akım elde etmek için değişken bir elektriksel gerilim uygulanması gerekmektedir. Bu da prosesin çalışması esnasında problem teşkil edebilir. Bu açıdan sabit elektriksel gerilim ve bu elektriksel gerilimle elde edilen amper değerleriyle çalışma sürdürülmüştür. Aşağıda Çizelge 5.3’de genç, orta ve yaşlı sızıntı suları için uygulanacak elektriksel gerilim değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 Ön Arıtmaya İlişkin Çalışma Seti (Membran + İyon Değişirme)

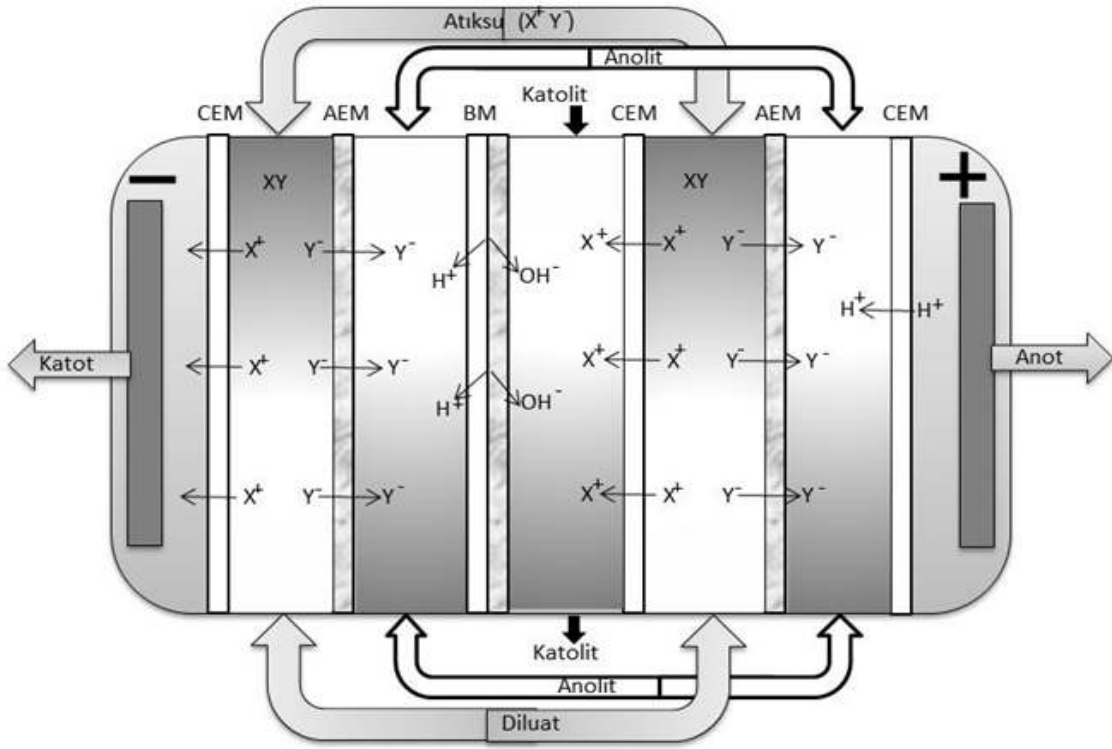
Atıksu Tipi	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Genç Sızıntı Suyu	10 V	15 V	20 V	25 V
Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	15 V	20 V	25 V
Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	15 V	20 V	25 V

### 5.3.1.4 Membran Sayısı

Membran sayısı büyük önem taşımaktadır. Aslında tanımlama biraz farklı durmaktadır. Çünkü membran sayısı değil de membran takımı ifadesi de kullanılabilir. Çünkü membran sayısı olarak ifade edilen bu çalışmada elektrodializ prosesinin gereği olarak anyon ve katyon seçici membranlar ile bipolar membranların kullanımı gerekmektedir. Kullanılan PCell marka elektrodializör için gerekli membran dizilimi şu şekildedir.

Katot → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → CEM → Anot

Bu dizilimdeki membran sayısı arttırılabilir. Bu sayede mevcut atıksuyun ve elektrolit sıvılarının geçiş bölgesi daha da artar. Buna örnek olarak aşağıdaki dizilim gösterilebilir.



Şekil 5.42 Tipik bir (2 Bipolar membranlı) bipolar membran elektrodializ prosesi Bu şekilde membran dizilimi arttırılabilmektedir. İçerdiği BM sayısına göre sınıflandırdığımız elektrodializ prosesleri bu çalışmada bir işletme şartı olarak kabul edilmiştir. Nitekim elde edilen sonuçlarda farklı dizilimlerde büyük ölçekte verim değişiklikleri gözlenmiştir. Bu dizilimler aşağıda Çizelge 5.4'de verilmiştir.

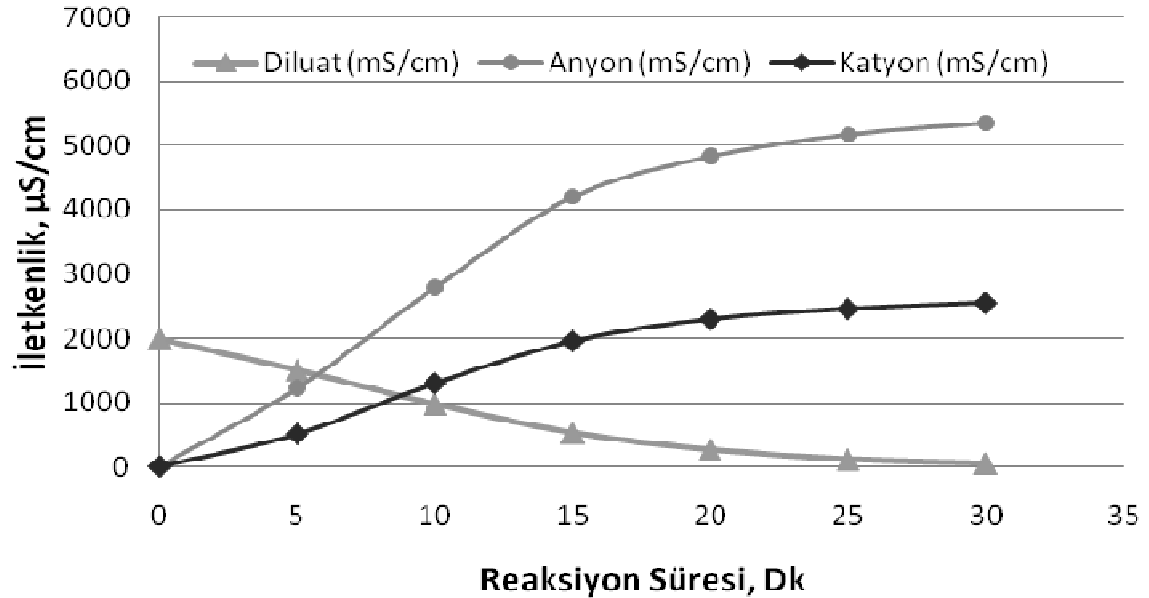
Çizelge 5.4 Farklı membran dizilimleri

Membran Sayısı	Membran Dizilimi
1	Katot → CEM → AEM → BM → CEM → Anot
2	Katot → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → BM → CEM → Anot
3	Katot → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → BM → CEM → Anot
4	Katot → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → BM → CEM → AEM → BM → CEM → Anot

Membran dizilimleri Çizelge 5.4'de verilmektedir. Nitekim her 4 farklı dizilimde çalışmada kullanılarak etkileri incelenmiştir.

### 5.3.1.5 Debi

Ön çalışmalarda yapılan incelemelerde debi değişikliğinin pek fazla bir katkısı olmadığı ve verimlerin aynı seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Şekil 5.43'de 10L/sa'lık debide elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.43 Tuzlu suyun elektrodializ prosesiyle desalinasyonuna ilişkin verileri (2 mS/cm, 20V, 10L/sa)

Şekil 5.41 ve 5.43 incelendiğinde önemli değişiklikler olmadığı görülmektedir. Nitekim her iki çalışmada da 30 dakikalık süre sonunda aynı verimler büyük benzerlikle elde edilmiştir. Aslında yüksek hızlı ve düşük hızlı atıksu veya elektrolit geçişi kapalı bir



şekilde çalışan sistemdeki döngü sayısını büyük ölçüde değiştirmektedir. Fakat hızlı döngülerde düşük oranda verimler elde edilebilirken, düşük hızlı döngülerde ise daha yüksek verimler elde edilebilir. Her bir döngü için bahsedilen verim değerleri değişiklik gösterse de toplam arıtım süresi sonunda yüksek debili çalışma 200 döngü sağlarken düşük debili çalışmalar 50 döngüde kalabilmektedir. Sonuç olarak reaksiyonlardaki iyon göçleri benzerlik gösterdiği için çıkış verimleri büyük bir değişim göstermemektedir. Ayrıca çalışma ile birlikte olası lokal tıkanmalarla akış hızı düşebilmekte ve kontrol tam anlamıyla sağlanamamaktadır. Bu nedenle çalışmada debi ile ilgili bir optimizasyon yoluna gidilmemiştir.

#### **5.3.1.6 Sıcaklık**

Literatür verileri kontrol edildiğinde bazı çalışmalarda sıcaklık değerleri üzerinde değişiklik yapılmakta ve kısmi verim değişiklikleri ile karşılaştırılmaktadır. Bu sistemde ise çok yüksek bir sıcaklık değişimi söz konusu olmadığı için (Ön çalışmalarda maksimum 8 derecelik bir artış) sıcaklığın çalışmalarda bir işletme parametresi olarak izlenmemesi yoluna gidilmiştir.

#### **5.3.1.7 Diğer Sıvıların (Anolit, Katolit, Elektrolit) Özelliği**

Yapılan çalışmalarda gözlemlenen önemli bir parametre olan anolit, katolit ve elektrolit sıvılarının durumu bu çalışmada da göz önüne alınacaktır. Nitekim bu sıvılar çalışmada saf su olarak kullanıldığında iletkenlik artışı sağlanana kadar akım verimliliğinin düşüşü ve gereksiz süre sarfiyatı olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bu amaçla en az 3mS/cm mertebelerinde bir iletkenlik içermesi süreyi kısaltacaktır. Bu 3mS/cm'lik iletkenlik iki farklı şekilde elektrolit, anolit ve katolit başlangıcında sağlanabilir. Bu alternatiflerden ilki tuz ilavesidir. Tuz ilavesi ile iletkenlik değeri arttırılabilir ve katolitin içerisine anyon olan Cl<sup>-</sup> girişi ve anolitin içerisinde de katyon olan Na<sup>+</sup> girişi sağlanmış olur. Anolitin bipolar membran ve anyon seçici membranların arasında oluşu katyonun çıkışına izin vermezken benzer şekilde katolitin etrafında bulunan bipolar membran ve katyon seçici membranda Cl<sup>-</sup> geçişine izin vermeyecektir. Bu açıdan bakıldığında anolit ve katolit çıkışında safsızlıklar (Anolitte Na<sup>+</sup>, Katolitte Cl<sup>-</sup>) bulunacaktır. Bir diğer yöntem ise HCl ile anolitin, NaOH ile katolitin iletkenlik açısından belli seviyelere (>2 mS/cm) getirilmesidir. Bu durumda safsızlık ile ilgili bir sorun oluşmazken çıkış suyunda elde

edilmesi amaçlanan pH değerinin bir kısmı önceden sağlanmış olacaktır. Bu iki durum avantaj ve dezavantajları ile değerlendirildiğinde ikinci durumun daha olumlu sonuçlar vereceği, uygulama içinde asidik solüsyonun elde edilmiş olacağı ve bunun için ek bir maliyet oluşmayacağı sonucuna varılmıştır. Elektrolit içinde elektrotların yüzeyinde olası birikmelerin önlenmesi için asidik olmasının daha iyi olduğu bilinmektedir. Bu amaçla bu çözeltiler Çizelge 5.5’de verildiği şekilde seçilmiştir.

Çizelge 5.5 Anolit, Katolit ve Elektrolit sıvıları

Çözelti Türü	İçerik
Anolit	0,01 M HCl
Katolit	0,01M NaOH
Elektrolit	0,01 M HCl

### 5.3.2 Çalışma Seti Tayini

Tüm bu işletme şartları dikkate alındığında 3 farklı sızıntı suyu için 4 farklı elektriksel gerilim (10V, 15V, 20V, 25V) ve 4 farklı membran seti (1 Bipolar Membran(BM) içeren, 2 BM içeren, 3 BM içeren ve 4 BM içeren) uygulaması planlanmıştır. Bu çalışmaların süreleri de 6 saat veya atıksuyun 2mS/cm’ye ulaşma süresi olarak seçilmiştir. Tüm bu değerlerin detaylı gösterimi Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Optimizasyon çalışmalarına ilişkin çalışma seti

Çalışma No	Atıksu Türü	Elektriksel Gerilim	Bipolar Membran Sayısı
1	Genç Sızıntı Suyu	10 V	1
2	Genç Sızıntı Suyu	15 V	1
3	Genç Sızıntı Suyu	20 V	1
4	Genç Sızıntı Suyu	25 V	1
5	Genç Sızıntı Suyu	10 V	2
6	Genç Sızıntı Suyu	15 V	2
7	Genç Sızıntı Suyu	20 V	2
8	Genç Sızıntı Suyu	25 V	2
9	Genç Sızıntı Suyu	10 V	3
10	Genç Sızıntı Suyu	15 V	3
11	Genç Sızıntı Suyu	20 V	3
12	Genç Sızıntı Suyu	25 V	3
13	Genç Sızıntı Suyu	10 V	4
14	Genç Sızıntı Suyu	15 V	4
15	Genç Sızıntı Suyu	20 V	4
16	Genç Sızıntı Suyu	25 V	4

Çizelge 5.6 Optimizasyon çalışmalarına ilişkin çalışma seti (Devamı)

Çalışma No	Atıksu Türü	Elektriksel Gerilim	Bipolar Membran Sayısı
17	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	1
18	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	1
19	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	1
20	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	1
21	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	2
22	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	2
23	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	2
24	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	2
25	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	3
26	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	3
27	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	3
28	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	3
29	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	4
30	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	4
31	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	4
32	Orta Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	4
33	Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	1
34	Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	1
35	Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	1
36	Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	1
37	Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	2
38	Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	2
39	Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	2
40	Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	2
41	Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	3
42	Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	3
43	Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	3
44	Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	3
45	Yaşlı Sızıntı Suyu	10 V	4
46	Yaşlı Sızıntı Suyu	15 V	4
47	Yaşlı Sızıntı Suyu	20 V	4
48	Yaşlı Sızıntı Suyu	25 V	4

Bu çalışma setinde yer alan 17-32 arası çalışmaları bu raporda tamamlanmış diğer 1-16 ve 33-48 arası çalışmalar ise devam etmektedir. Bir sonraki rapor döneminde her 3 sızıntı suyuna ilişkin optimizasyon çalışmaları verilecektir.

### 5.3.3 Genç Sızıntı Sularının Elektrodializ Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi

Genç sızıntı suları orta yaşlı ve yaşlı sızıntı sularına oranla kısmen daha kolay ayrışabilirken, aynı zamanda daha yüksek oranda kirletici içeriğine sahiptir. ED prosesi için bakıldığında da iyonik türler açısından oldukça zengin olduğu görülmektedir. İyonik türlerin tümünü temsil eden iletkenlik parametresine bakıldığında oldukça yüksek bir değer olan 22,5 mS/cm değeriyle karşılaşılmaktadır. Çizelge 5.7’de verilen çalışma planı ile çalışmalar sürdürülmüştür.

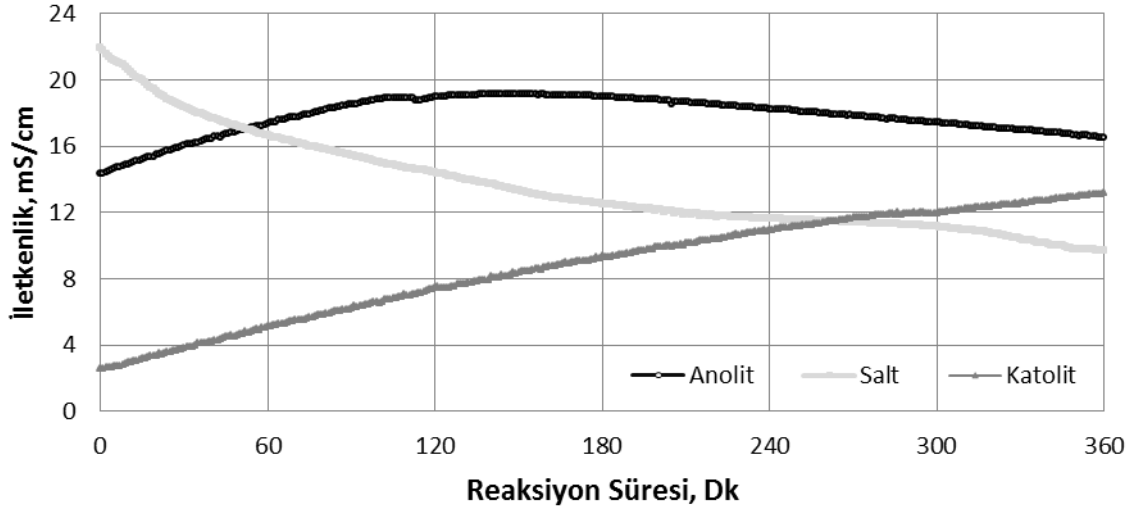
Çizelge 5.7 Genç sızıntı suları için yapılan optimizasyon çalışmalarına ilişkin çalışma seti

Çalışma No	Atıksu Türü	Elektriksel Gerilim	Bipolar Membran Sayısı
1	Genç Sızıntı Suyu	10 V	1
2	Genç Sızıntı Suyu	15 V	1
3	Genç Sızıntı Suyu	20 V	1
4	Genç Sızıntı Suyu	25 V	1
5	Genç Sızıntı Suyu	10 V	2
6	Genç Sızıntı Suyu	15 V	2
7	Genç Sızıntı Suyu	20 V	2
8	Genç Sızıntı Suyu	25 V	2
9	Genç Sızıntı Suyu	10 V	3
10	Genç Sızıntı Suyu	15 V	3
11	Genç Sızıntı Suyu	20 V	3
12	Genç Sızıntı Suyu	25 V	3
13	Genç Sızıntı Suyu	10 V	4
14	Genç Sızıntı Suyu	15 V	4
15	Genç Sızıntı Suyu	20 V	4
16	Genç Sızıntı Suyu	25 V	4

Yapılan çalışmalarda online değişimler sırasıyla atıksuda iletkenlik, pH ve sıcaklık değişimi olarak verilmiştir. Ayrıca anolit ve katolitte de benzer değişimlere yer verilmiştir. Yalnız anolit ve katolit için pH değeri yerine H iyonları ve OH iyonları derişimine yer verilmiştir. Sırasıyla değişimlerle ilgili grafikler her bir çalışma için aşağıda verilmiştir.

#### 5.3.3.1 1. Çalışma (1 Membran, 10 V)

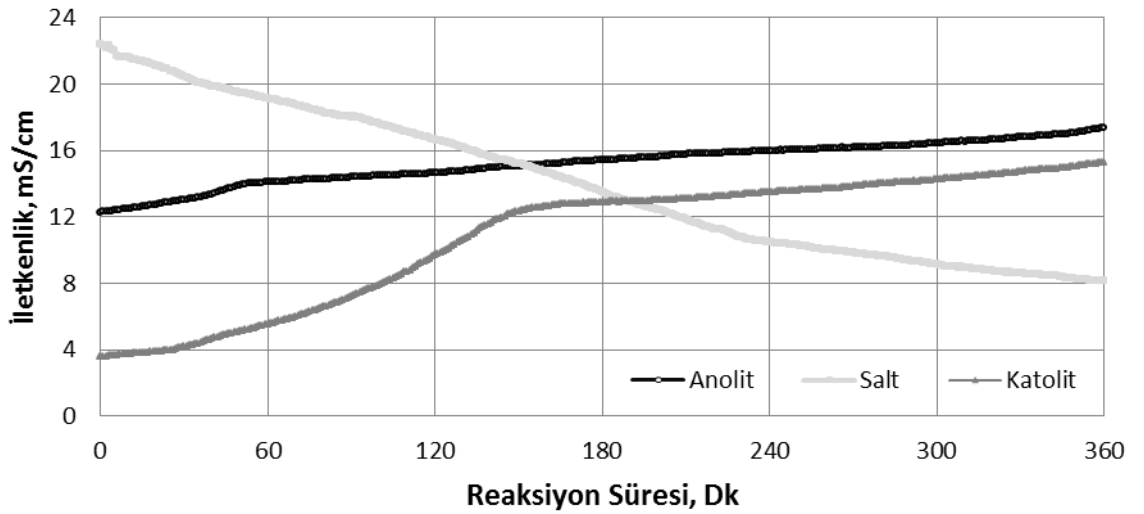
Yapılan çalışmalarda beklenildiği gibi anolit ve katolitte iletkenlik artışı, atıksuda ise iletkenlik düşüşü gözlenmiştir.



Şekil 5.44 Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Diluat kısmında yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere atıksuyun iletkenlik değeri azalmıştır. Başta 22 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 10 mS/cm değerine düşürülebilmıştır. Anolit kısmında yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 14 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 17 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolit kısmında yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 3 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 12 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.2 2. Çalışma (1 Membran, 15 V)

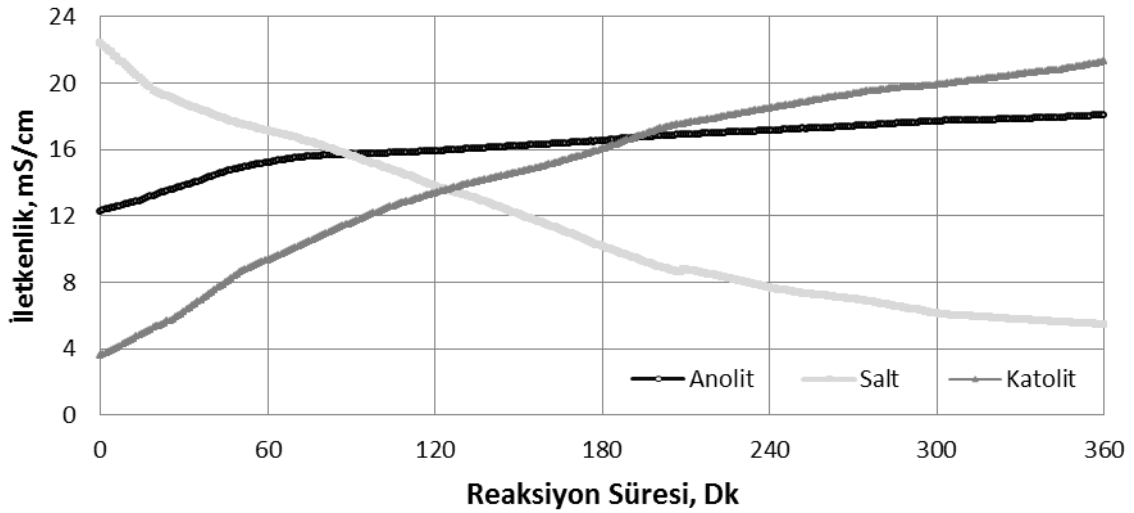


Şekil 5.45 Genç sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Çalışma sonucunda atıksuyun iletkenlik değeri 22 mS/cm değerinden 8 mS/cm değerine düşüş göstermiştir. Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 12 mS/cm değerinden 18 mS/cm değerine yükselmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 3,5 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 15 mS/cm değerine yükselmiştir.

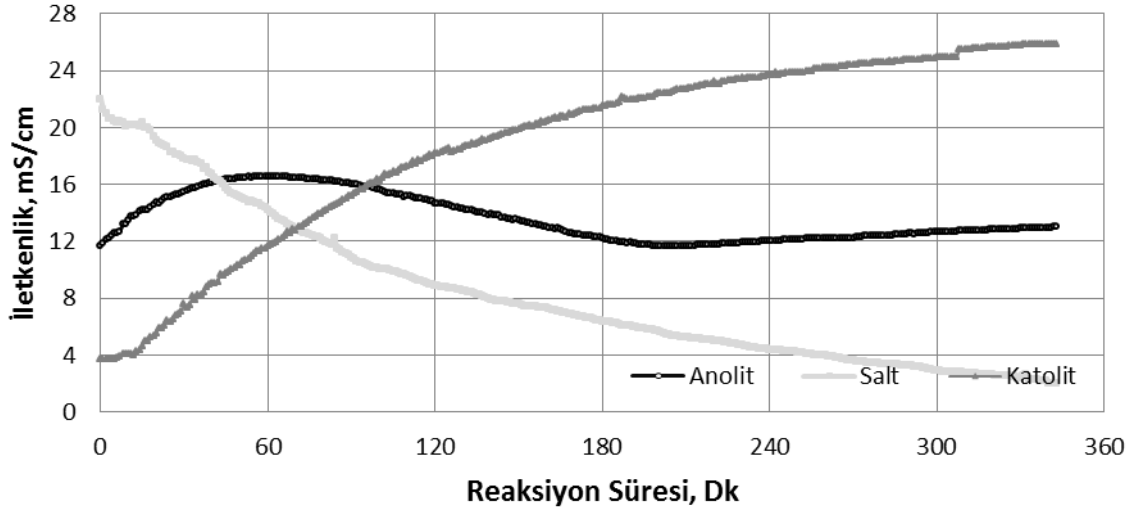
### 5.3.3.3 3. Çalışma (1 Membran, 20 V)



Şekil 5.46 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 6 mS/cm değerine indirilebilmiştir. Anolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 12,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 17,5 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 4 mS/cm olan iletkenlik değeri 21 mS/cm değerine yükselmiştir.

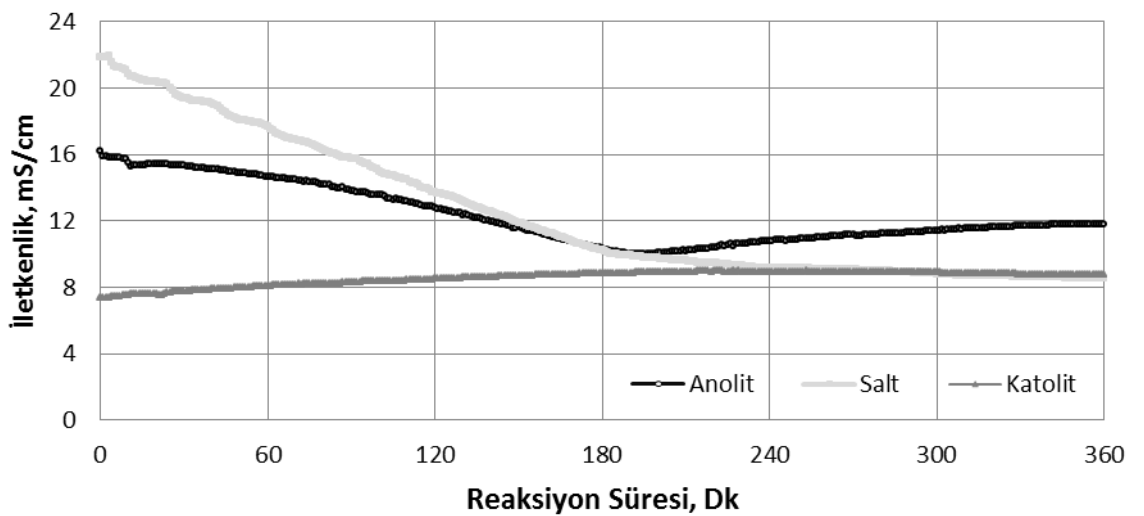
#### 5.3.3.4 4. Çalışma (1Membran, 25V)



Şekil 5.47 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksudaki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 2 mS/cm değerine düşürülebilmiştir. Anolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 11 mS/cm olan iletkenlik değeri 13 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 4 mS/cm olan iletkenlik değeri 26 mS/cm değerine yükselmiştir.

#### 5.3.3.5 5. Çalışma (2 Membran, 10V)

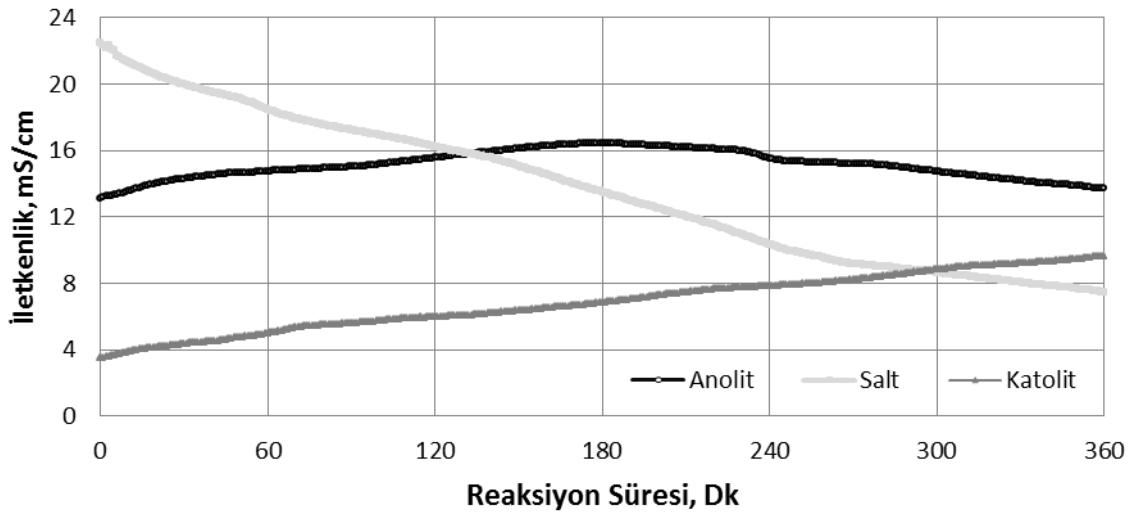


Şekil 5.48 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 8 mS/cm değerine kadar düşürülebilmştir. Anolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 16 mS/cm olan iletkenlik değeri 11,5 mS/cm değerine kadar düşmüştür.

Katolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin arttığını görüyoruz. Başta 7,3 mS/cm olan iletkenlik değeri 8,9 mS/cm değerine kadar yükselmiştir.

### 5.3.3.66. Çalışma (2 Membran, 15 V)



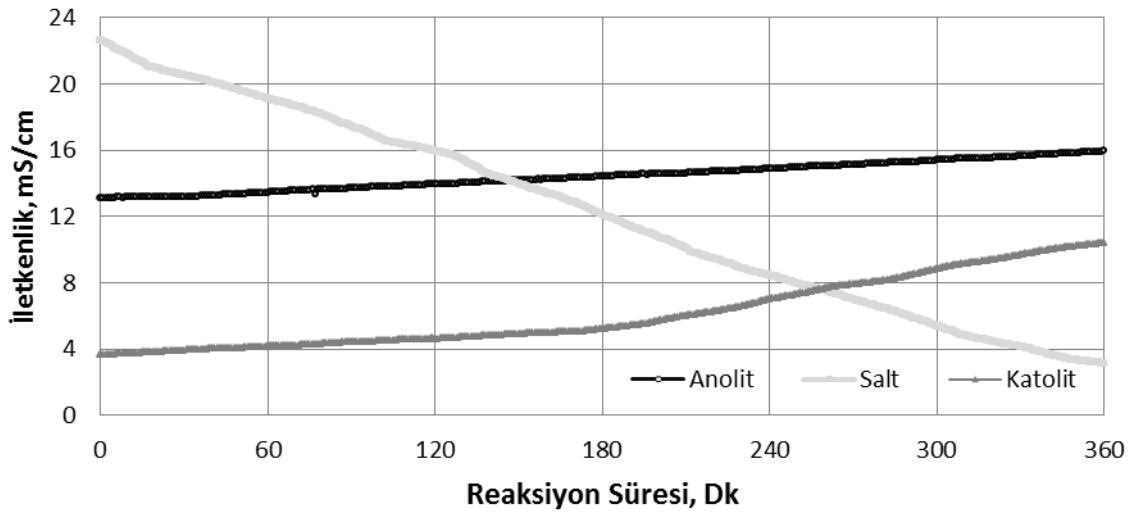
Şekil 5.49 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere atıksuyun iletkenlik değeri azalmıştır. Başta 22 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 8 mS/cm değerine düşürülebilmştir. Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 13 mS/cm değerinden 14 mS/cm değerine yükselmiştir.

Katolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 3,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 9,6 mS/cm değerine yükselmiştir.



### 5.3.3.77. Çalışma (2 Membran, 20 V)

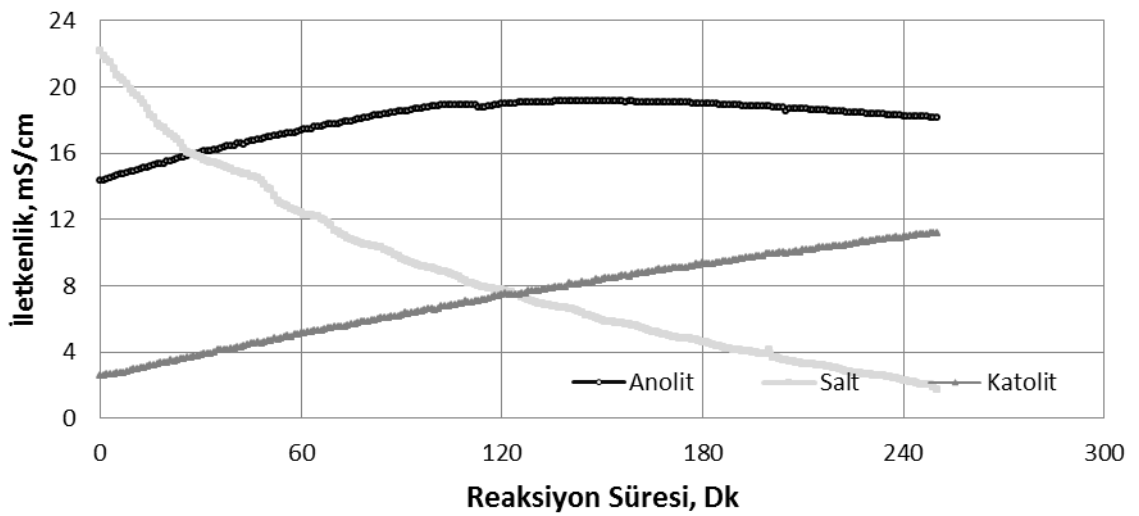


Şekil 5.50 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Çalışma sonucunda atıksuyun iletkenlik değeri 22 mS/cm değerinden 3 mS/cm değerine düşürülebilmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 13 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 16 mS/cm değerine yükselmiştir.

Çalışma sonucunda katolitin iletkenlik değeri 4 mS/cm değerinden 10,5 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.8 8. Çalışma (2 Membran, 25 V)

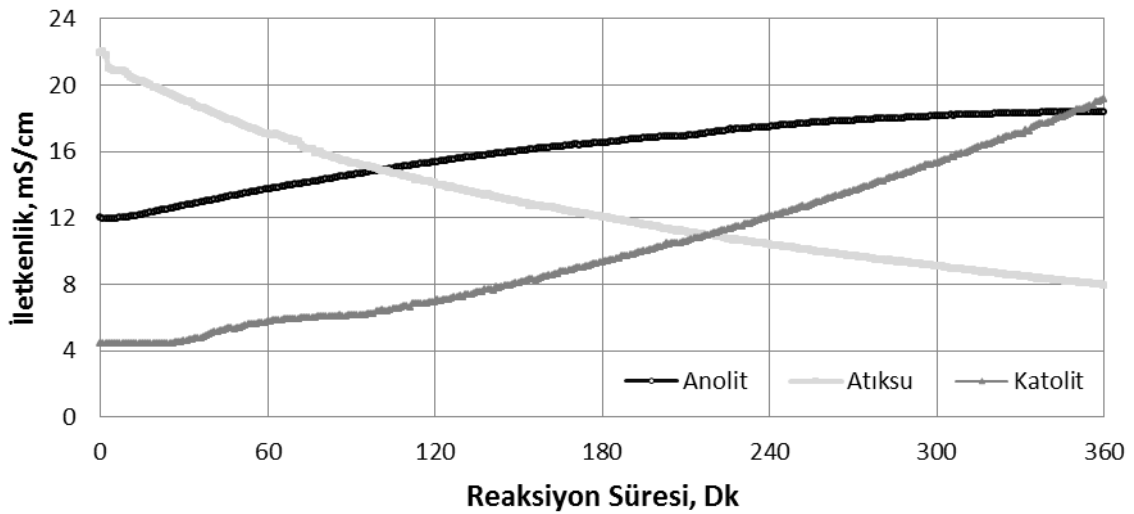


Şekil 5.51 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 2 mS/cm değerine indirilebilmiştir. Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 14 mS/cm değerinden 18 mS/cm değerine yükselmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 2,5 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 11 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.99. Çalışma (3 Membran, 10 V)

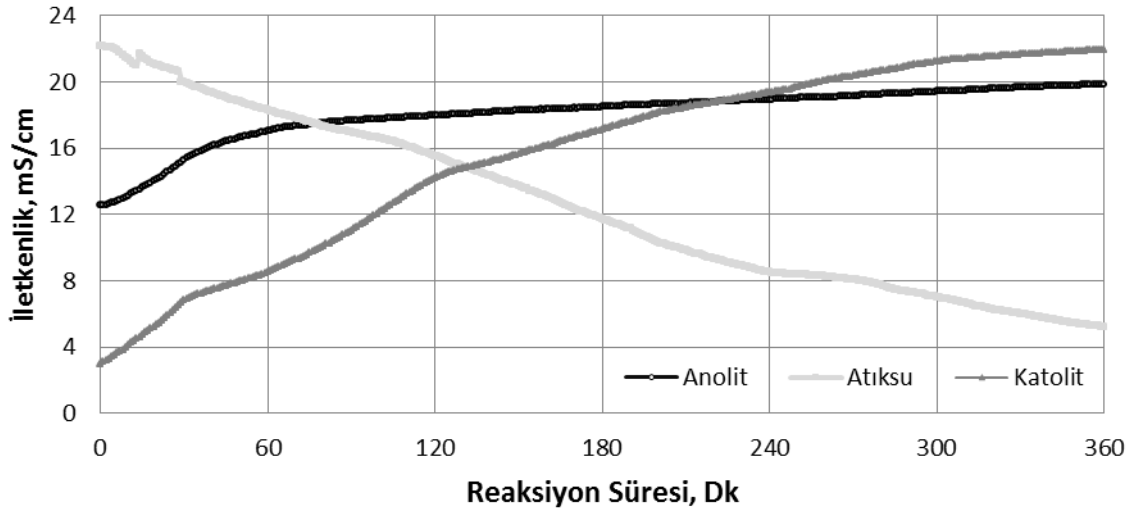


Şekil 5.52 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksudaki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 8 mS/cm değerine düşürülebilmştir.

Anolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin arttığını görüyoruz. Başta 12 mS/cm olan iletkenlik değeri 18 mS/cm değerine kadar yükselmiştir. Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 4 mS/cm olan iletkenlik değeri 19 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.10 10. Çalışma (3 Membran, 15 V)

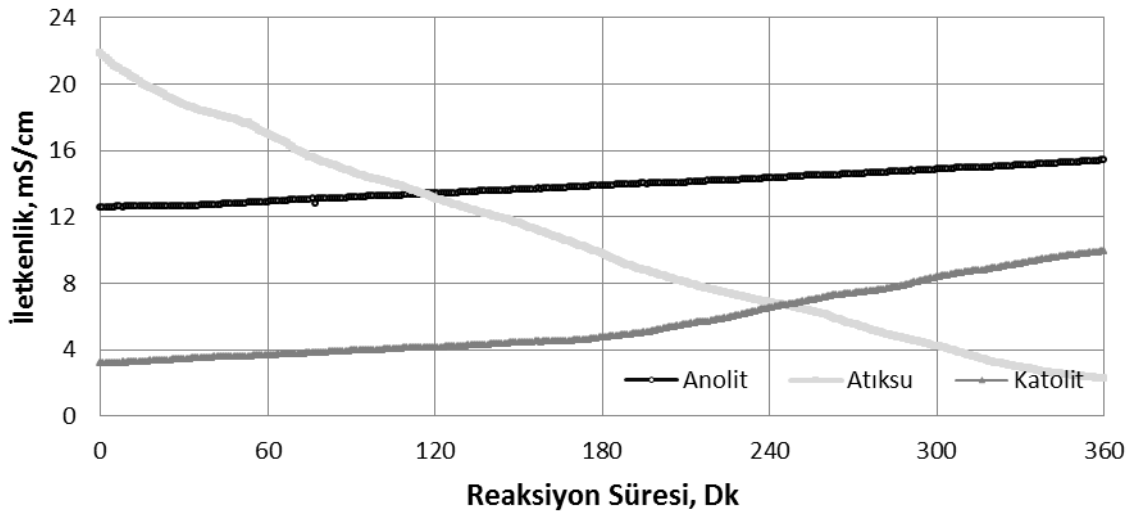


Şekil 5.53 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 22,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 5 mS/cm değerine kadar düşürülebilmektedir.

Anolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 12,4 mS/cm olan iletkenlik değeri 20 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 3 mS/cm olan iletkenlik değeri 22 mS/cm değerine kadar yükselmiştir.

### 5.3.3.11 11. Çalışma (3 Membran, 20V)



Şekil 5.54 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 2 mS/cm değerine kadar düşürülebilmştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 12,2 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 15,8 mS/cm değerine yükselmiştir.

Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 3,3 mS/cm olan iletkenlik değeri 10 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.12 12. Çalışma (3 Membran, 25 V)

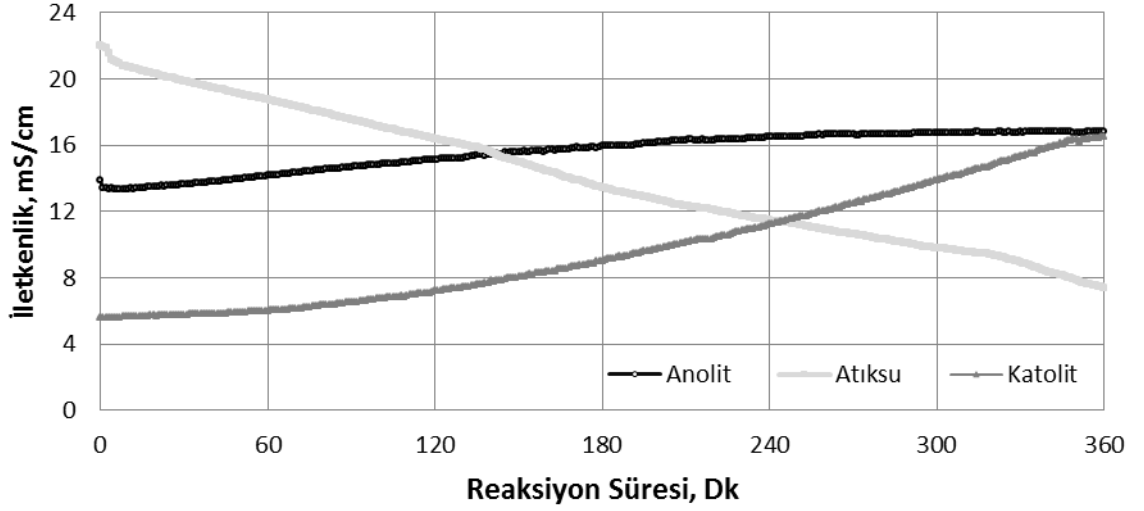


Şekil 5.55 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksudaki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 1,9 mS/cm değerine düşürülebilmştir.

Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 8 mS/cm değerinden 23 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 2,6 mS/cm olan iletkenlik değeri 33,1 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.13 13. Çalışma (4 Membran, 10V)



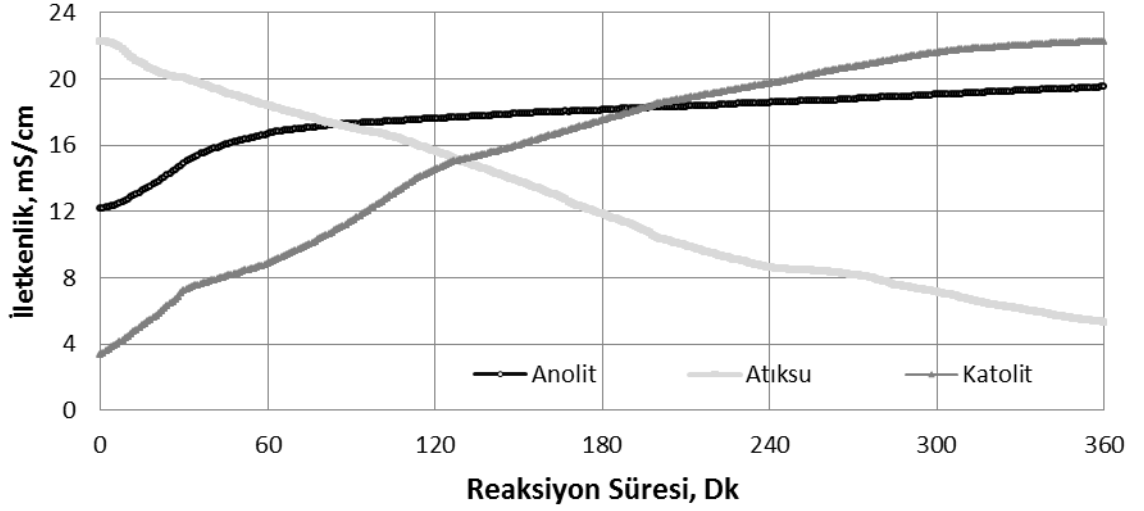
Şekil 5.56 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 22 mS/cm olan iletkenlik değeri 5,8 mS/cm değerine indirilebilmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 13,2 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 16,9 mS/cm değerine yükselmiştir.

Katolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin arttığını görüyoruz. Başta 5,9 mS/cm olan iletkenlik değeri 16,2 mS/cm değerine kadar yükselmiştir.

#### 5.3.3.14 14. Çalışma (4 Membran, 15V)



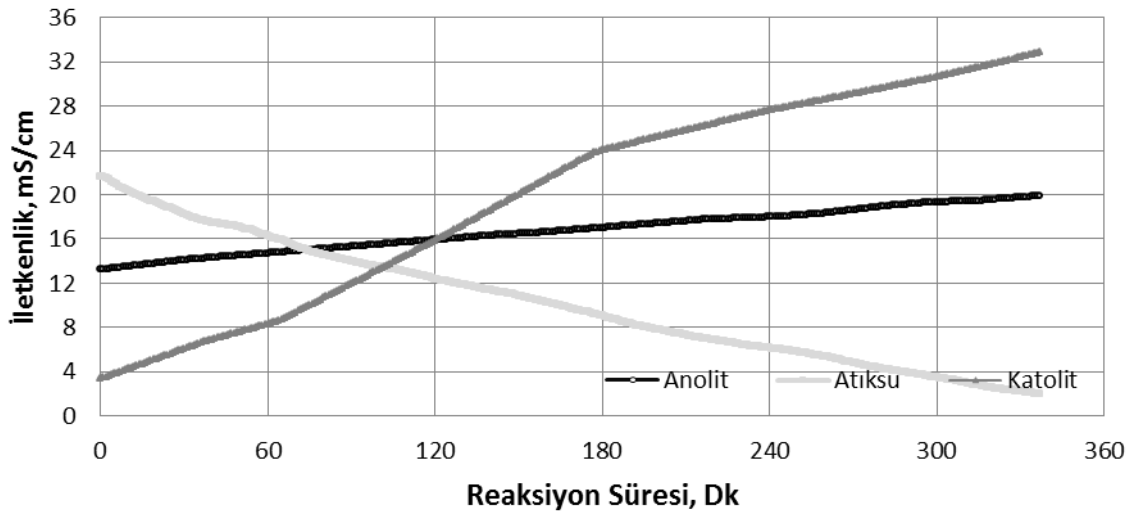
Şekil 5.57 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Çalışma sonucunda atıksuyun iletkenlik değeri 22 mS/cm değerinden 5,9 mS/cm değerine düşüş göstermiştir.

Anolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 12 mS/cm olan iletkenlik değeri 19,6 mS/cm değerine yükselmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 3,9 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 22 mS/cm değerine yükselmiştir.

#### 5.3.3.15 15. Çalışma (4 Membran – 20V)



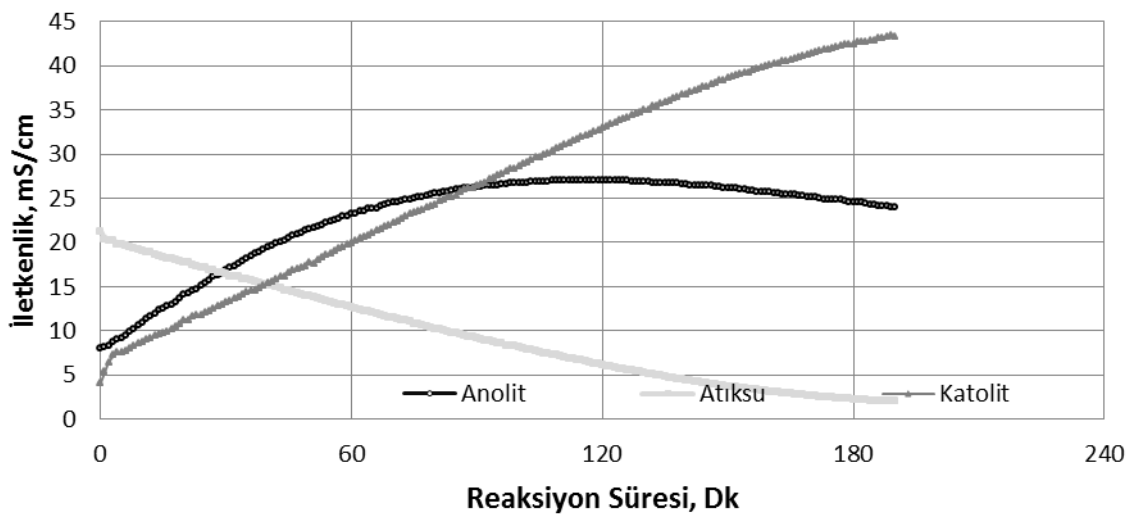
Şekil 5.58 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere atıksuyun iletkenlik değeri azalmıştır. Başta 22 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 2 mS/cm değerine düşürülebilmektedir.

Anolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 13,1 mS/cm olan iletkenlik değeri 20 mS/cm değerine yükselmiştir.

Çalışma sonucunda katolitin iletkenlik değeri 4,3 mS/cm değerinden 33,1 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.3.16 16. Çalışma (4 Membran, 25V)



Şekil 5.59 Genç sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Çalışma sonucunda atıksuyun iletkenlik değeri 21,2 mS/cm değerinden 2,1 mS/cm değerine düşüş göstermiştir.

Anolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 7,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 24,3 mS/cm değerine kadar yükselmiştir.

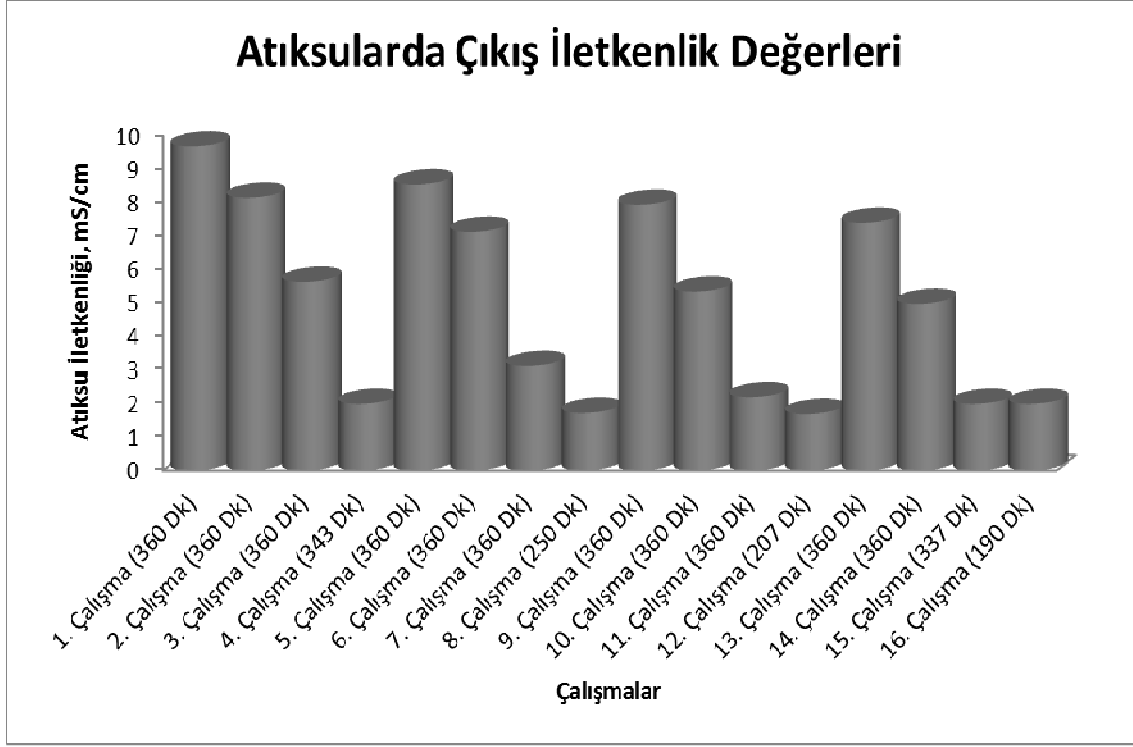
Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 5 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 44 mS/cm değerine yükselmiştir.

### **5.3.3.17 Genç Sızıntı Sularının Elektrodializ Prosesiyle Arıtılabilirliğine İlişkin Genel Değerlendirme**

Genç sızıntı suları ile yapılan elektrodializ prosesiyle kirletici parametre giderim çalışmalarına genel olarak dikkat edildiğinde önemli sonuçlar görülmektedir. Çalışma boyunca elektrodializ prosesi giderim mekanizmasına göre etkin giderilecek parametreler olan iyonları temsil edecek iletkenlik parametresi online olarak takip edilmiş her dakika ölçüm sonuçları alınmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında arıtım hızının genel itibariyle süreklilik arzettiği görülmekle birlikte özellikle çalışmanın son aşamalarında arıtım hızında bir düşüş görülmektedir. Bunun nedeni, zamanla atıksu alanındaki iletkenliğin azalması ve azalan kısımdaki elektrolitik aktivitenin de düşmesi olarak özetlenebilir. Nitekim bu değerler çalışma boyunca yapılan akım değişimlerinden rahatlıkla görülebilmektedir. Ayrıca zamanla oluşan tıkanma nedeniyle de akılar düşmekte, buna paralel direnç artışı oluşup elektrolitik aktivite azalmaktadır. Bu da arıtım verimindeki düşüş olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle iletkenlik düşüşünün neden olduğu bu hız düşüşü için 2mS/cm'lik belirlenen final değerine ulaşıldığında çalışmalar sonlandırılmıştır.

Farklı çalışmalara ilişkin sonuçların harmanlandığı bir şekil genel hatlarıyla daha iyi bir sonuç verebilir. Bu nedenle aşağıdaki şekilde genel hatlarıyla çalışma özetlenmiştir.

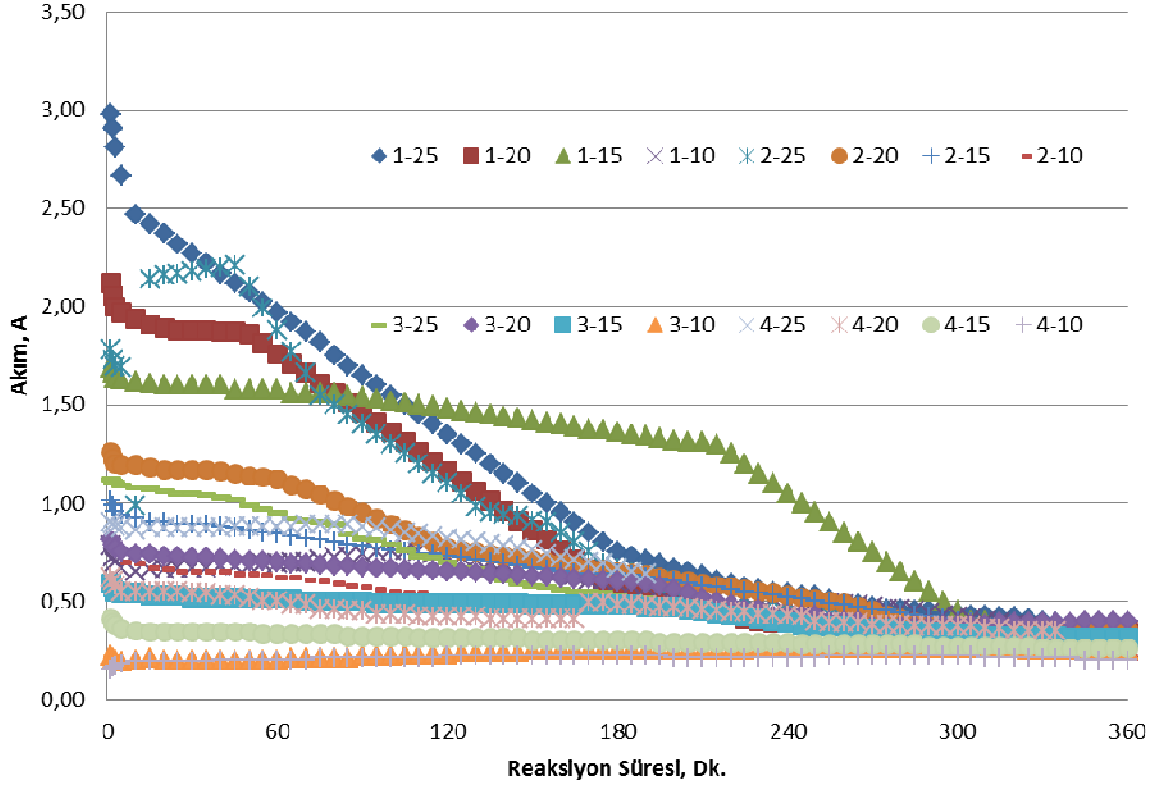




Şekil 5.60 Genç sızıntı sularının ED prosesiyle iletkenlik değişimleri

Çalışmadan da görüleceği üzere 4'er çalışmada iletkenlik değerleri yükselmektedir. Bunun nedeni, sırasıyla 10, 15, 20 ve 25 V'luk çalışmaların verilmesidir. Elektriksel gerilim kuvveti arttıkça verimin arttığı rahatlıkla görülebilmektedir. Membran sayısı ile ilgili ise orta yaşlı sızıntı sularına oranla farklı bir gidişat görülmektedir. Orta yaşlı sızıntı sularında azalan membran sayısı ile verim artışı sağlanırken, genç sızıntı suyunda bu tam tersi bir hal almıştır. Bunun nedeni olarak da yüksek iyonik türlerin tek membranlı yapı yüzeyinde yoğun kirlilikler oluşturarak etkinliğini kaybetmesine neden olmasından kaynaklandığı görülmüştür. Başlangıçta yüksek giderim verimi sağlansa da çabuk tıkanmasıyla direnç artışı ve akım düşüşü paralellik göstermiş ve 1 membranlı çalışmaların etkinliğini düşürmüştür. Orta yaşlı sızıntı sularının iyonik içeriği genç sızıntı sularına oranla çok daha düşük seviyede kalması bu farklılığı doğurmaktadır.

Çalışma boyunca her iki işletme şartı için de en etkin sonuç akımdır. Aşağıdaki şekilde genç sızıntı suları içi akım değişimleri verilmektedir.



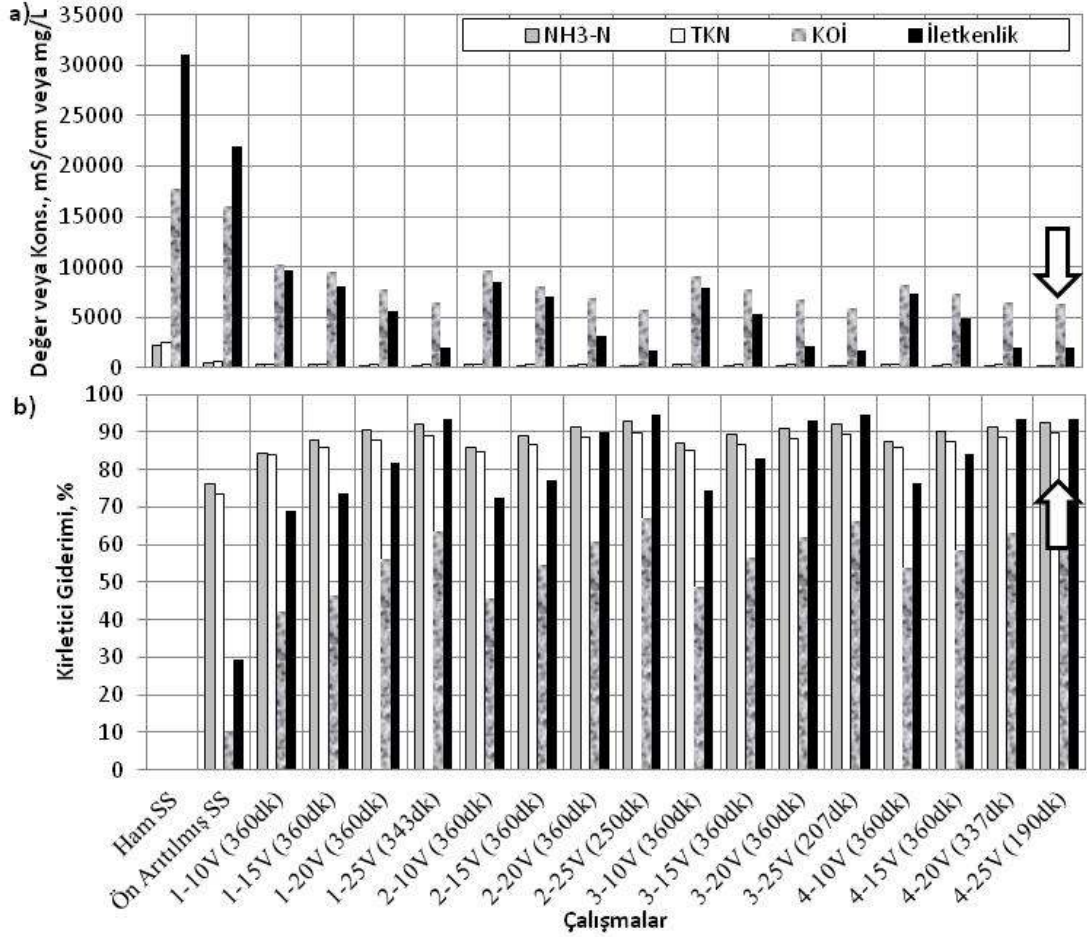
Şekil 5.61 Genç sızıntı sularının ED prosesi esnasında akım değişimleri

Akım değeri direkt olarak ED prosesi içerisindeki iyon taşınımını sağlamaktadır. O halde bu proseste akımı arttıracak her türlü işlem olumlu, azaltacak her türlü işlem ise olumsuz olarak düşünülebilir. Nitekim artan elektriksel gerilim değerleri ile akımın arttığı Şekil 5.61'den de açıkça görülmektedir. Ayrıca arıtım süresi boyunca membran yüzeyindeki kirleticilerin de direncinin arttırmasıyla akımın düştüğü yine Şekil 5.61'de açıkça görülmektedir.

Genç sızıntı suyu içerdiği yüksek iletkenlik değeri nedeniyle arıtım süresi uzamış, uzayan arıtım süresine paralel olarak yüzey alanı az olan membranlarda tıkanma oluşumu da artmıştır. 3 ya da 4 membranlı sistemlerde ise membran yüzey alanı daha fazla olması nedeniyle tıkanmalar daha az boyutta gerçekleşmiş bu nedenle olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 4 membranlı ve 25V'lu çalışma en optimum sonuca sahiptir. Bu sayede 21,27mS/cm'lik genç sızıntı suyu 3 saatlik bir süre sonunda 2,00 mS/cm seviyesine kadar getirilebilmiştir. Bu şekilde arıtımı en zor parametrelerden olan iyonların %90'undan fazlasının giderimi sağlanabilmektedir. Benzer sonuçlar 3 Membran 25 V, 4 Membran 20V gibi çalışmalarda da elde edilmesine karşın

süre bazında en kısa sonuç bu çalışmada elde edilebildiği için optimum sonuç olarak bu kabul edilmiştir.

Ayrıca genç sızıntı suyunun elektrodializ prosesiyle arıtımı sonrasında elde edilen giderim verimleri de Şekil 5.62 a ve 5.62 b de verilmektedir.



Şekil 5.62 Genç sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliği ve temel kirletici parametrelerin değişimi

Şekil 5.62 incelendiğinde genç sızıntı sularından temel kirletici parametrelerin elektrodializ prosesiyle etkin bir biçimde giderilebildiği görülmektedir. Özellikle 25 V'luk çalışmalarda daha yoğun bir giderim verimi elde edildiği ortadadır. Ayrıca her ne kadar 2-25V, 3-25V ve 4-25 V'luk çalışmalarda birbirine çok yakın verimler ve giderimler görülse de artan membran sayısına paralel olarak reaksiyon süresini de kıaldığı görülmektedir. Bunun nedeni de artan membran sayısı ile birlikte atıksuyun geçtiği alan artmakta ve tıkanma mekanizmasının daha uzun sürmesidir. Tıkanmayan membranlarda da direnç oluşmadığı için akım değeri daha yüksek seviyelerde kalmaktadır. Nitekim Şekil 5.61'de de bu sonuç açıkça görülmektedir.

### 5.3.4 Orta Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodializ Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi

Orta yaşlı sızıntı sularının arıtımına ilişkin yapılan çalışmalarda farklı işletme şartlarının etkileri belirlenmiş ve belli şartlar dahilinde çıkış suyu istenilen seviye olan 2mS/cm seviyesine düşürülmüştür. Bu aşamada yapılan çalışmalara ilişkin sonuçlar tek tek verilecektir. Daha sonra çalışmalar gruplandırılarak farklı işletme şartlarının etkileri incelenecektir. Son olarak optimum işletme şartı belirlenerek bu şartlara ilişkin çalışma detaylı olarak incelenecektir. Optimizasyon süresince orta yaşlı sızıntı suları için yapılmış çalışmalara ilişkin çalışma seti aşağıda verildiği gibidir.

Çizelge 5.8 Genç sızıntı suları için yapılan optimizasyon çalışmalarına ilişkin çalışma seti

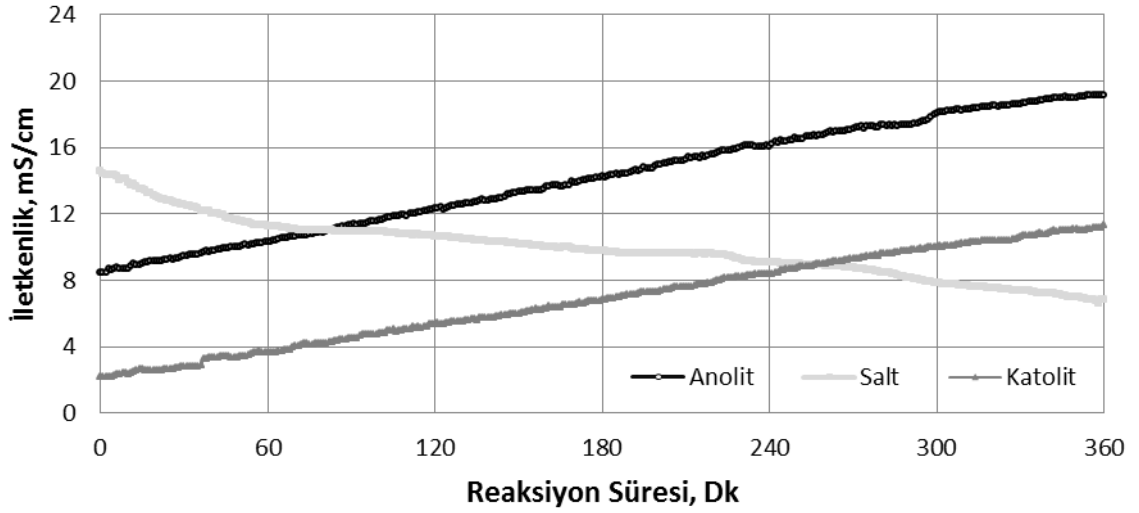
Çalışma No	Atıksu Türü	Elektriksel Gerilim	Bipolar Membran Sayısı
1	Genç Sızıntı Suyu	10 V	1
2	Genç Sızıntı Suyu	15 V	1
3	Genç Sızıntı Suyu	20 V	1
4	Genç Sızıntı Suyu	25 V	1
5	Genç Sızıntı Suyu	10 V	2
6	Genç Sızıntı Suyu	15 V	2
7	Genç Sızıntı Suyu	20 V	2
8	Genç Sızıntı Suyu	25 V	2
9	Genç Sızıntı Suyu	10 V	3
10	Genç Sızıntı Suyu	15 V	3
11	Genç Sızıntı Suyu	20 V	3
12	Genç Sızıntı Suyu	25 V	3
13	Genç Sızıntı Suyu	10 V	4
14	Genç Sızıntı Suyu	15 V	4
15	Genç Sızıntı Suyu	20 V	4
16	Genç Sızıntı Suyu	25 V	4

Yapılan çalışmalarda online değişimler sırasıyla atıksuda iletkenlik, pH ve sıcaklık değişimi olarak verilmiştir. Ayrıca anolit ve katolitte de benzer değişimlere yer verilmiştir. Yalnız anolit ve katolit için pH değeri yerine H iyonları ve OH iyonları derişimine yer verilmiştir. Sırasıyla değişimlerle ilgili grafikler her bir çalışma için ayrı ayrı olmak üzere aşağıda verilmiştir.

#### 5.3.4.1 (1 Membran, 10V)

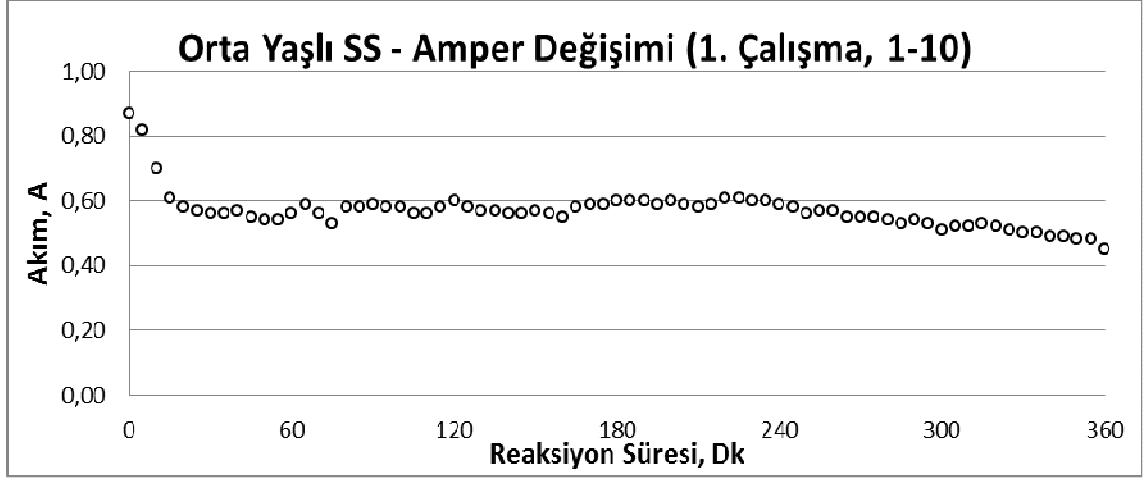
Bu çalışmada 1 Membran seti (2 Katyon Seçici, 1 Anyon Seçici ve 1 Bipolar membran) ve 10 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.

1. çalışma membran sayısının en az olduğu (2 CEM, 1 AEM ve 1 BM) ve yalnızca 10V'luk bir elektriksel gerilimin uygulandığı çalışmadır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.63 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde elektrodiyalizin temel mekanizmasının işlediği yalnız yeterli olamadığı görülmüştür. Nitekim 14,5mS/cm mertebelerindeki atıksu 360 dakikalık elektrodiyaliz prosesi sonrasında 7mS/cm seviyelerinin altına indirgenmiştir. Anolitte elde edilen sonuçta beklenildiği üzere iletkenliğin anyon geçişleriyle süreye bağlı olarak artması ve paralel olarak da sıcaklığın yükselmesi şeklindedir. Nitekim elde edilen sonuçlarda bu mantığı doğrular niteliktedir. Katolit ile ilgili şekillerde de anolitte olduğu gibi iletkenlik ve sıcaklık değerini giderek arttırdığı görülmektedir.

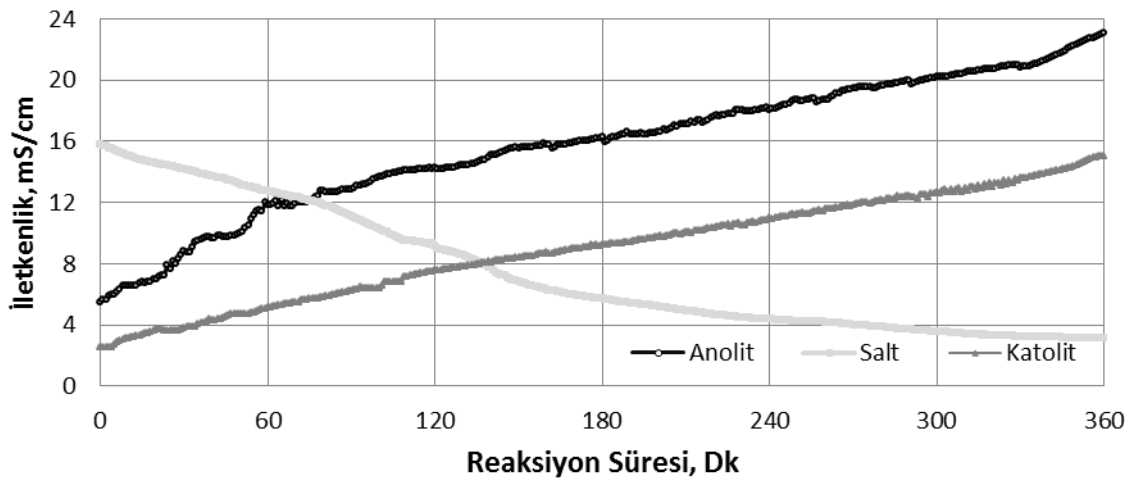


Şekil 5.64 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi Çalışma boyunca amper değişimi ise giderek azalış göstermektedir. Bunun temel nedeni tek membranlı çalışıldığı için membranların daha çabuk kirlenmesi ve kirlenmiş membranlar yoluyla direncin artmasıdır. Nitekim başlangıç Amper değeri 0,87 iken bu değer çalışma sonunda neredeyse yarısı sayılabilecek bir rakam olan 0,45A değerine düşmüştür. Bu açıdan her bir çalışma sonrası membranların fiziksel olarak temizlenmesi gerekmektedir.

#### 5.3.4.2.2. Çalışma (1 Membran, 15 V)

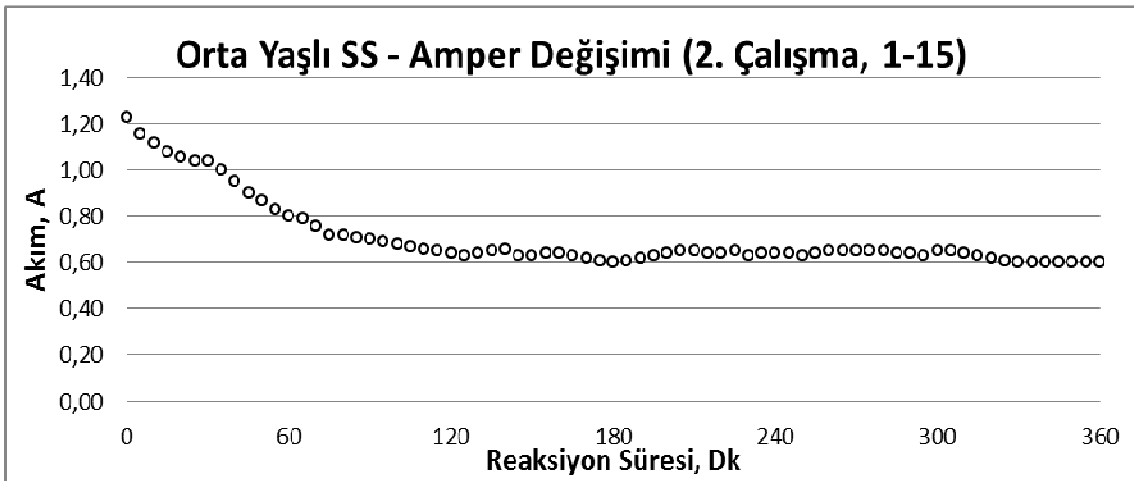
Bu çalışmada 1 Membran seti (2 Katyon Seçici, 1 Anyon Seçici ve 1 Bipolar membran) ve 15 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.

Bu çalışmada ilk çalışmaya oranla elektriksel gerilim değeri biraz arttırılırken membran seti temizlenerek tekrar aynı şekilde kullanılmıştır.



Şekil 5.65 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

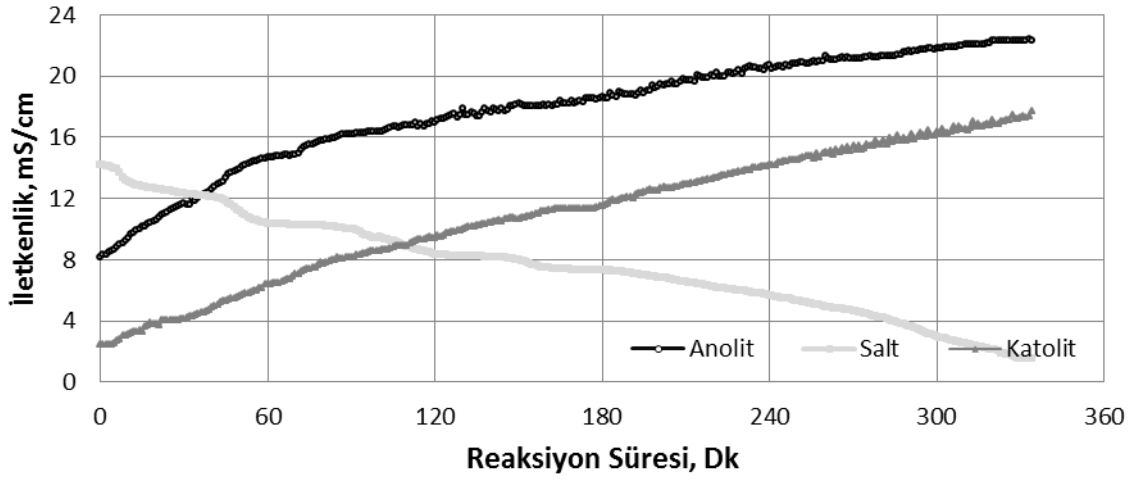
Atıksu ile ilgili çalışma sonuçlarına bakıldığında 10V'luk çalışmaya oranla daha yüksek giderimlerle karşılaşılmıştır. 10V'luk çalışmada 360 dakika sonrasında yaklaşık 6,83mS/cm değerine ulaşılırken bu çalışmada çıkış suyu iletkenlik değeri 3,39mS/cm seviyelerine kadar indirgenebilmiştir. Anolit sıvısıyla ilgili değerlerde de bir önceki çalışmaya oranla paralellik göstermektedir. Katolit ile ilgili değerler de yine bir artış görülmektedir. Katyon geçişleri ile iletkenlik artarken, bu geçişler vasıtasıyla artışlar görülmektedir.



Şekil 5.66 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi A değişimi de yine beklenildiği gibi kirlenmiş membranlar nedeniyle biraz düşüş göstermektedir. Bu sefer de 1,23A ile başlanırken çalışma sonunda amper değeri 0,60 A kadar düşmüştür.

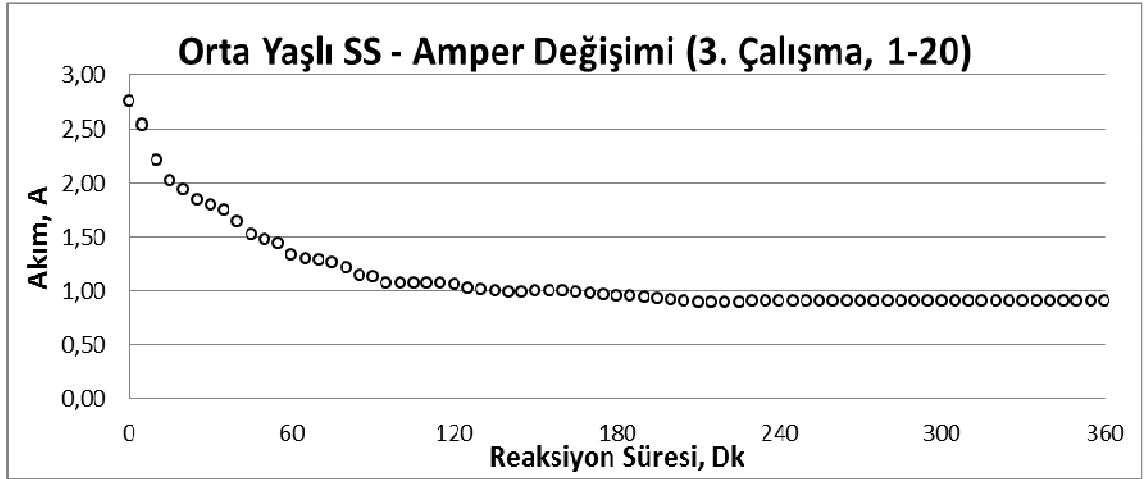
#### 5.3.4.3.3. Çalışma (1 Membran, 20 V)

Bu çalışmada 1 Membran seti (2 Katyon Seçici, 1 Anyon Seçici ve 1 Bipolar membran) ve 20V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.67 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

20V ile yapılan çalışmada 323 dakikada çıkış suyu iletkenliği 2mS/cm seviyelerine kadar düşürülmüştür. 334 dakika sonunda ise bu değer 1,5mS/cm seviyelerine indirgenebilmiştir. Bu gidişat devam edildiği takdirde iletkenlik değerinin çok daha düşebileceğini göstermiştir. Anolit değerleri bir önceki çalışmalara oranla daha yüksek artışlar sergilemiştir. Anolit sıvısının çıkış iletkenlik değeri 22mS/cm seviyesini aşmıştır. Katolit sıvısı ile ilgili verilerde bir önceki katolit değerleri ile benzerlik göstermektedir ve 18mS/cm seviyelerine ulaşmıştır.



Şekil 5.68 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi

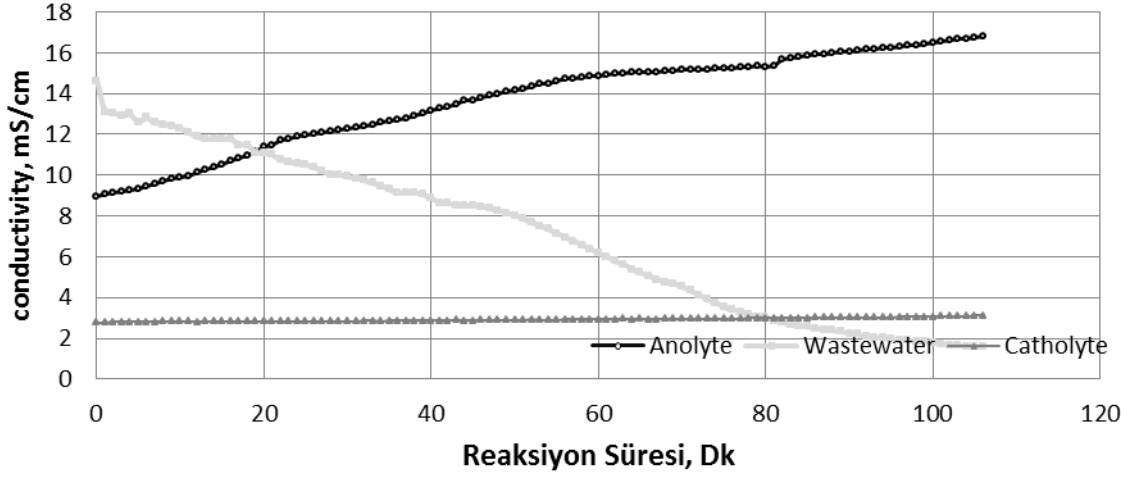
Bu çalışmada da amper değeri arıtım süresi boyunca keskin düşümlere maruz kalmıştır. 2,75 A ile başlayan arıtım, 0,91 A seviyelerine kadar düşmüştür. Arıtım süresi boyunca elde edilmiş olan arıtım hızı düşüşü de akım değişimi ile eşdeğer oranda



gerçekleşmiştir. Bu da akım değerinin elektrolitik reaksiyonlar ve taşınım üzerinde ne derece etkin olduğunu göstermektedir.

#### 5.3.4.4. Çalışma (1 Membran, 25 V)

Bu çalışmada 1 Membran seti (2 Katyon Seçici, 1 Anyon Seçici ve 1 Bipolar membran) ve 25 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.

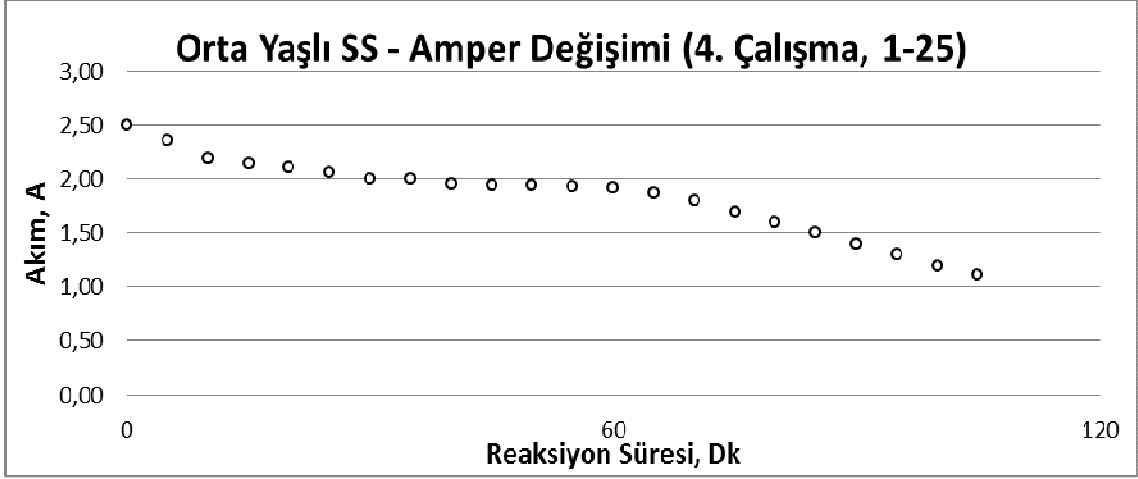


Şekil 5.69 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

1 membran setli son çalışmada 95. Dakikada çıkış suyu değeri 2mS/cm seviyesine indirgenmiştir. önceki çalışmalarda 360 dakikada elde edilemeyen bu değerin 95 dakikada elde ediliyor olması akım değeri artışının ne denli önemli olduğunu göstergesidir.

Anolit değerleri de beklenildiği üzere artışlar göstermiş ve 95 dakikada belli değerlere ulaşabilmiştir.

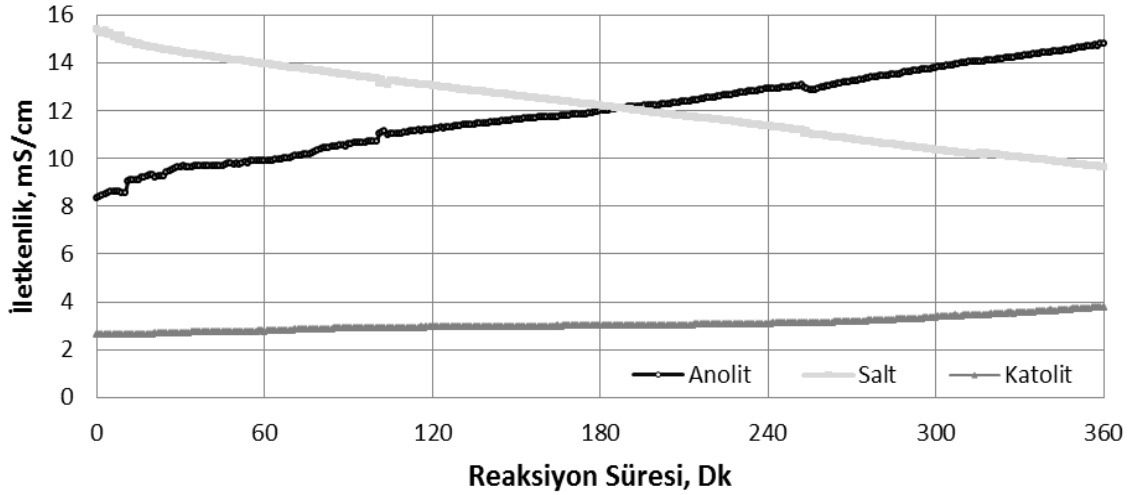
Katolit değerleri de anolit gibi 95 dakikalık süre zarfında artış göstermektedir.



Şekil 5.70 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi Bu çalışmada da A değeri büyük düşüş göstermiştir. Bunun da temel nedeni tek membran seti kullanımı ile kirliliklerin çok yoğun yaşanması ve bu kirliliklerin neden olduğu direnç kaynaklıdır.

#### 5.3.4.55. Çalışma (2 Membran, 10 V)

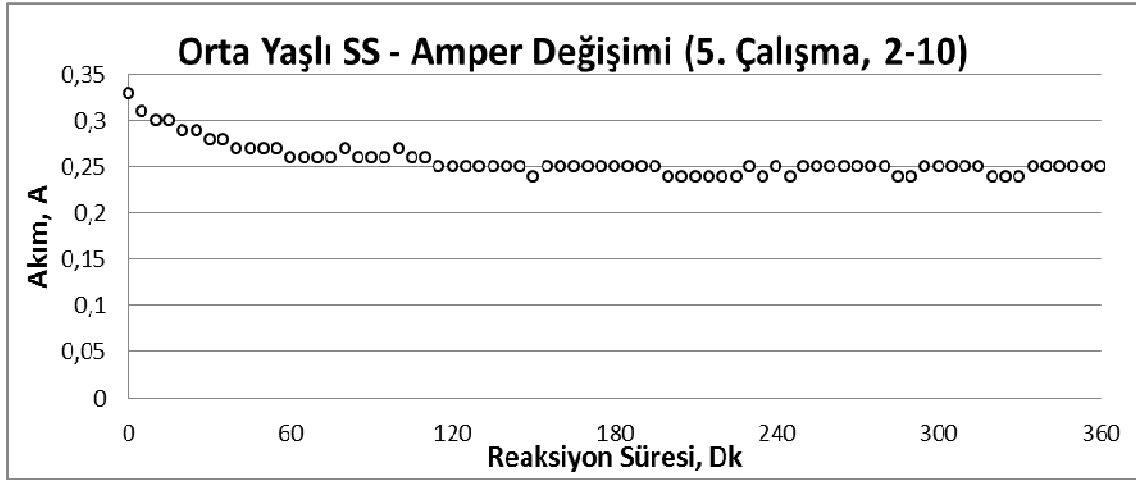
Bu çalışmada 2 Membran seti (3 Katyon Seçici, 2 Anyon Seçici ve 2 Bipolar membran) ve 10 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.71 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

2 membran seti kullanılan ilk çalışma olan 5. çalışmada ilave olarak 1'er adet AEM, CEM ve BM kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında elektrodiyaliz prosesinin genel mekanizmasıyla örtüşür bir biçimde iletkenlik düşüşleri görülmektedir. Yalnız 10V ile çalışılmış birinci çalışmaya oranla daha düşük verimler elde edilmiştir. 1 membran setli 10V'lu çalışmada çıkış suyu değeri 6,83mS/cm seviyesine inerken bu çalışmada

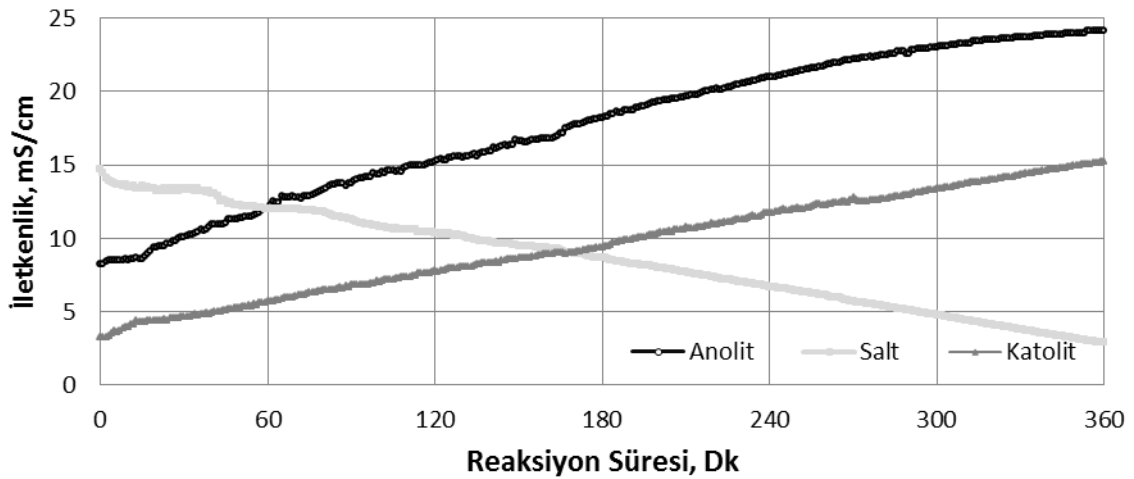
9,42mS/cm seviyesinde kalmıştır. Anolit sıvısında da iletkenlik artışları gözlenmiştir. Katolit değerleri de anolit değerleri gibi artış göstermektedir.



Şekil 5.72 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi  
Yapılan çalışmada amper değişimleri incelendiğinde 1 membran setlik çalışmaya oranla daha düşük olsa da yine membran yüzeyindeki direncin artışı sonuçlara yansımıştır. Bu sayede 0,33A olan değer 0,25A seviyelerine düşmüştür.

#### 5.3.4.66. Çalışma (2 Membran, 15V)

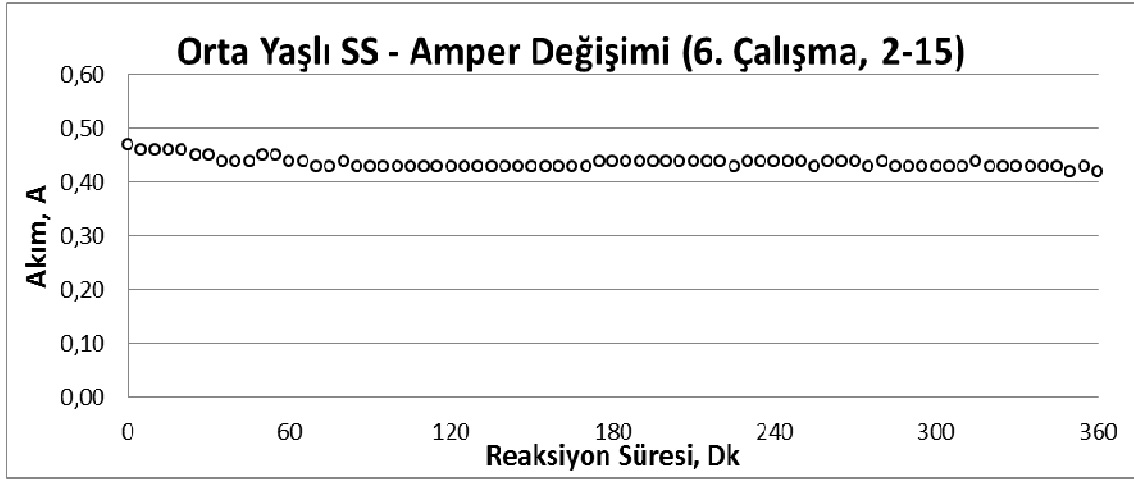
Bu çalışmada 2 Membran seti (3 Katyon Seçici, 2 Anyon Seçici ve 2 Bipolar membran) ve 15 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.73 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

2 membran setli ikinci çalışmada iletkenlik değeri 2,88mS/cm seviyelerine kadar düşmüştür. 360 dakikada elde edilen bu değer oldukça iyi bir performans olup, 2 membran setli çalışmalarında etkin sonuçlar verdiğinin göstergesidir. Anolit

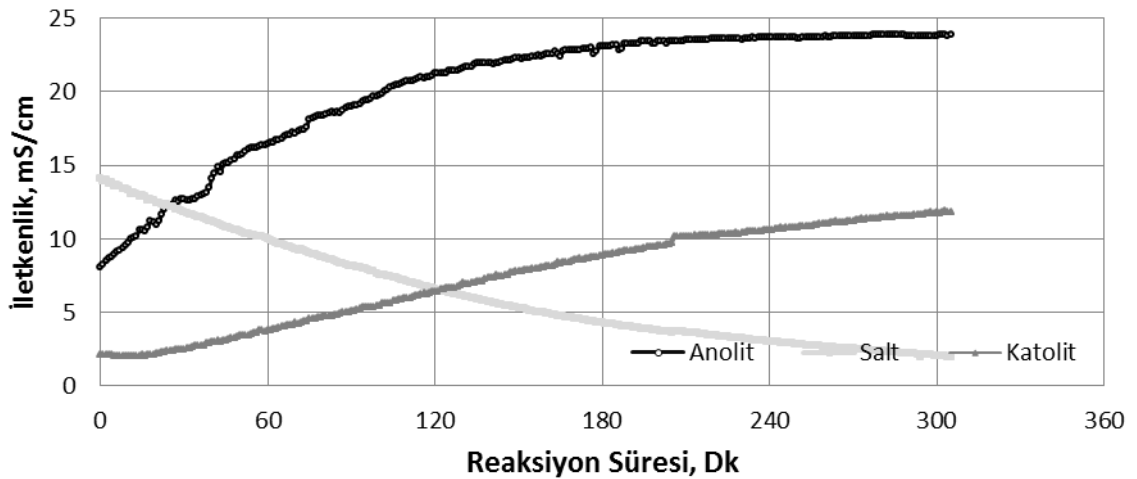
değerlerine dikkat edildiğinde her 3 değerinde de yoğun bir artışla karşılaşıldığı söylenebilir. 10V'luk çalışmaya oranla daha yüksek değişimler görülmüştür. Katolit çalışmalarında da anolitle benzer olarak artışlar gözlenmektedir.



Şekil 5.74 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi Amper değerleri içerisinde değişimi en az olan çalışmalardan biri budur. Yapılan çalışmada giriş ve çıkış A değerleri 0,4-0,5A arasında kalmıştır. Membran setinin artmasıyla bu sonuç yakından ilgilidir.

#### 5.3.4.77. Çalışma (2 Membran, 20 V)

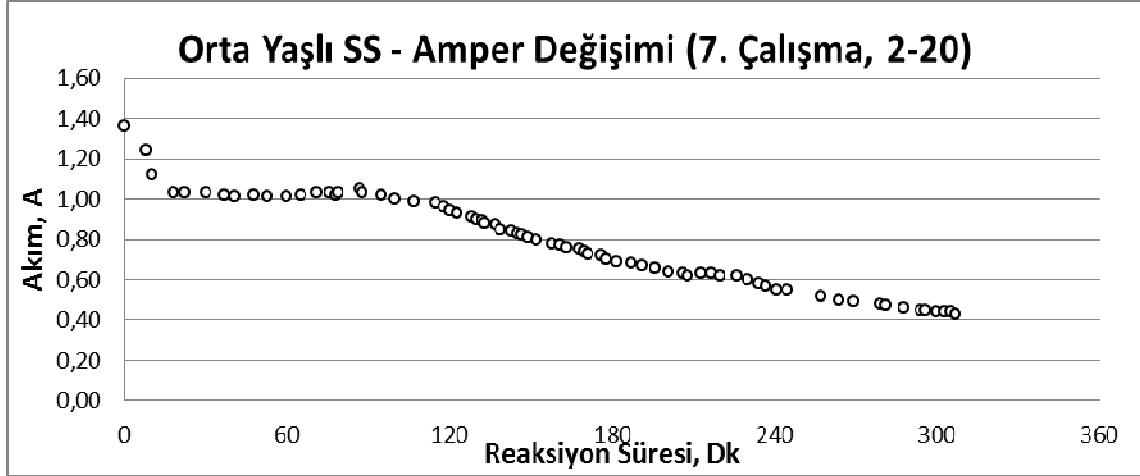
Bu çalışmada 2 Membran seti (3 Katyon Seçici, 2 Anyon Seçici ve 2 Bipolar membran) ve 20 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.75 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmalarda 305 dakikada iletkenlik değeri istenilen seviye olan 2mS/cm değerine ulaşmıştır. Bu esnada sıcaklık artışı da 34C seviyelerine ulaşmış ve nispi pH

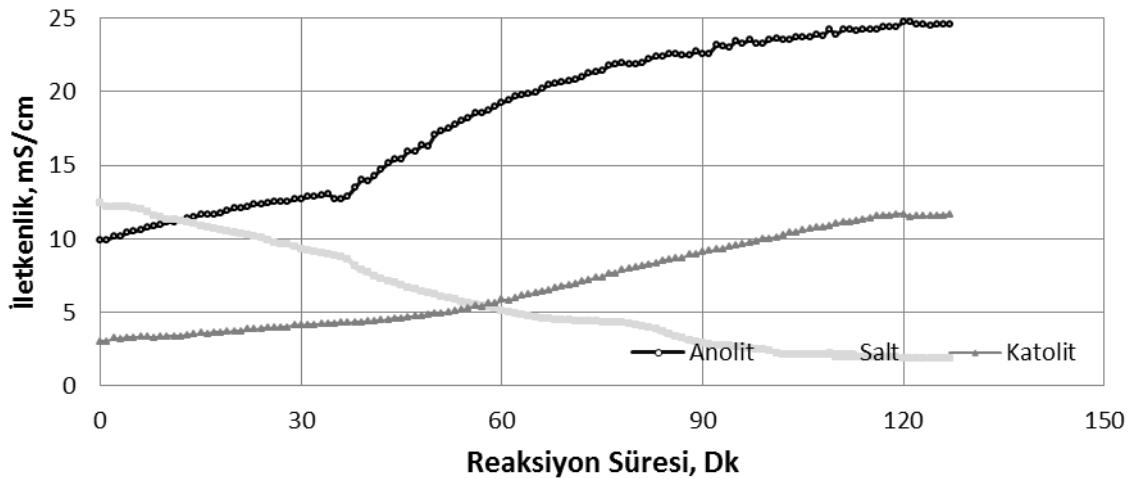
değişimleri de gözlenmiştir. Anolit çalışmasında da görülen tüm değerlerin artıyor olması ve bu artışların da akım değerlerine paralel olarak artış göstermesi şeklindedir. Yapılan katolit analizlerinde benzer sonuçlara ulaşılmış olup, pH değerlerinde yine ufak dalgalanmalar gözlenmiştir.



Şekil 5.76 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince amper değişimi  
Bu çalışmada da amper değişimi düşüş şeklinde kendini göstermiştir. Ama bu düşüşte çıkış suyu iletkenliğinin 2mS/cm seviyelerine düşmesine engel olamamıştır.

#### 5.3.4.88. Çalışma (2 Membran, 25 V)

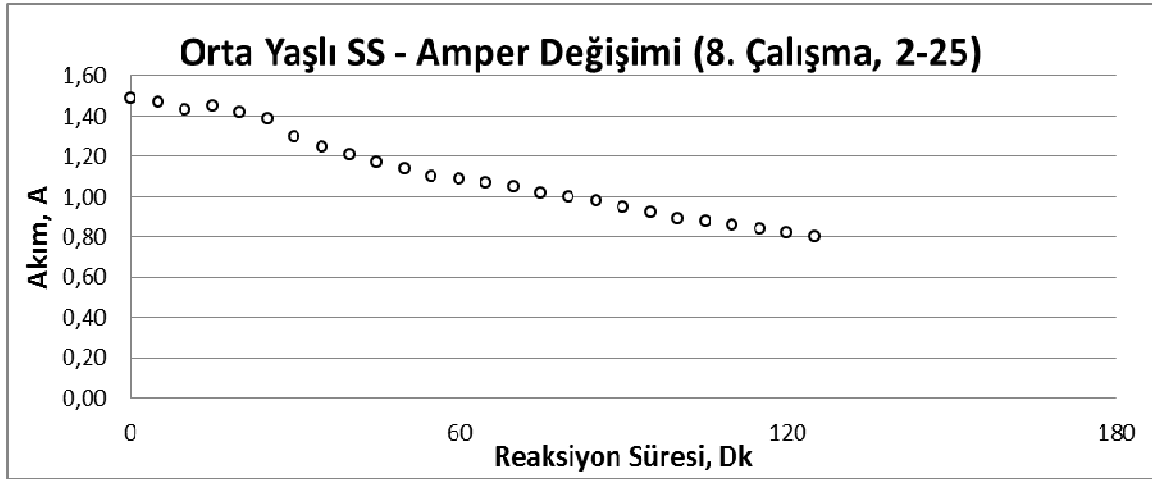
Bu çalışmada 2 Membran seti (3 Katyon Seçici, 2 Anyon Seçici ve 2 Bipolar membran) ve 25 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.77 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

2 membran setli son çalışma olan 25V'luk 8. Çalışmada da 1 membranlı 25V'luk çalışmada olduğu gibi kısa sürede 2mS/cm seviyesine ulaşılmıştır. 1 membran setli

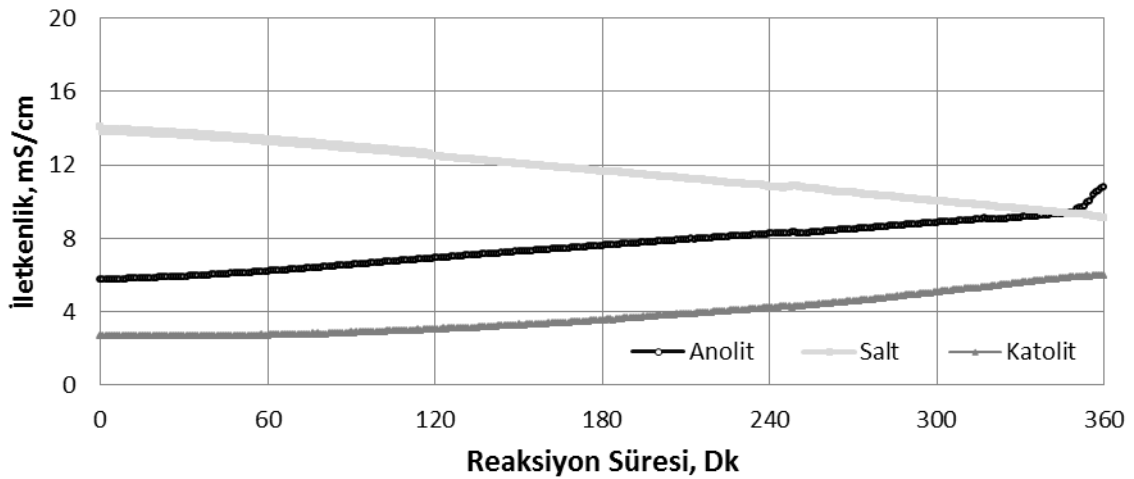
çalışmada 95 çalışmada ulaşılan değer 2 membran setli çalışmada 121 dakikada sağlanmıştır. Anolit değerleri de benzer şekilde artış gösterirken 121 dakikalık süreçte beklenen seviyenin üstüne ulaşmıştır. Katolit değerleri de anolit değerleri ile benzerlik göstermektedir. Yine 121 dakikada yüksek değişimlerle karşılaşılmıştır.



Şekil 5.78 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi Amper değişimleri de yine artırım süresi boyunca düşüş şeklinde kendini göstermiştir.

### 5.3.4.99. Çalışma (3 Membran, 10 V)

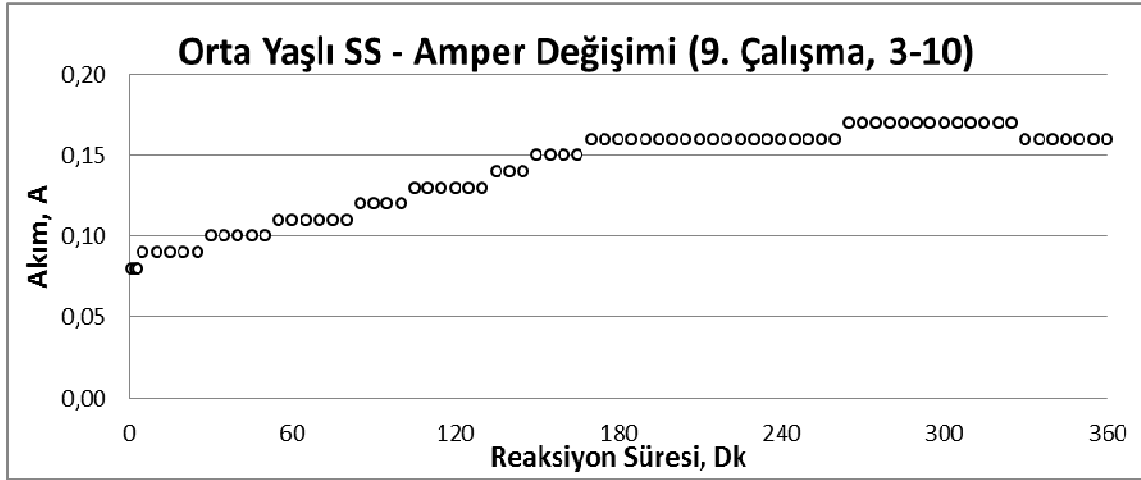
Bu çalışmada 3 Membran seti (4 Katyon Seçici, 3 Anyon Seçici ve 3 Bipolar membran) ve 10 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.79 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

3 membran setli ilk çalışma 10 V'luk çalışma olan 9. Çalışmadır. Bu çalışmada 360 dakikalık süre sonunda iletkenlik değeri 9,08mS/cm seviyesine düşürülmüştür. Eş

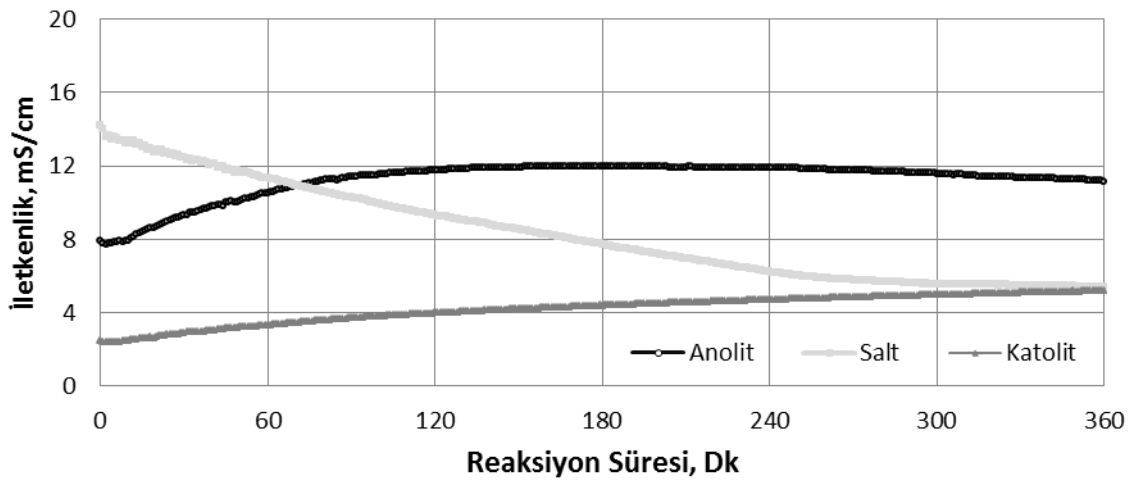
zamanlı olarak da sıcaklık artışı ve kısmi pH düşüşü gerçekleşmiştir. Anolit değerleri de bir önceki çalışmalarda olduğu gibi beklenildiği üzere artışlar sergilemiştir.



Şekil 5.80 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi Amper değeri bu çalışma süresince çok düşük seviyelerde kalmıştır. Her ne kadar artış gibi görünse de A değerinin 0,08-0,017 seviyelerinde olduğunun göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu da artan membran sayısının direnci ne ölçüde arttırdığının önemli bir göstergesidir. Bu açıdan elde edilecek sonuçlarda düşük verimler gözlenmesi doğal karşılanabilir.

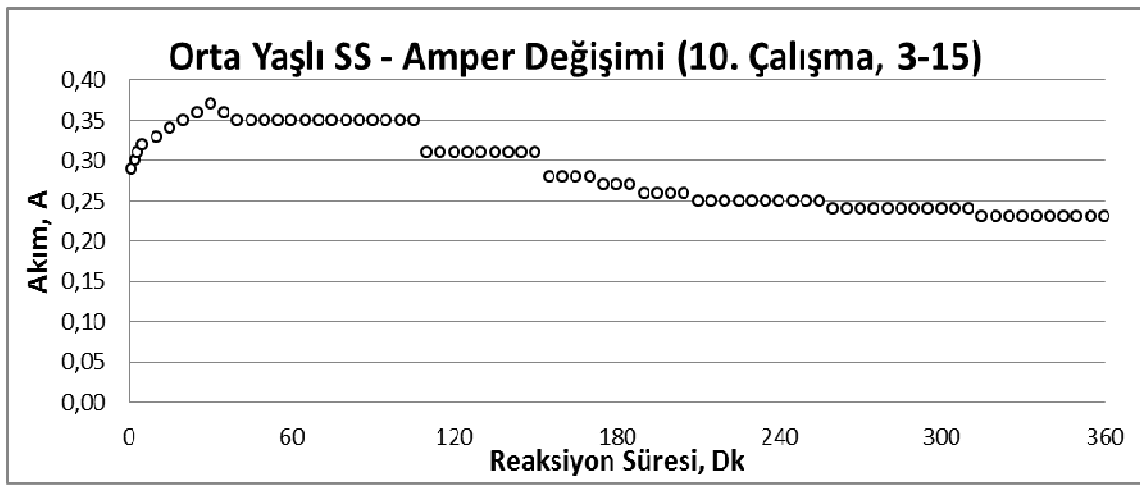
#### 5.3.4.10 10. Çalışma (3 ;Membran, 15 V)

Bu çalışmada 3 Membran seti (4 Katyon Seçici, 3 Anyon Seçici ve 3 Bipolar membran) ve 15 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.81 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

3 membran setli çalışmanın ikinci adımında 15V'luk çalışmada çıkış suyu iletkenlik değeri 5,38 mS/cm seviyesine kadar indirgenebilmiştir. Elde edilen bu sonuç farklı membran setleri ile de artan akım değerlerinde verim yükselmesinin ne denli belirgin olduğunu göstermektedir. Anolit değerleri incelendiğinde çok düşük bir iletkenlik artışı ve buna mukabil düşük oranda H iyonu artışı gözlenmiştir. Hatta H iyonu artışı zamanla durmuş ve düşüşe bile geçmiştir. Bu organik asitlerin ortamdaki uzaklaşması sonucu gerçekleşmiştir. Katolit değerleri de anolitle benzer olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık ve iletkenlik artışı sürerken OH iyonu da önce küçük bir artış ondan sonra ise zamanla olarak bir düşüş göstermiştir. Bunun da NH<sub>3</sub> taşınımı ile ilgili olduğu kabul edilmiştir.

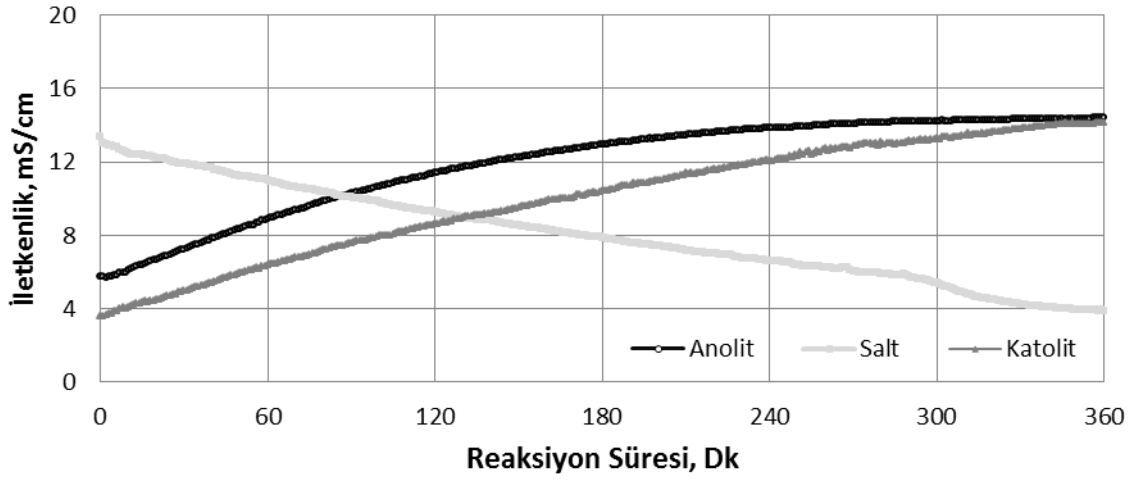


Şekil 5.82 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi  
Yapılan çalışma neticesinde amper değişimleri incelendiğinde sistem oturmaya başlayıncaya kadar ufak çaplı bir artış olurken devamında akım düşüşü olduğu gözlenmiştir. Yalnız bu akım düşüşü düşük membran setli çalışmalara oranla çok daha az olarak seyretmiştir.

#### 5.3.4.11 11. Çalışma (3 Membran, 20 V)

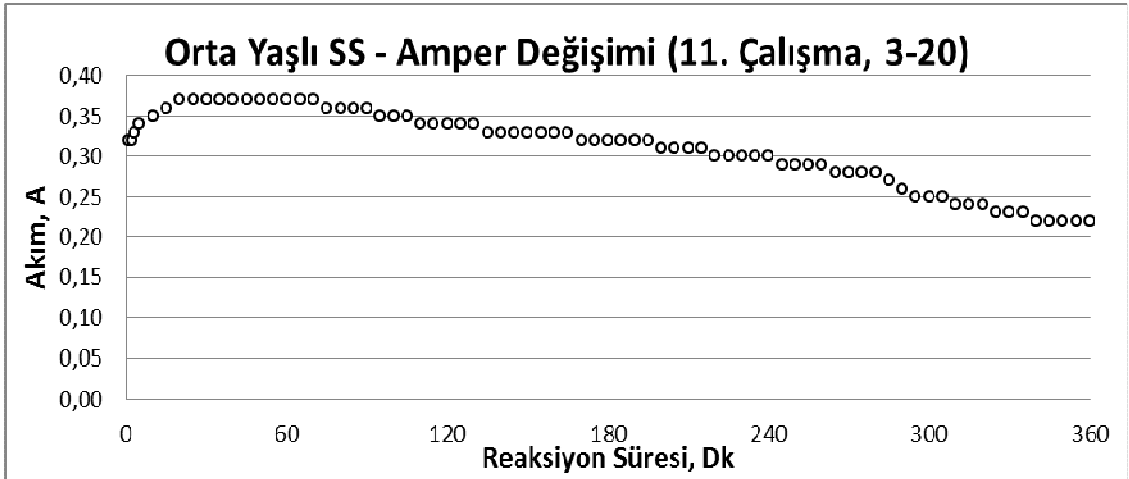
Bu çalışmada 3 Membran seti (4 Katyon Seçici, 3 Anyon Seçici ve 3 Bipolar membran) ve 20 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.





Şekil 5.83 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

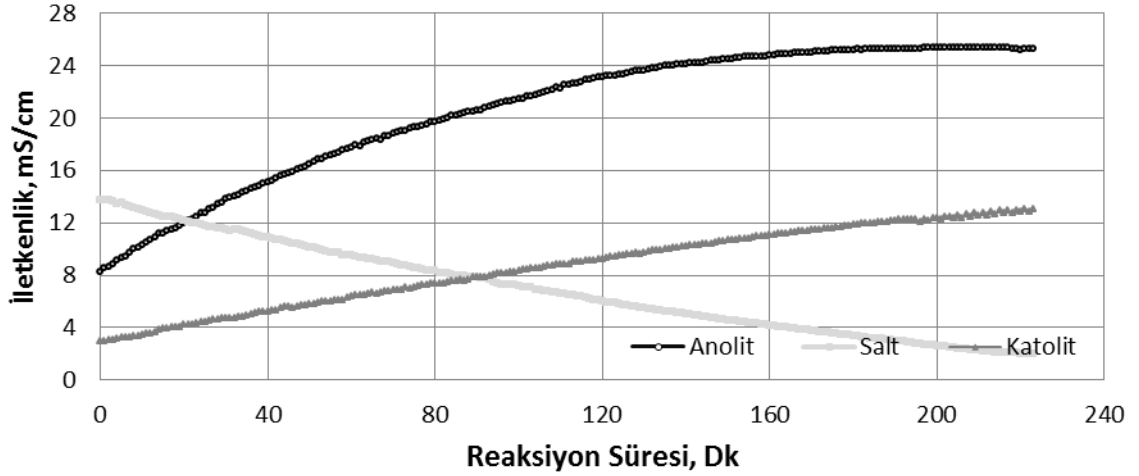
3 Membran setli çalışmalar içerisinde 20V'luk çalışma ile 3,89mS/cm seviyesine kadar iletkenlik değeri düşürülmüştür. Çok az bir pH düşüşü ve sıcaklık artışı da eş zamanlı olarak gerçekleşmiştir. Anolit değerleri incelendiğinde yine artışlar görülmektedir. Sıcaklık değeri 32Cseviyesine yükselirken iletkenlik değeri de 14,5mS/cm seviyesine ulaşmıştır. Katolit değerleri de anolit değerleri ile eşdeğer biçimde artışlar göstermiştir. İletkenlik değerleri 14mS/cm, sıcaklık değerleri de 30C değerlerini aşmıştır. OH iyon konsantrasyonu da ilk başlarda kısmi bir artış sonra sürece bağlı olarak da kısmen bir azalış göstermiştir.



Şekil 5.84 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi. Amper değerleri incelendiğinde 0,20-0,40A arası değişimler göze çarpmıştır. Artan membran sayısı ile akım değerinin düşmesi yanı sıra sürece bağlı olarak da bir düşüş gözlenmiştir.

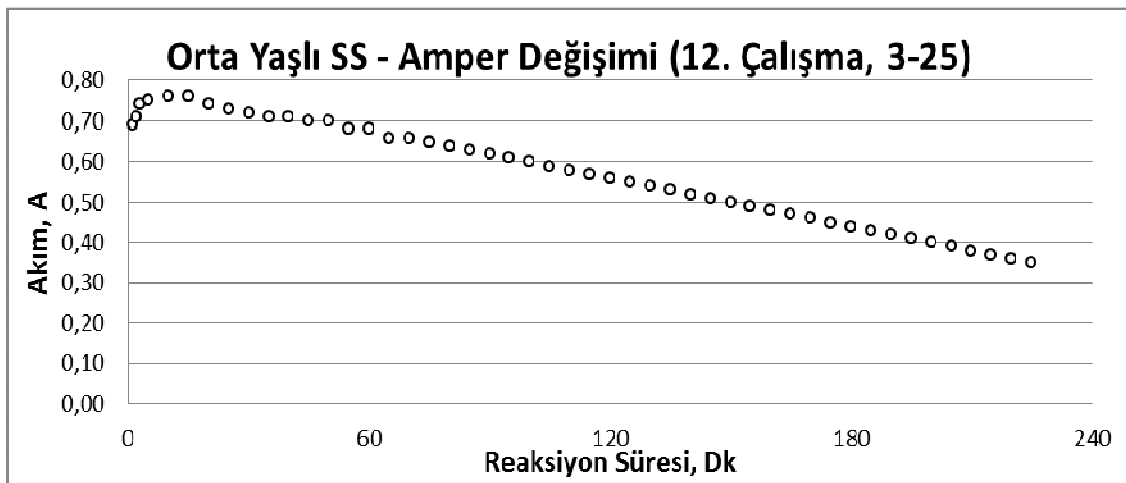
### 5.3.4.12 12. Çalışma (3 Membran, 25V)

Bu çalışmada 3 Membran seti (4 Katyon Seçici, 3 Anyon Seçici ve 3 Bipolar membran) ve 25 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.85 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

3 Membran setli son çalışma olan 12. Çalışmada 223 dakikalık süreçte iletkenlik değeri istenilen değer olan 2mS/cm değerinin altına düşürülmüştür. Bu süreç 1 ve 2 membran setli çalışmalarda eşdeğer elektriksel gerilim kuvveti ile sırasıyla 95 ve 121 dakikada gerçekleşmiştir. Bu sonuçlarda artan membran sayısının giderim verimini negatif yönde etkilediğini göstermektedir. Anolit değerleri diğer çalışmalara göre daha yüksek bir artış göstermekle birlikte bu beklenen bir sonuçtur. Katolit değerleri de anolit değerleri gibi artan bir seyir izlemektedir.

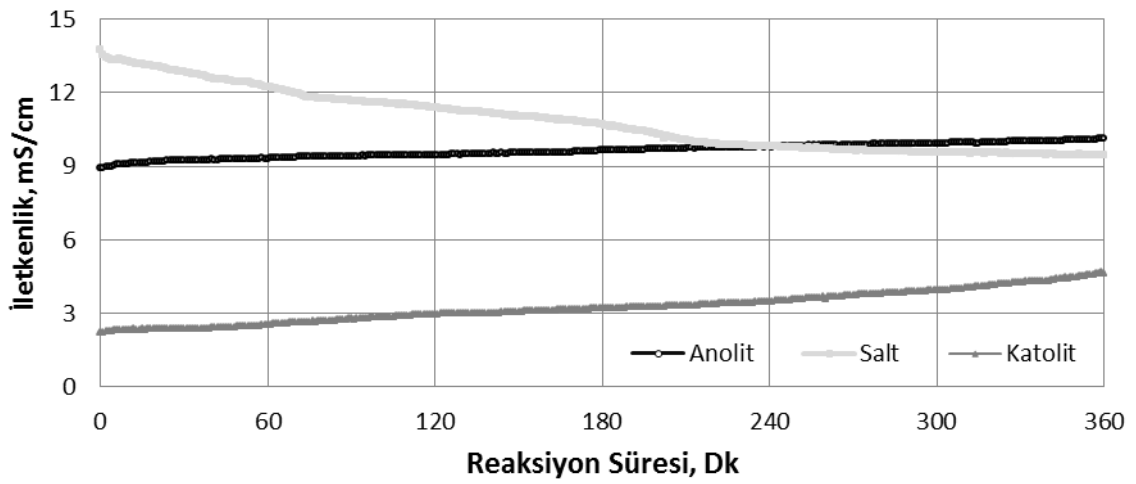


Şekil 5.86 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi

Amper deęişimleri incelendięinde bir dűşűş gözlenirse de asıl dikkat edilecek unsur, 1 ve 2 membranlı çalıřmalara oranla 3 membranlı çalıřmada çok daha dűşűk amper deęerlerinde çalıřmaktır. 1 Membranlı alıřmalarda Akım deęeri 2,5A'den bařlarken 3 membran setli çalıřmada bu deęer 0,70A seviyelerinde seyretmektedir.

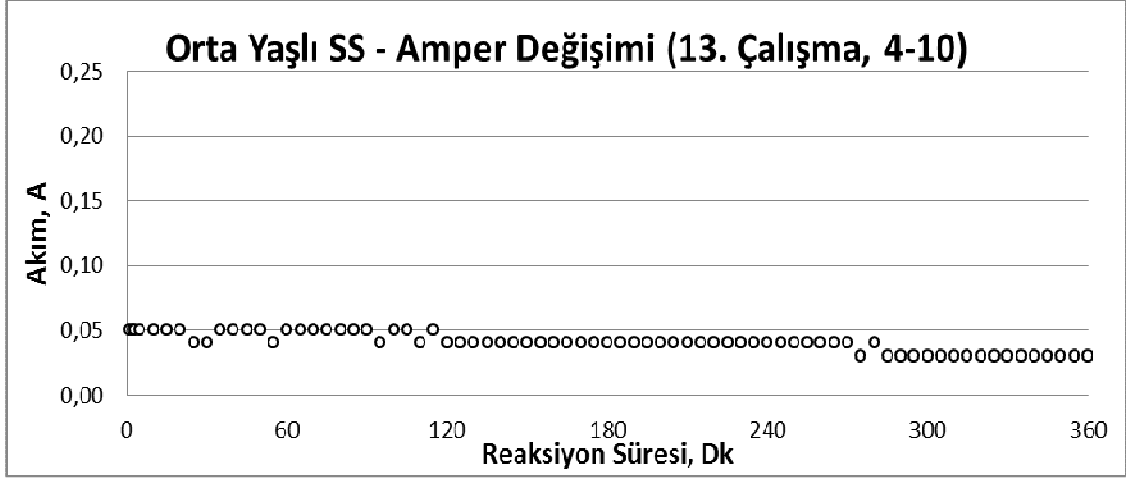
#### 5.3.4.13 13. Çalışma (4 Membran, 10V)

Bu alışmada 4 Membran seti (5 Katyon Seçici, 4 Anyon Seçici ve 4 Bipolar membran) ve 10 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



şekil 5.87 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

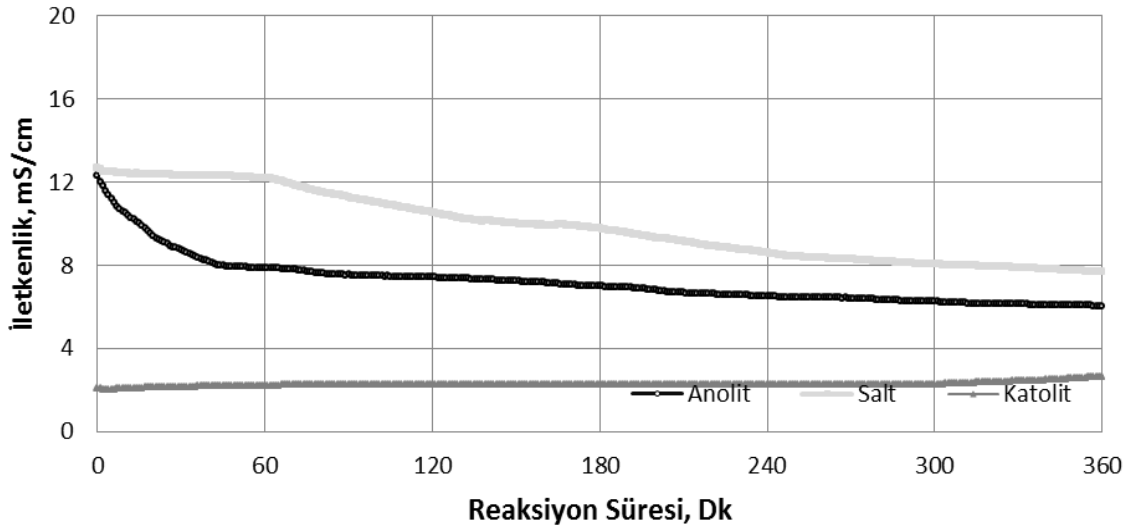
4 membran setli ilk çalışma olan 13. Çalışmada çok dűşűk akım değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle elde edilen giderim verimleri sınırlı ölçűde kalmıştır. 10V'luk ilk çalışmada 360 dakikalık süre sonunda çıkış iletkenlik değeri yalnızca 9,450 seviyesine indirilebilmiştir. Anolit değerlerine bakıldığında sıcaklık ve iletkenlik değerleri artış gösterirken H iyon konsantrasyonu pek değişiklik göstermemiştir. Katolit ile ilgili değerler de benzerdir. Aynı şekilde sıcaklık ve iletkenlik değeri artarken OH iyon konsantrasyonu ile ilgili değerler sabit kalmıştır.



Şekil 5.88 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi Amper değerine bakıldığında bu çalışmalar içerisinde en düşük amper değeri gözlenmiştir. 0,05A'lık çalışmalar nedeniyle çok verimli sonuçlar elde edilememiştir.

#### 5.3.4.14 14. Çalışma (4 Membran, 15 V)

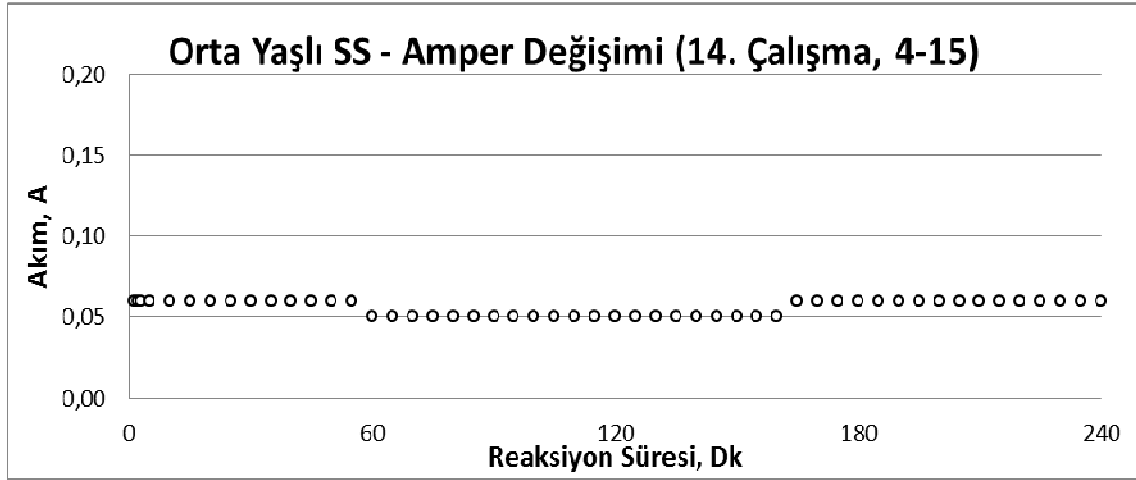
Bu çalışmada 4 Membran seti (5 Katyon Seçici, 4 Anyon Seçici ve 4 Bipolar membran) ve 15 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.89 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu ile ilgili yapılan 14. Çalışmada ilk çalışmaya (13. Çalışma) oranla daha verimli sonuçlar elde edilse de genel olarak verimsiz sonuçlar elde edilmiştir. Her ne kadar 8mS/cm'nin altına 360 dakikalık süre sonunda ulaşılsa da bu değer istenilen seviyenin çok çok altında kalmıştır. Anolit değerlerine bakıldığında iletkenlik ve sıcaklıkta artış, H iyonlarında ise önce artış ve zamanla tekrar azalış görülmektedir. Bu çalışmada katolite

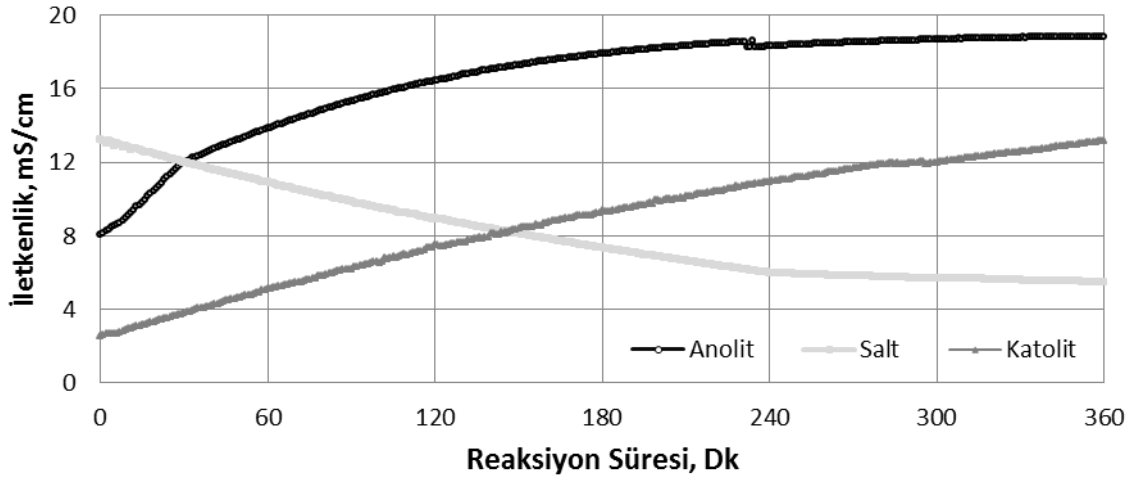
değerinde çok düşük bir artış gözlemlenmiş olup bu nedenle de iletkenlik değerinin az olmasıyla ilişkili olarak amper değerleri düşük kalmıştır.



Şekil 5.90 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodializi süresince akım değişimi. Bir önceki çalışma gibi bu çalışmada da fazla membran sayısı nedeniyle akım değeri 0,05 seviyelerinde seyretmiş, bu da yüksek verimli bir atıksu arıtımını engellemiştir.

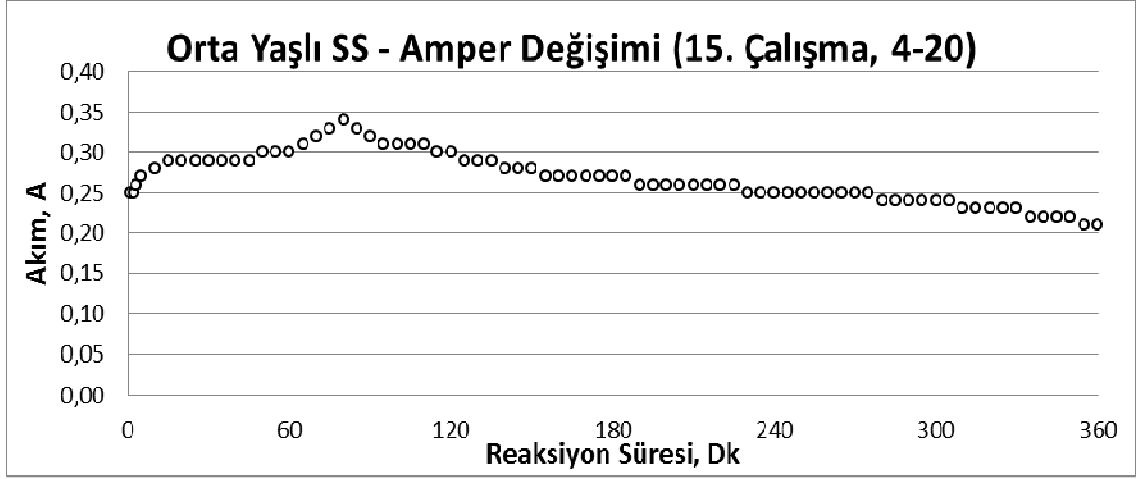
#### 5.3.4.15 15. Çalışma (4 Membran, 20 V)

Bu çalışmada 4 Membran seti (5 Katyon Seçici, 4 Anyon Seçici ve 4 Bipolar membran) ve 20 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.91 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

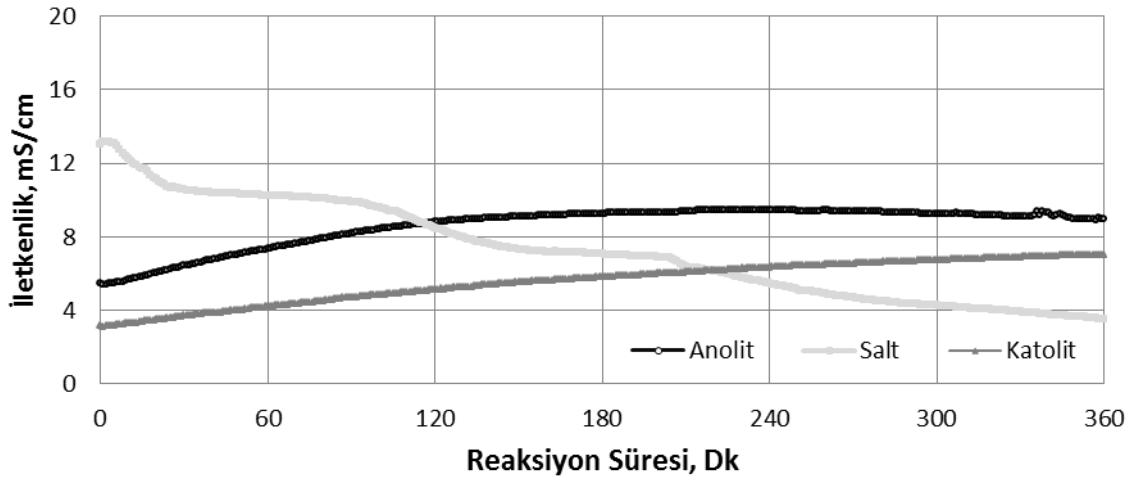
Her ne kadar düşük amperle çalışılıyor olsa da 20V'luk çalışma ile iletkenlik değeri 5,3 mS/cm değerinin altına indirilebilmiştir. Anolit değerlerinde ise beklenildiği üzere kısmi bir artış gözlenmiştir. Katolit değerleri için de artış gözlenirken zamana bağlı OH<sup>-</sup> iyonları tekrar düşüş göstermiştir.



Şekil 5.92 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi elde edilen sonuçlar incelendiğinde direnç artışı olsa da 20V'luk elektriksel gerilime karşılık olarak 0,25A gibi bir yanıt vermiştir. Yine düşük gibi görülse de 10 ve 15 V'luk çalışmalara oranla daha yüksek bir akım değeri elde edildiği görülmektedir.

#### 5.3.4.16 16. Çalışma (4 Membran, 25V)

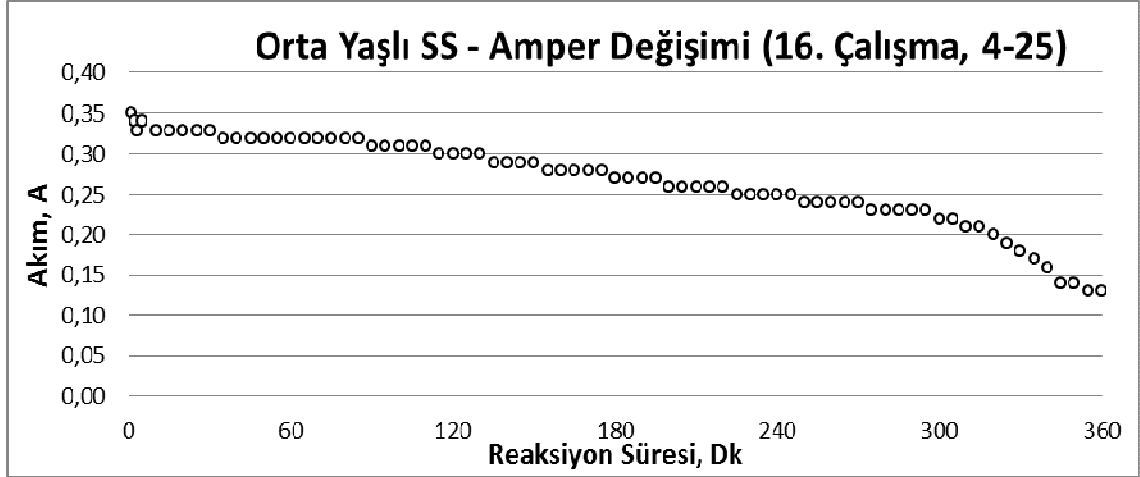
Bu çalışmada 4 Membran seti (5 Katyon Seçici, 4 Anyon Seçici ve 4 Bipolar membran) ve 25 V'luk elektriksel gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.93 Orta yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmada 20V'luk çalışma ile benzer olarak 360 dakikalık süre sonunda 3,1mS/cm seviyesine kadar iletkenlik düşüşü sağlanmıştır. Eşdeğer oranda elektriksel gerilim kuvveti altında 1,2 ve 3 membran setli çalışmalarda sırasıyla 95,121 ve 223 dakika içerisinde iletkenlik değeri 2mS/cm seviyesinin altına inerken bu çalışma kapsamında 360 dakika içinde dahi söz konusu değere ulaşamamıştır. Anolit ile ilgili

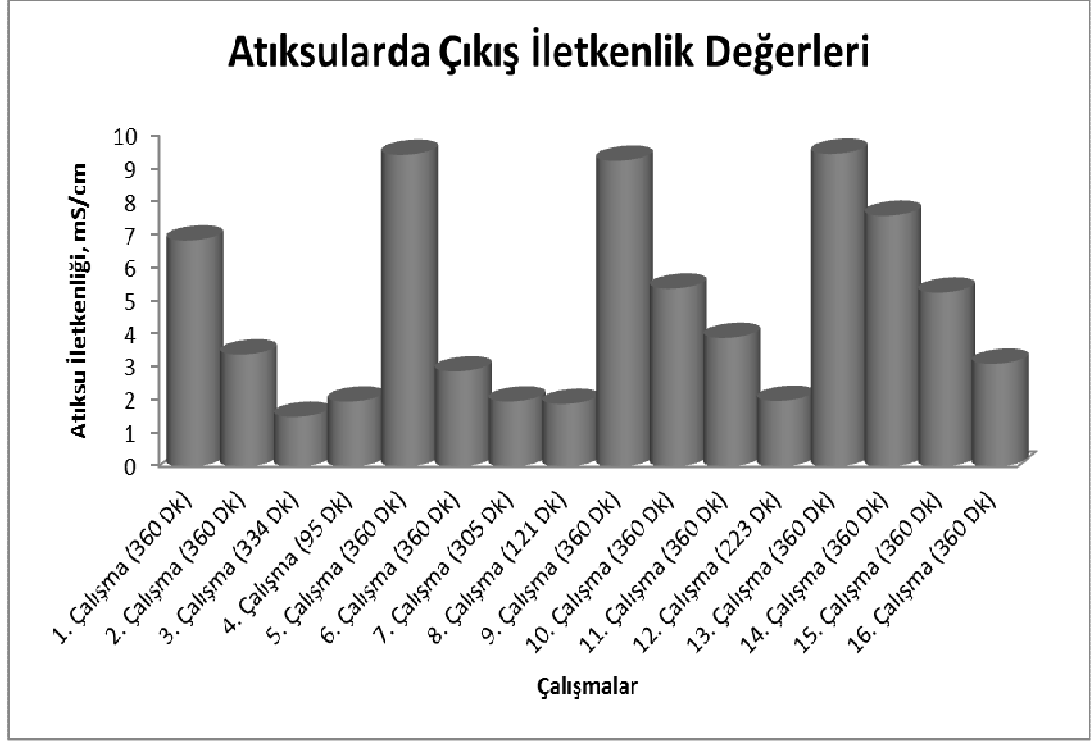
verilere bakıldığında sıcaklık ve iletkenlik değerinin arttığı H iyonlarının ise sabit bir seyir izlediği görülmüştür. Katyon türlerinin taşınımı ile katolit değerinin iletkenlik değeri artarken eş zamanlı olarak sıcaklık artışı da gözlenmiştir. OH iyonlarında ise başlangıçta bir artış edilebilir de zamanla söz konusu artış yerini sabit bir gidişata bırakmıştır.



Şekil 5.94 Orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyalizi süresince akım değişimi Amper değerleri incelendiğinde 0,35A'lık başlangıç zamanla yerini 0,15A gibi seviyelere bıraktığı gözlenmiştir. Bu düşük akım değerleri de yüksek verim eldesini imkânsız kılmıştır.

#### 5.3.4.17 Genel Değerlendirme

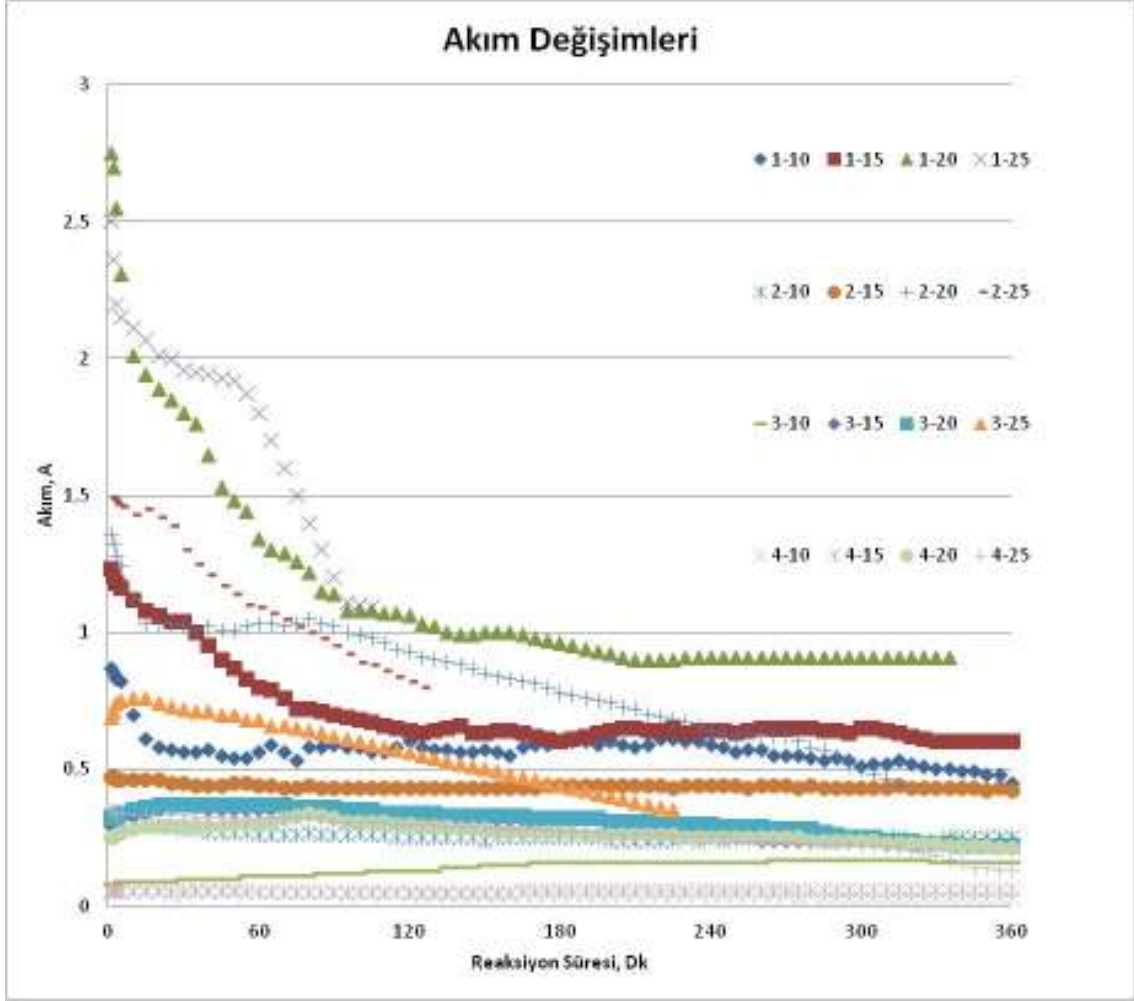
Farklı çalışmalara ilişkin sonuçların harmanlandığı bir şekil genel hatlarıyla aha iyi bir sonuç verebilir. Bu nedenle aşağıdaki şekilde genel hatlarıyla çalışma özetlenmiştir.



Şekil 5.95 Orta Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodializ Prosesiyle Artılabilirliği Çalışmadan da görüleceği üzere 4'er çalışmada bir iletkenlik değerleri yükselmektedir. Bunun nedeni, sırasıyla 10, 15, 20 ve 25 V'luk çalışmaların verilmesidir. Elektriksel gerilim kuvveti arttıkça verimin arttığı rahatlıkla görülebilmektedir. Yine membran set sayısı arttıkça da verimin giderek düştüğü görülmektedir. 3 ve 4. çalışmada bir fark var gibi görünse de süreçlere dikkat edildiğinde 3. çalışmanın 334 dakika sürerken 4. çalışmanın yalnızca 95 dakikada sağlandığı görülecektir.

Çalışma boyunca her iki işletme şartı için de en etkin sonuç akımdır. Aşağıdaki şekilde orta yaşlı sızıntı suları içi akım değişimleri verilmektedir.

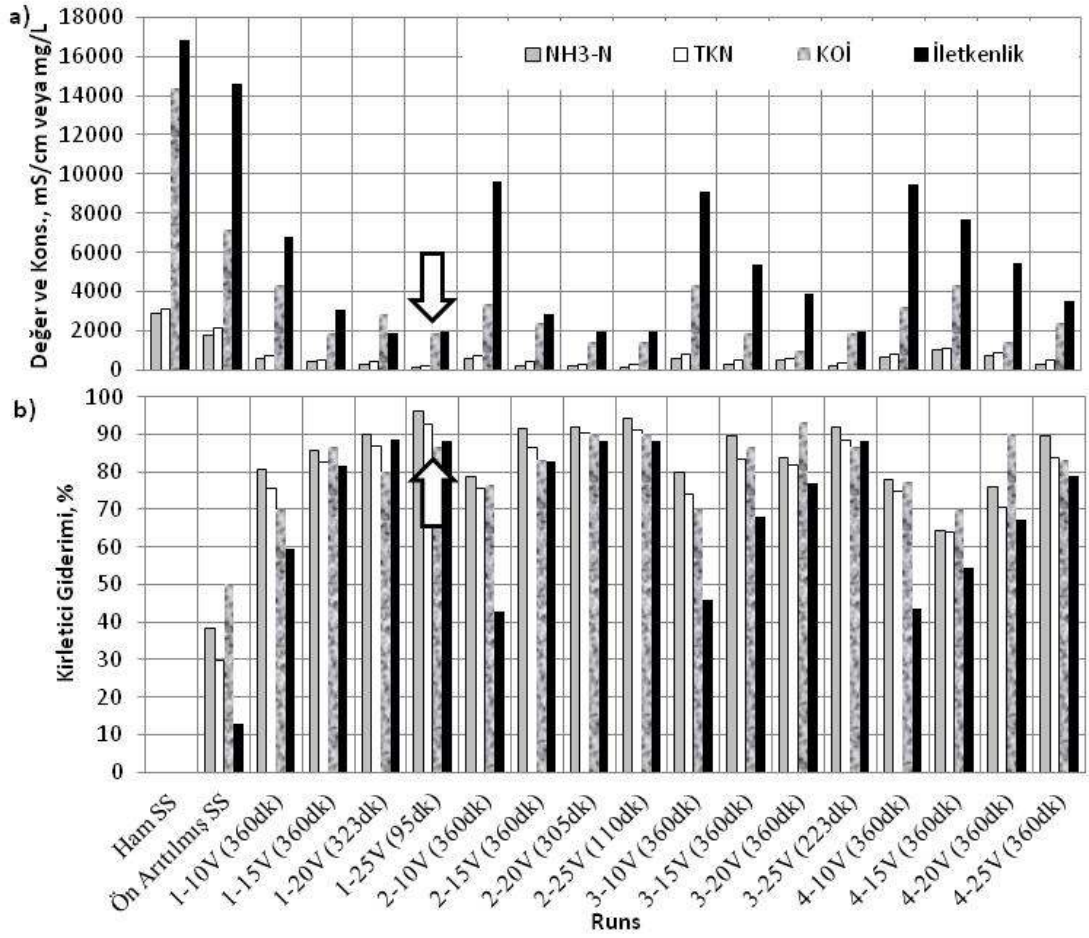




Şekil 5.96 Orta yaşlı sızıntı sularının ED prosesi esnasında akım değişimleri

Akım ile iyon değişimi olması ve kirlenme ile direnç oluşumu sonucu akımın düşmesi verimi düşürmektedir. Dolayısıyla akım değişimleri bize ED prosesi için çok önemli sonuçlar göstermektedir. Görüldüğü üzere tüm çalışmalarda akım değerlerinde düşüşler görülmektedir. Ama yine de fazla membran sayılı çalışmalarda (4-10, 4-15, 4-20, 4-25, 3-10 vb.) az sayıda membran içeren çalışma setlerine oranla (1-25, 1-20, 1-15 vb) çok daha az düşüşler olduğu görülmektedir. Bunun nedeni de az sayıda membran içeren çalışmalarda membran yüzeyi kirlendiğinde direnç büyük ölçüde artmaktadır. Oysa çok membranlı çalışmalarda suyun geçeceği yerlerin fazla oluşu tıkanıklığı her bölgede eşit seviyede tutarak akımın düşmesini önlemektedir. Bir diğer önemli detay da az sayıda membran içeren çalışmaların başlangıç akım değerlerinin yüksek olduğudur. Dikkatli bakılırsa artan elektriksel gerilim ve azalan membran sayılarıyla başlangıç akım değerlerindeki yükseklik göze çarpmaktadır. Bu da akım verimliliği açısından önemli bir detay olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca orta yaşlı sızıntı suyunun elektrodiyaliz prosesiyle arıtımı sonrasında elde edilen giderim verimleri de Şekil 5.97 a ve 5.97 b de verilmektedir.

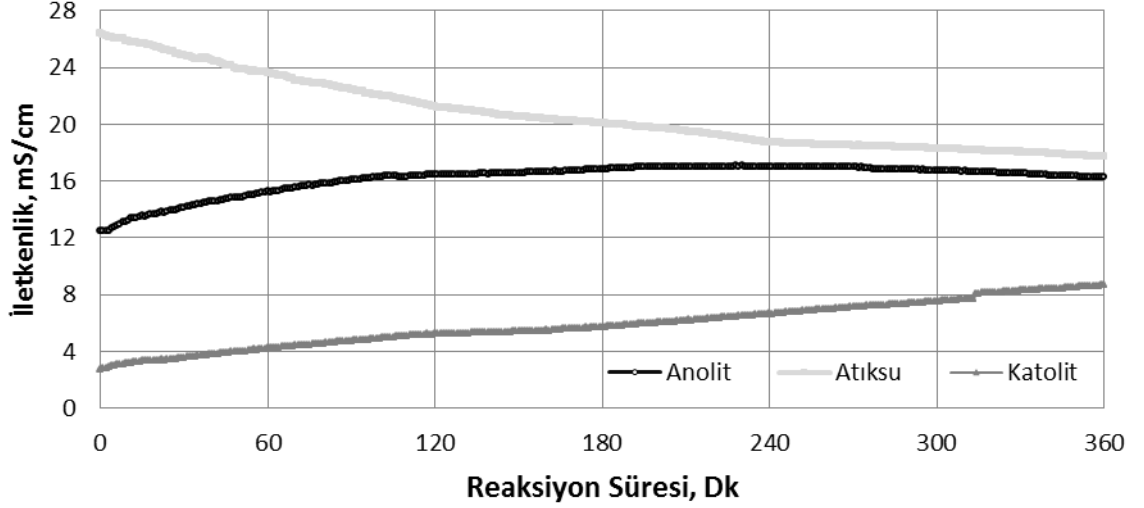


Şekil 5.97 Orta yaşlı sızıntı sularının elektrodiyaliz prosesiyle arıtılabilirliği ve temel kirlenici parametrelerin değişimi

Şekil 5.97 incelendiğinde genç sızıntı sularındaki temel kirlenici parametrelerin elektrodiyaliz prosesiyle etkin bir biçimde giderilebildiği görülmektedir. Özellikle 25 V'luk çalışmalarda daha yoğun bir giderim verimi elde edildiği ortadadır. Ayrıca bu çalışmada da membran sayısı arttıkça giderim verimlerinde düşüş görülmektedir. Bunun temel nedeni başlangıç iletkenlik konsantrasyonu genç ve yaşlı sızıntı suyuna oranla düşük olduğu için tıkanma oluşmadan 4. Çalışmanın 95 dakika gibi bir sürede arıtımını tamamlamasından kaynaklanmaktadır. Bu süre sonralarında ise tıkanmalar başlamakta ve arıtma hızı düşmektedir. Bu nedenle arıtma hızı düşmeden çalışma sonlandırıldığı için tek membranlı çalışma düşük iletkenlik içeren sular için uygun olduğu görülmektedir. Genç ve yaşlı sızıntı sularındaki bu durum nedeniyle membran sayısının iyi optimize edilmesi gerektiği görülmektedir.

### 5.3.5 Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodializ Prosesiyle Artırılabilirliğinin İncelenmesi

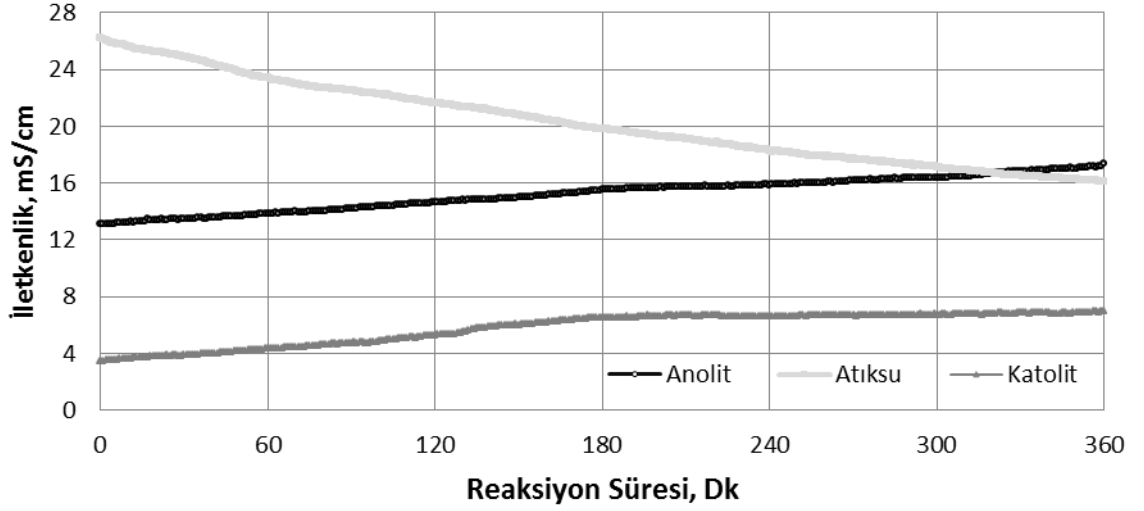
#### 5.3.5.11. Çalışma (1 Membran, 10V)



Şekil 5.98 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 18 mS/cm değerine indirilebilmiştir. Anolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 12,9 mS/cm olan iletkenlik değeri 16 mS/cm değerine yükselmiştir. Çalışma sonucunda katolitin iletkenlik değeri 3 mS/cm değerinden 8,9 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.5.2.2. Çalışma (1 Membran, 15V)

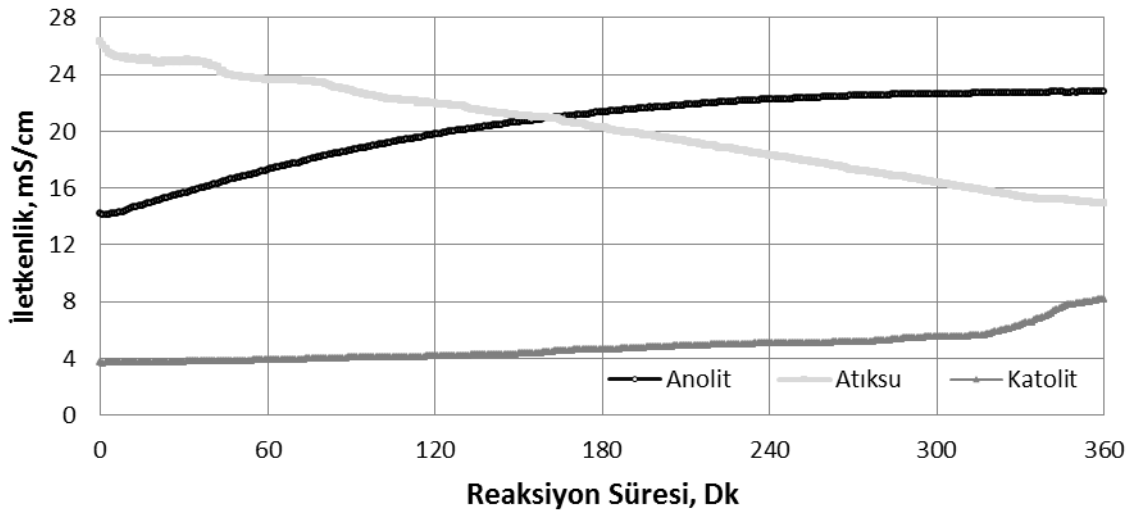


Şekil 5.99 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 16 mS/cm değerine kadar düşürülebilmştir. Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 16 mS/cm değerine kadar düşürülebilmştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 13 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 17,3 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 3,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 7 mS/cm değerine yükselmiştir.

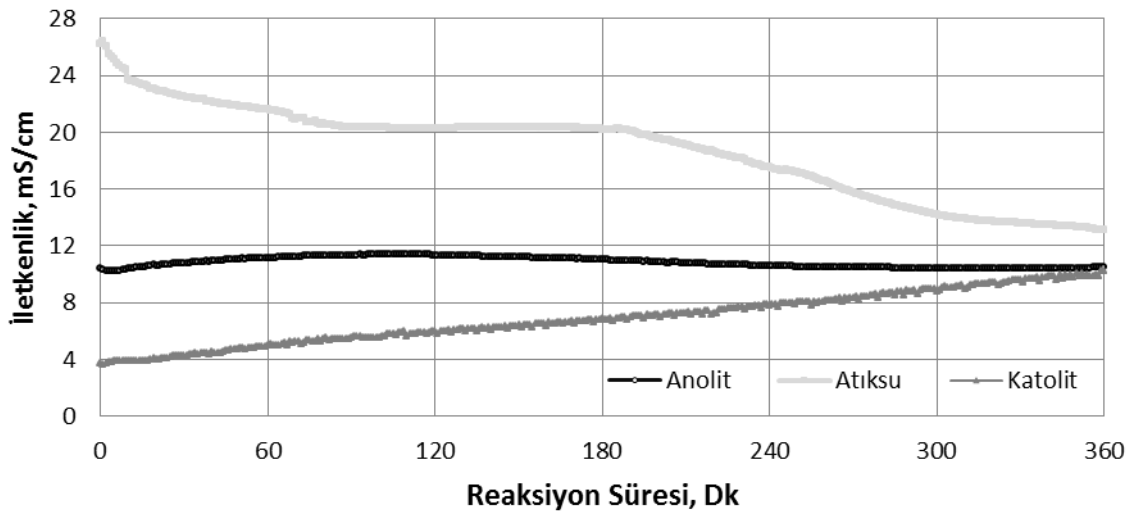
### 5.3.5.33. Çalışma (1 Membran, 20V)



Şekil 5.100 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksudaki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 15 mS/cm değerine düşürülebilmıştır. Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 14 mS/cm değerinden 22,5 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 3,9 mS/cm olan iletkenlik değeri 8,2 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.5.44. Çalışma (1 Membran, 25V)

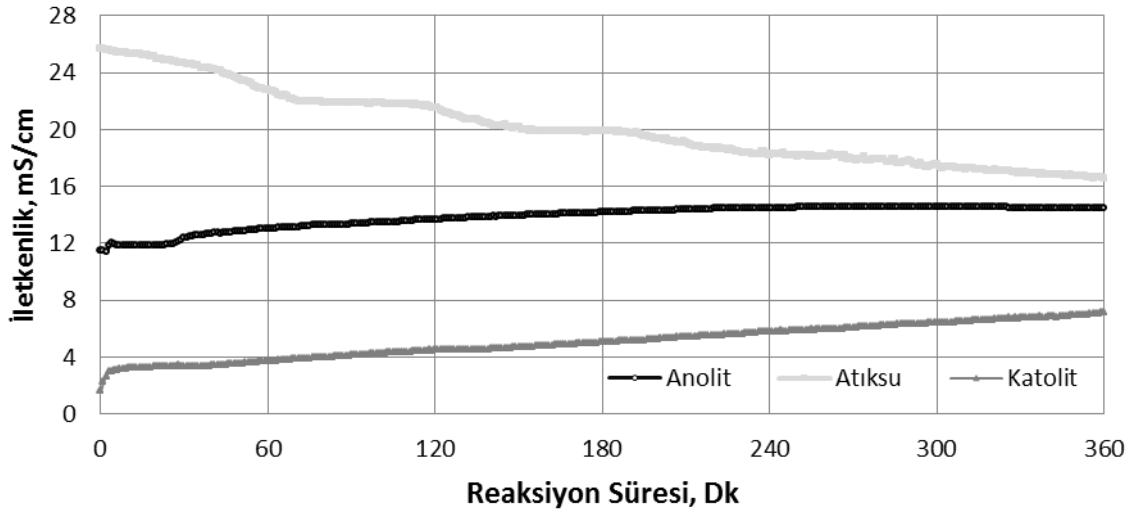


Şekil 5.101 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere atıksuyun iletkenlik değeri azalmıştır. Başta 26 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında

13,6 mS/cm değerine düşürülebilmıştır. Anolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 10 mS/cm olan iletkenlik değeri 10,6 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 4 mS/cm olan iletkenlik değeri 10,2 mS/cm değerine kadar yükselmiştir.

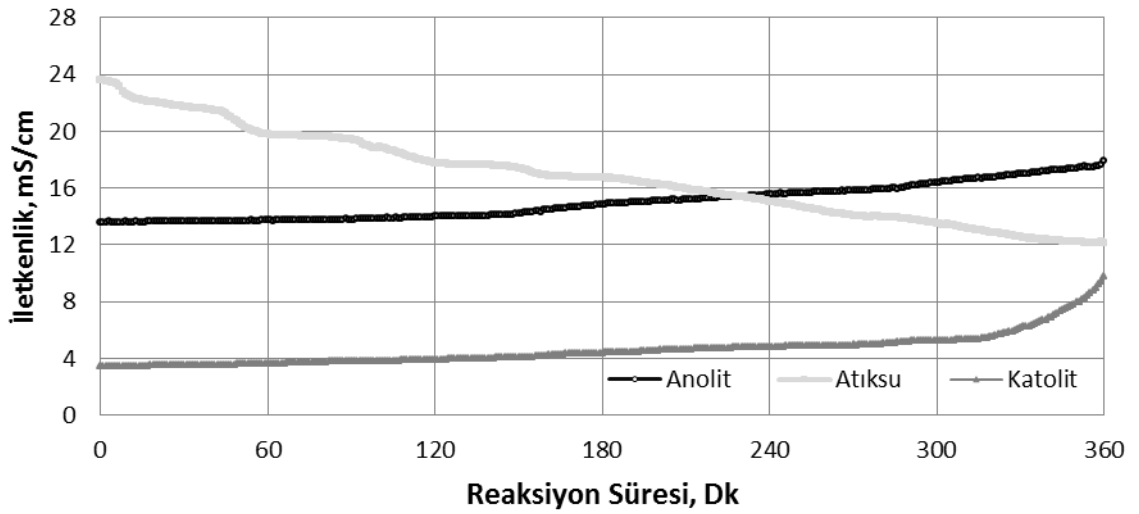
#### 5.3.5.5. Çalışma (2 Membran, 10V)



Şekil 5.102 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksudaki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 16 mS/cm değerine düşürülebilmıştır. Anolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 11,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 14,5 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 1,9 mS/cm olan iletkenlik değeri 7 mS/cm değerine kadar yükselmiştir.

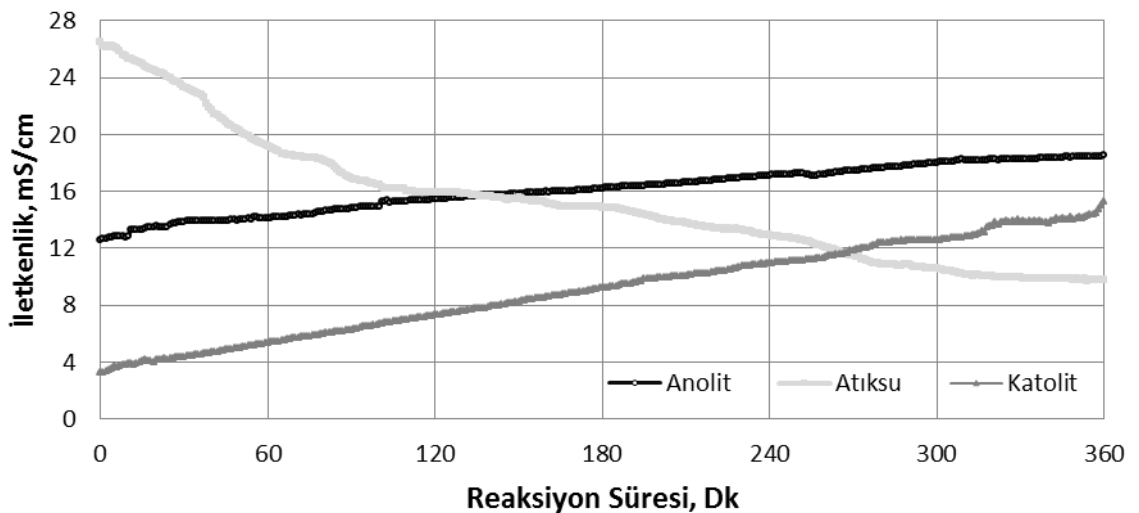
### 5.3.5.66. Çalışma (2 Membran, 15V)



Şekil 5.103 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 23,9 mS/cm olan iletkenlik değeri 12 mS/cm değerine kadar düşürülebilmştir. Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 13,7 mS/cm değerinden 18 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 3,2 mS/cm olan iletkenlik değeri 9,9 mS/cm değerine yükselmiştir.

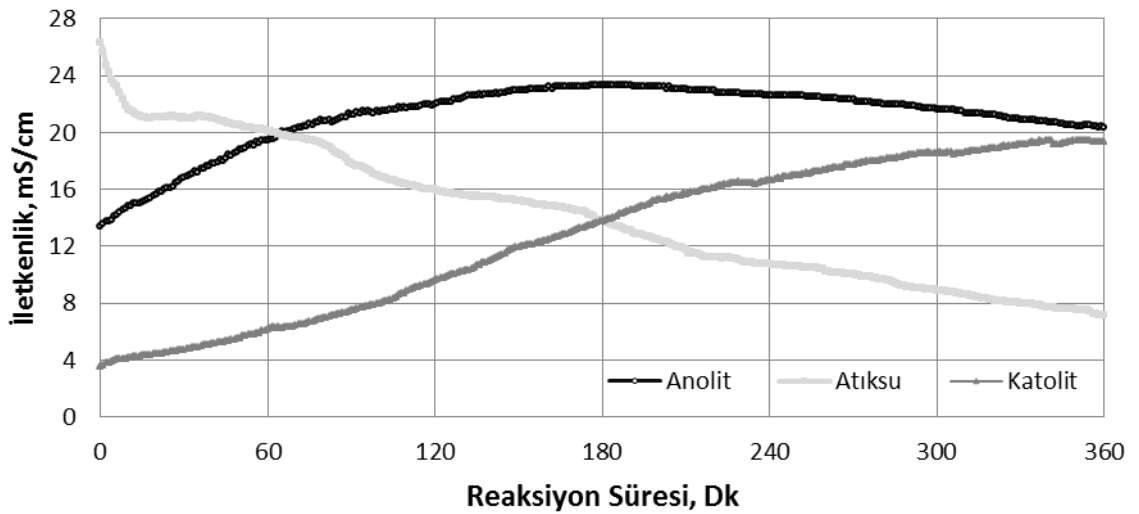
### 5.3.5.77. Çalışma (2 Membran, 20V)



Şekil 5.104 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere atıksuyun iletkenlik değeri azalmıştır. Başta 26 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 10 mS/cm değerine düşürülebilmştir. Anolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 12,7 mS/cm olan iletkenlik değeri 18,4 mS/cm değerine kadar yükselmiştir. Çalışma sonucunda katolitin iletkenlik değeri 3 mS/cm değerinden 15 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.5.8 8. Çalışma (2 Membran, 25V)

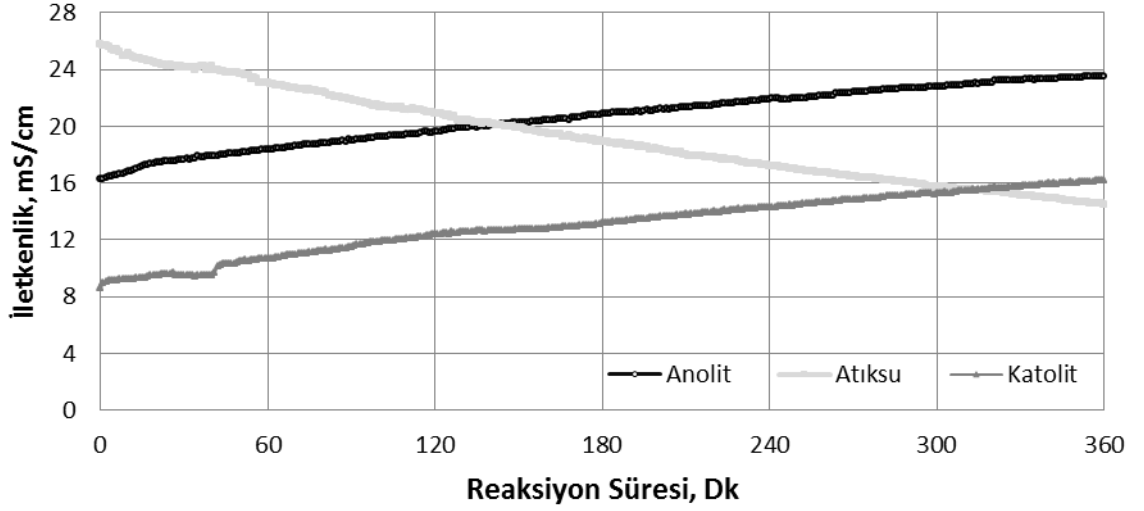


Şekil 5.105 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 7,6 mS/cm değerine indirilebilmiştir. Anolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 13 mS/cm olan iletkenlik değeri 20,4 mS/cm değerine yükselmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 4 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 19,4 mS/cm değerine yükselmiştir.



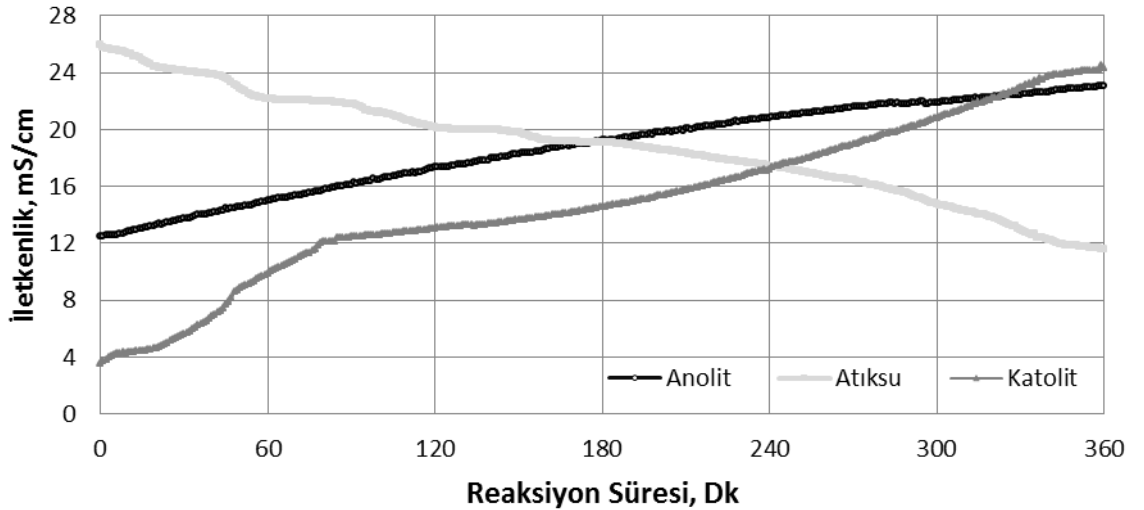
### 5.3.5.99. Çalışma (3Membran, 10V)



Şekil 5.106 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Çalışma sonucunda atıksuyun iletkenlik değeri 26 mS/cm değerinden 14,2 mS/cm değerine düşüş göstermiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 16 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 22,7 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 9 mS/cm olan iletkenlik değeri 16 mS/cm değerine yükselmiştir.

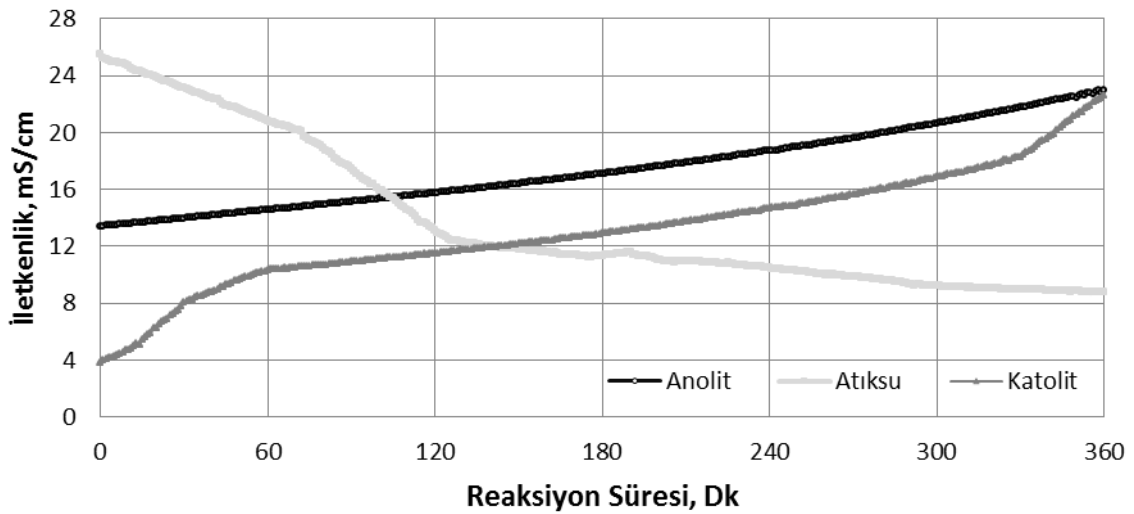
### 5.3.5.10 10. Çalışma (3Membran, 15V)



Şekil 5.107 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 26 mS/cm olan iletkenlik değeri 11,9 mS/cm değerine indirilebilmiştir. Çalışma sonucunda anolitin iletkenlik değeri 12,2 mS/cm değerinden 23,1 mS/cm değerine yükselmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere katolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 4 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 24 mS/cm değerine yükselmiştir.

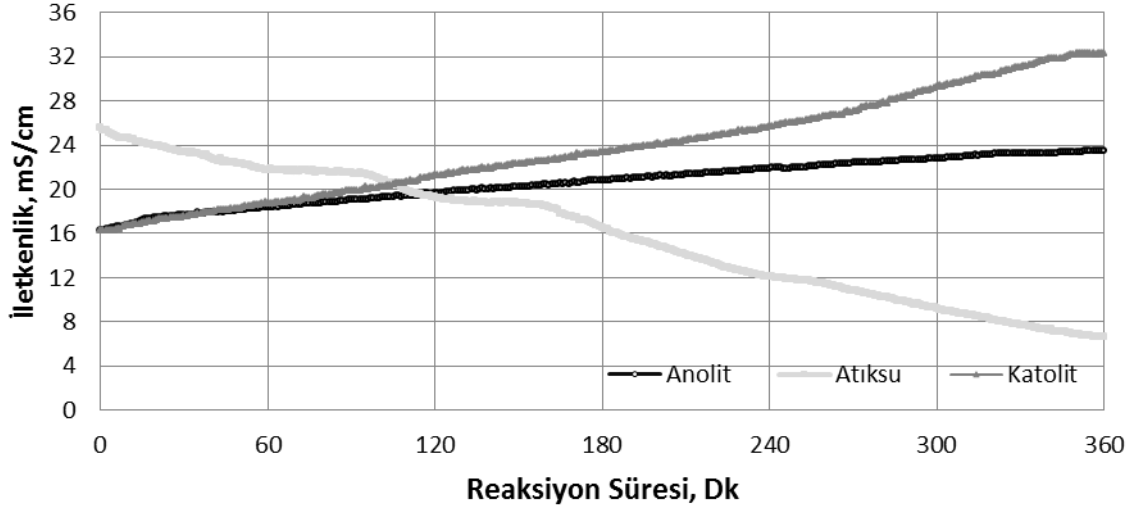
### 5.3.5.11 11. Çalışma (3Membran, 20V)



Şekil 5.108 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin düştüğünü görüyoruz. Başta 25 mS/cm olan iletkenlik değeri 8,2 mS/cm değerine kadar düşürülebilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 13,2 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 22 mS/cm değerine yükselmiştir. Çalışma sonucunda katolitin iletkenlik değeri 4 mS/cm değerinden 23 mS/cm değerine yükselmiştir.

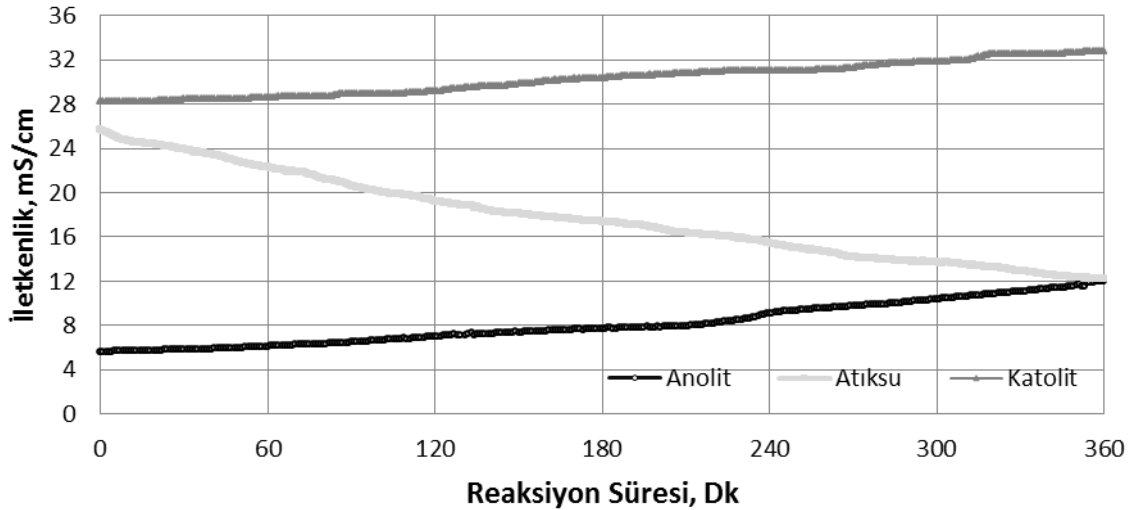
### 5.3.5.12 12. Çalışma (3Membran, 25V)



Şekil 5.109 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere atıksuyun iletkenlik değeri azalmıştır. Başta 25 mS/cm olan iletkenlik değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 7 mS/cm değerine düşürülebilmiştir. Anolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış göstermiştir. İlk aşamada 16 mS/cm olan iletkenlik değeri 23,8 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 16 mS/cm olan iletkenlik değeri 32 mS/cm değerine yükselmiştir.

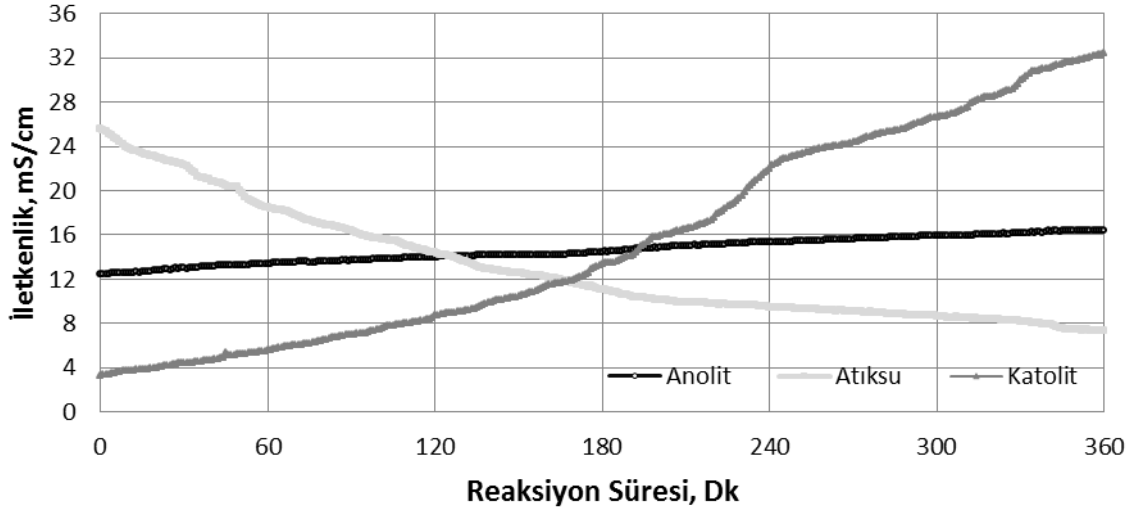
### 5.3.5.13 13. Çalışma (4Membran, 10V)



Şekil 5.110 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksudaki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 25,2 mS/cm olan iletkenlik değeri 12 mS/cm değerine dūřürőlebilmiřtir. Anolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin dūřtőđünü gőrőyoruz. Bařta 5,9 mS/cm olan iletkenlik değeri 12 mS/cm değerine kadar yőkselmiřtir. Katolitin iletkenlik değeri beklenildiği gibi artış gőstermiřtir. İlk aşamada 28 mS/cm olan iletkenlik değeri 33 mS/cm değerine yőkselmiřtir.

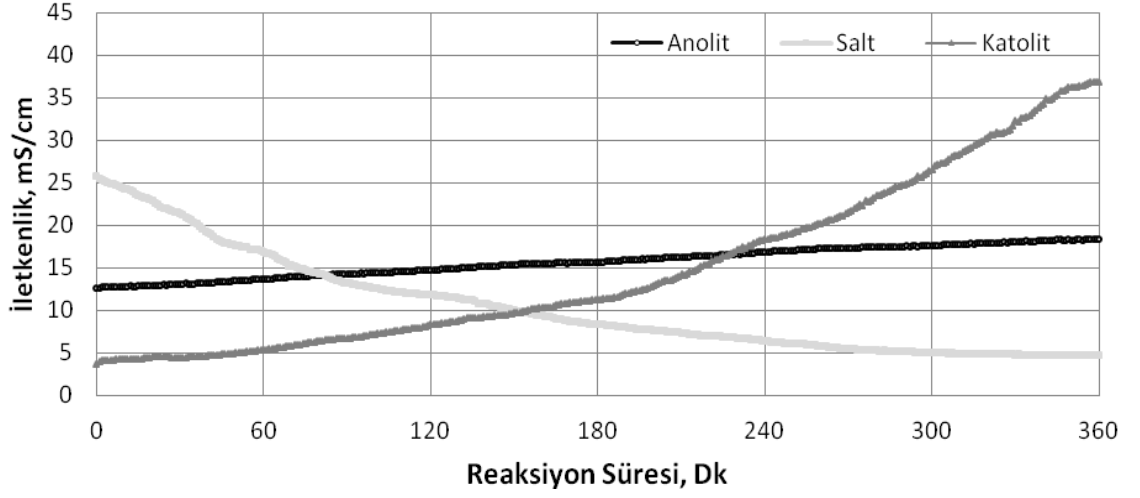
#### 5.3.5.14 14. Çalışma (4Membran, 15V)



şekil 5.111 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodializ prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Çalışma sonucunda atıksuyun iletkenlik değeri 25 mS/cm değerinden 7,9 mS/cm değerine dūřő gőstermiřtir. Anolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 12,5 mS/cm olan iletkenlik değeri 16,5 mS/cm değerine yőkselmiřtir. Katolit için yapılan çalışma sonuçlarına baktığımızda iletkenlik değerlerinin dūřtőđünü gőrőyoruz. Bařta 4 mS/cm olan iletkenlik değeri 32 mS/cm değerine kadar yőkselmiřtir.

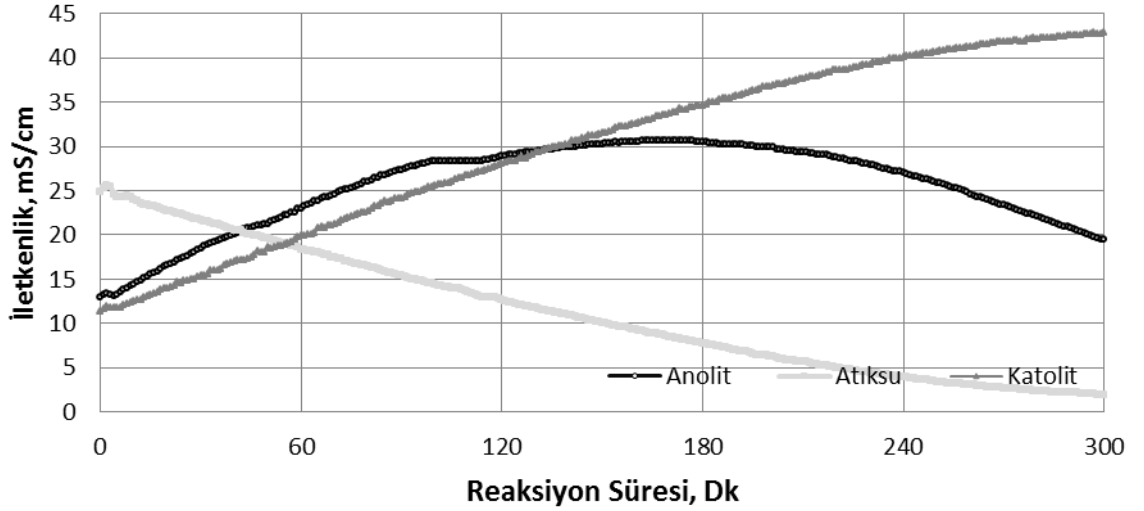
### 5.3.5.15 15. Çalışma (4 Membran, 20V)



Şekil 5.112 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksu iletkenliği beklenildiği ölçüde düşüş göstermiştir. 20V'luk bu çalışmada beklenildiği gibi reaksiyon hızının 15 V luk çalışmanın ötesinde olduğu görülmektedir. Başlangıçta 25,74mS/cm'lik iletkenlik değeri bu çalışma ile 360 dakikalık süre sonunda 4,68mS/cm seviyelerine kadar indirgenebilmiştir. Nitekim yaşlı sızıntı suları için bu değer oldukça iyi kabul edilebilir. Anolit ve katolitte ise artışlar yine görülmektedir.

### 5.3.5.16 16. Çalışma (4Membran, 25V)



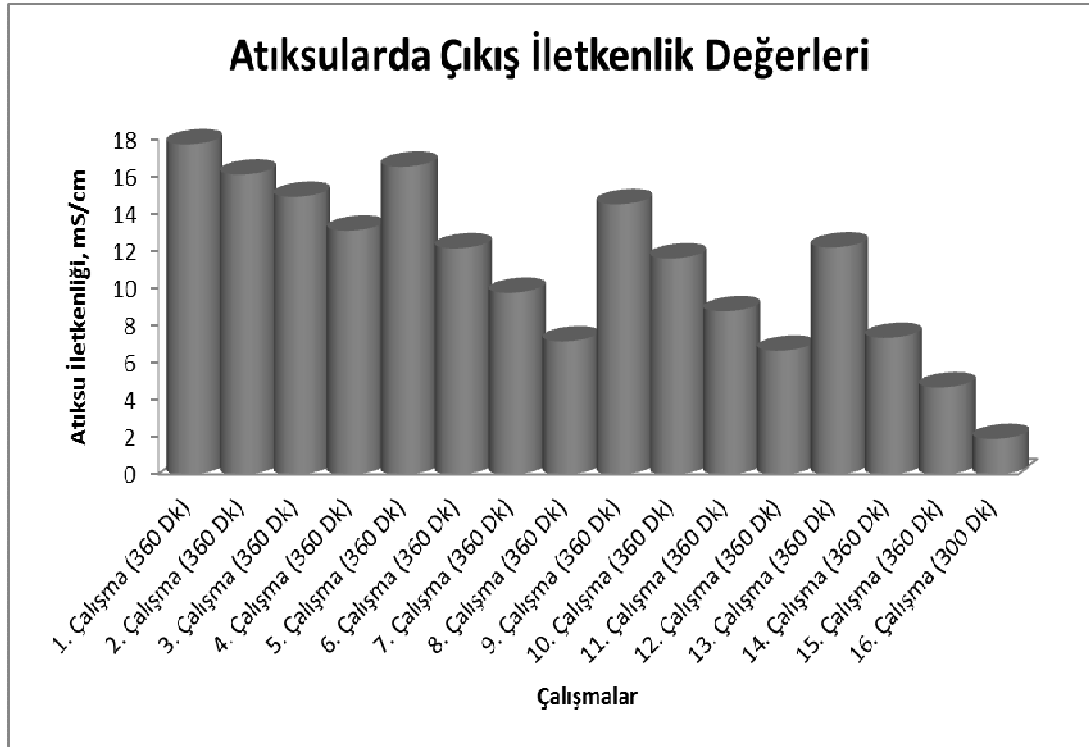
Şekil 5.113 Yaşlı sızıntı suyundan elektrodiyaliz prosesiyle diluat, anolit ve katolitte iletkenlik değişimi

Atıksuyun iletkenlik değeri beklenildiği gibi düşüş göstermiştir. İlk aşamada 24,4 mS/cm olan iletkenlik değeri 2 mS/cm değerine indirilebilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda tahmin edildiği üzere anolitin iletkenlik değeri artmıştır. Başta 13 mS/cm olan iletkenlik

değeri çalışmanın ilerleyen aşamalarında 19,7 mS/cm değerine yükselmiştir. Katolitteki iletkenlik değişimine bakıldığında, beklenildiği gibi çalışmanın başında 10,8 mS/cm olan iletkenlik değeri 42,8 mS/cm değerine yükselmiştir.

### 5.3.5.17 Genel Değerlendirme

Farklı çalışmalara ilişkin sonuçların harmanlandığı bir şekil genel hatlarıyla daha iyi bir sonuç verebilir. Bu nedenle aşağıdaki şekilde genel hatlarıyla çalışma özetlenmiştir.



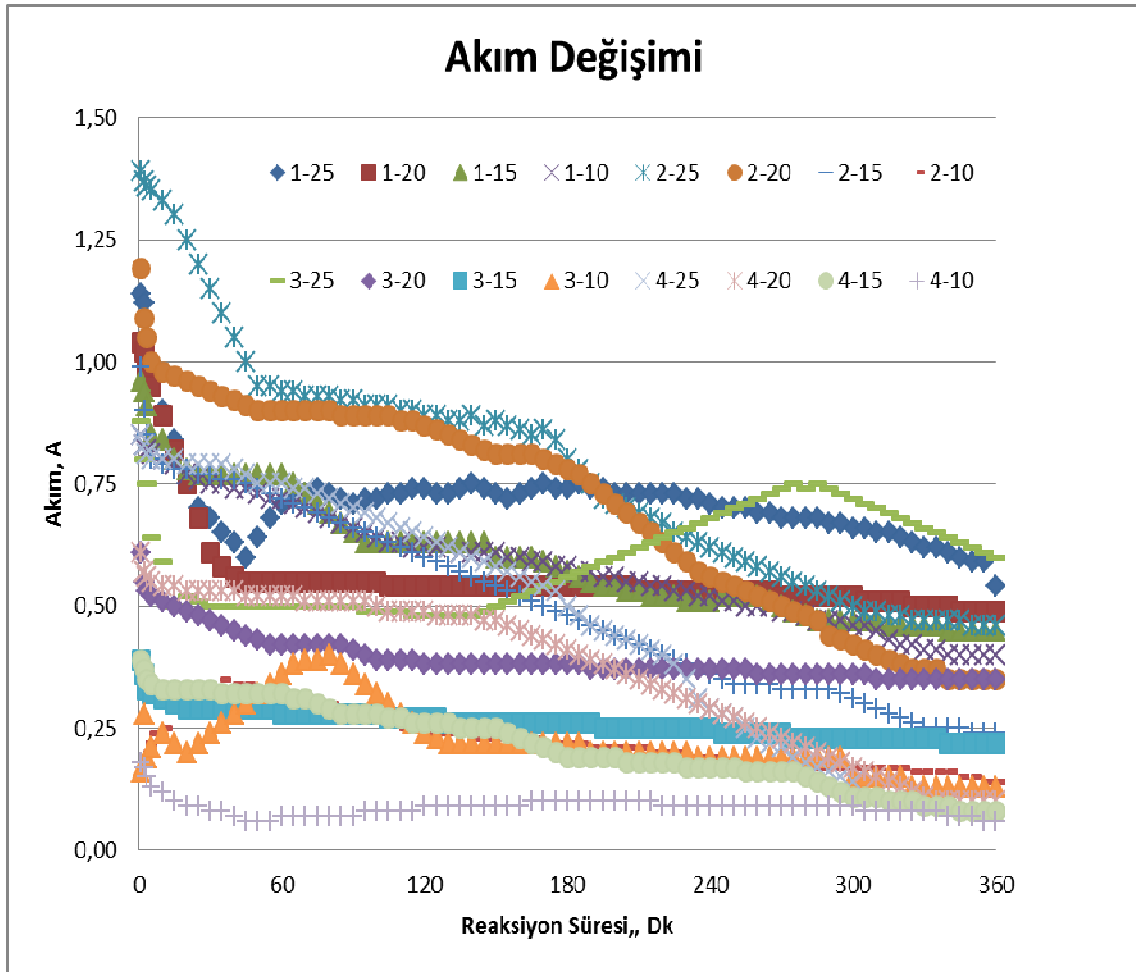
Şekil 5.114 Yaşlı sızıntı sularının ED prosesiyle iletkenlik değişimleri

Çalışmadan da görüleceği üzere 4'er çalışmada iletkenlik değerleri yükselmektedir. Bunun nedeni, sırasıyla 10, 15, 20 ve 25 V'luk çalışmaların verilmesidir. Elektriksel gerilim kuvveti arttıkça verimin arttığı rahatlıkla görülebilmektedir. Yine membran set sayısı arttıkça da verimin giderek düştüğü görülmektedir. Bu atıksu tipinde de genç sızıntı suyuna benzer, orta yaşlı sızıntı suyuna ise kısmen benzer sonuçlar elde edilmiştir. Artan membran sayısı genç sızıntı suyu gibi yaşlı sızıntı suyunda da etkinliğini göstermiştir. Tüm çalışmalar 360 dakika sürerken 4 membranlı 25 V'luk çalışmanın 300 dakikada tamamlandığını görebilmekteyiz. Yine de farklı sızıntı suları üzerindeki ED prosesinin etkisi sonuçlar kısmında daha detaylı irdelenecektir.

Elektrodializ prosesi için en önemli sorun ve yaygın kullanımı önündeki en büyük engel şüphesiz tıkanmadır. Tıkanma mekanizmasının daha iyi irdelenmesi bu çalışma için

oldukça önemlidir. Tıkanmanın önlenmesi için en önemli adım tıkanmaya neden olan bileşenlerin belirlenmesidir. Buna ilişkin yapılan analizler bu başlık altında akım değişimi açısından aşağıda özetlenmekte detaylı olarak ise ilerleyen başlıklarda sunulmaktadır.

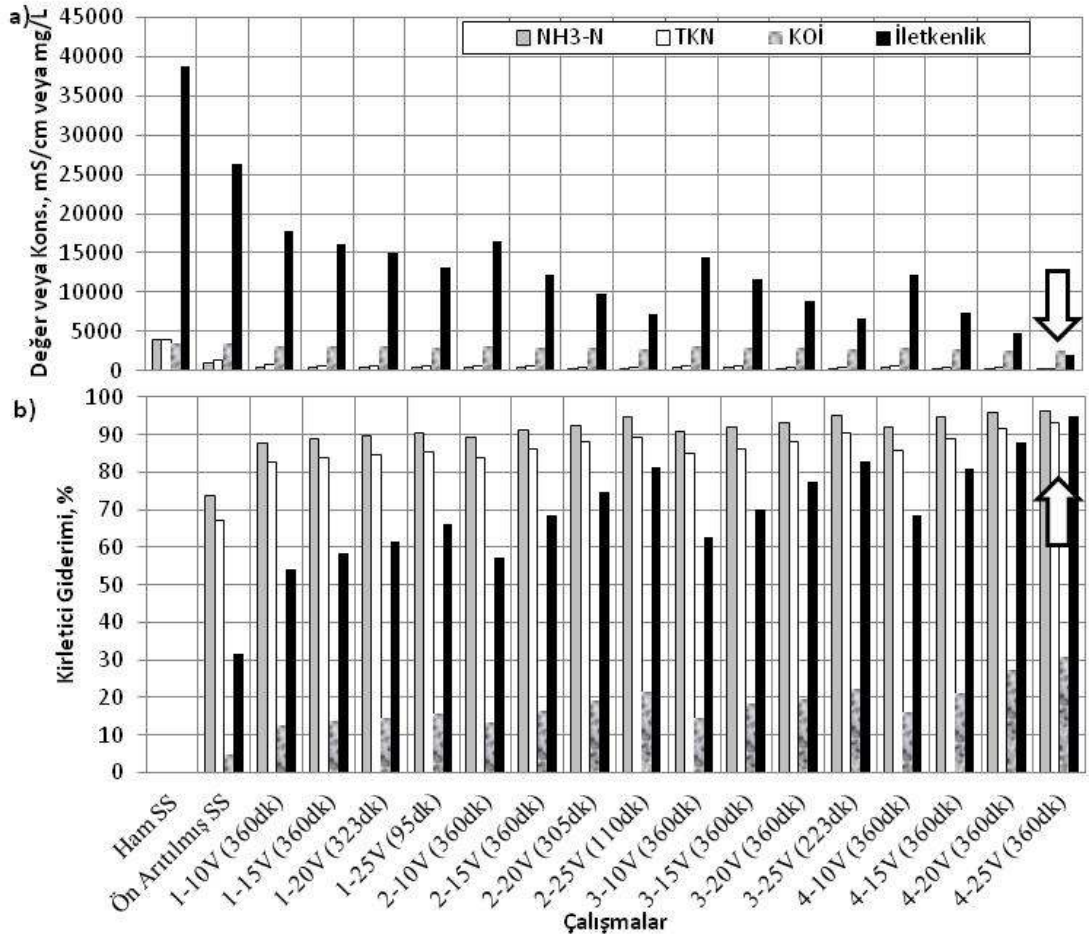
Çalışma boyunca her iki işletme şartı için de en etkin sonuç akımdır. Aşağıdaki şekilde yaşlı sızıntı suları içi akım değişimleri verilmektedir.



Şekil 5.115 Yaşlı sızıntı sularının ED prosesi esnasında akım değişimleri

Akım değişimlerinde görüldüğü gibi artan membran sayısı ile başlangıç akım değeri düşerken akımın zamanla düşüş miktarı da artan membran sayısı ile azalmaktadır. Tek membranlı çalışmalarda başlangıç akım değeri yüksek seviyelerde iken zamanla tek membranın hemen tıkanmasıyla bu akım değerleri oldukça düşüş gösterebilmektedir. Oysa yüksek membran sayılı çalışmalar düşük akım değeriyle başlasa da akım değerini koruyarak devam etmesi (tıkanma olayı az olması nedeniyle akım düşüşü de az olmaktadır) artım verimliliğinin devamını sağlamaktadır.

Ayrıca yaşlı sızıntı suyunun elektrodializ prosesiyle arıtımı sonrasında elde edilen giderim verimleri de Şekil 5.116 a ve 5.116 b de verilmektedir.



Şekil 5.116 Yaşlı sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliği ve temel kirletici parametrelerin değişimi

Şekil 5.116 incelendiğinde yaşlı sızıntı sularındaki temel kirletici parametrelerin elektrodializ prosesiyle etkin bir biçimde giderilebildiği görülmektedir. Özellikle 25 V'luk çalışmalarda daha yoğun bir giderim verimi elde edildiği ortadadır. Bunun nedeni elektriksel gerilim artışı ile akımın artışı, akım artışı ile de iyon taşınımının daha verimli gerçekleşmesidir. Ayrıca her ne kadar 2-25V, 3-25V ve 4-25 V'luk çalışmalarda birbirine çok yakın verimler ve giderimler görülse de artan membran sayısına paralel olarak reaksiyon süresini de kısalttığı görülmektedir. Bunun nedeni de artan membran sayısı ile birlikte atıksuyun geçtiği alan artmakta ve tıkanma mekanizmasının daha uzun sürmesidir. Tıkanmayan membranlarda da direnç oluşmadığı için akım değeri daha yüksek seviyelerde kalmaktadır. Nitekim Şekil 5.115'de de bu sonuç açıkça görülmektedir.



### 5.3.6 Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu süreç içerisinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki genç, orta yaşlı ve yaşlı sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle deiyonizasyon işlemi başarıyla gerçekleştirilebilmektedir. Orta yaşlı ve yaşlı sızıntı sularındaki çalışmalarda daha etkin sonuçlar alınsa da yaşlı sızıntı suyunda da kısmen etkili sonuçlar görülebilmektedir. Uygulamaya bakıldığında da en fazla karşılaşılan sızıntı suyu tipinin orta yaşlı sızıntı suyu olduğunu düşündüğümüzde ED prosesinin sızıntı suları için uygulanabilir olduğu görülmektedir. Özellikle her 3 sızıntı suyu tipinde de 2mS/cm gibi çok düşük iletkenliklere ulaşılması bu prosesin iyonik türler üzerinde farklı karakteristikteki atıksular için etkin olabileceğinin önemli bir göstergesidir. Nitekim bu tez çalışmasında yalnızca sızıntı suyu değil eş zamanlı olarak iyonik değeri yüksek farklı atıksuların da arıtılabilirlikleri üzerinde kanaat oluşturmuştur. Sızıntı suları için en büyük dezavantaj olan farklı yaşların farklı karakteristiklere sahip olması ve herhangi bir tür için tasarlanan arıtım yönteminin diğer sızıntı suyu için etkin olamaması ve sistem eğer kurulduysa atıl kalması olarak kabul edilebilir ED yönteminde ise her 3 sızıntı suyunun da oldukça düşük bir iletkenlik değeri olan 2 mS/cm değerinin altına düşürülmesi sağlanmıştır.

Çalışma iyi irdelendiğinde en önemli bileşenin akım olduğu görülmüştür. Dolayısıyla akım değerinin arttırılması bu çalışma için en önemli unsurdur. Akım değerinin artışı iki Şekilde sağlanabilir. Bunlardan ilki elektriksel gerilim kuvvetinin arttırılmasıdır. Bu amaçla membran yapıları belirlenerek dayanabileceği elektriksel gerilim ve amper değerleri belirlenerek sistem ona göre çalıştırılarak arıtım süresi düşürülebilir. Ayrıca ilerleyen zamanda membran tıkanıklıkları ile akım değeri düşmektedir. Bu nedenle membran kirliliklerinin önlenmesiyle de arıtım verimi st düzeye çıkabilmektedir. Yapılan kirletici tespit analiz çalışmalarında elde elden sonuçlar değerlendirilerek en etkin temizleme sistemi belirlenerek sisteme entegre edilecektir.

Genellikle sızıntı suyu tesislerinde yeni hücreler nedeniyle her zaman, genç (yeni hücrelerden) ve yaşlı (eski hücrelerden) sızıntı suyu bulunur. Bu Şartlarda da sızıntı sularına orta yaşlı sızıntı suyu denebilir. Bir başka deyişle sızıntı suyu tesisleri ilk kurulduğunda 2 sene genç sızıntı suyu verirken, ilerleyen yıllarda sürekli orta yaşlı

sızıntı suyu verir. Tesis kapatılana dek de orta yaşlı sızıntı suyu hakimiyeti devam eder. Çünkü sürekli yeni depolamalar yapılarak yaşlı sızıntı suları yeni gelen genç sızıntı suları ile birbirlerini nötrleştirerek orta yaşlı sızıntı suyu gibi davranırlar. Bu açıdan bakıldığında orta yaşlı sızıntı suyu üzerindeki çalışma ED prosesi için çok önemlidir. Orta yaşlı sızıntı suyu sonuçlarına da dikkat edildiğinde şu sonuçlara varılmıştır;

Membran seti sayısı ve elektriksel gerilim gibi önemli işletme şartlarının da verime olan etkisi bu çalışma kapsamında irdelenmiştir. Çalışma boyunca elde edilen sonuçlar, elektrodializ proses mekanizmasıyla örtüşerek beklenen sonuçları vermiştir. Nitekim istenilen seviye olan 2mS/cm'lik değerlere 5 farklı çalışmada ulaşılabilmiştir. Yine yapılan çalışmaların tamamında iletkenlik değeri 10mS/cm değerinin altına inerken 10. çalışmada iletkenlik değeri 4mS/cm değerinin altına düşürülmüştür.

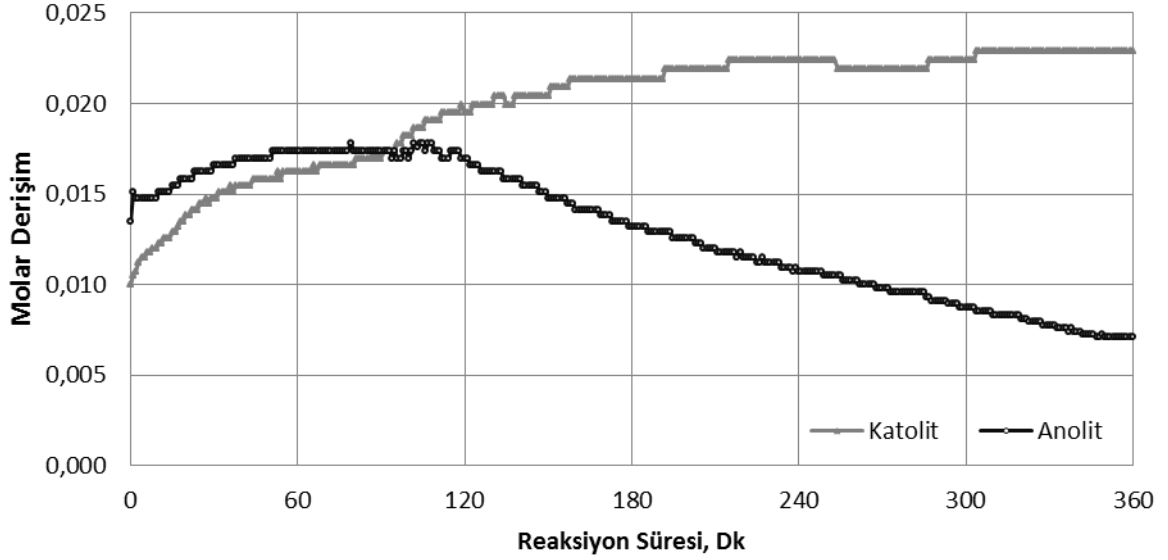
Yapılan optimizasyon çalışmaları incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Artan elektriksel gerilim değerleri akımı arttırmakta, akımla birlikte arıtım verimi de artmaktadır.
- Membranların zarar görmeyeceği en yüksek elektriksel gerilim değerinde çalışmak arıtım verimini arttıracak, hatta arıtım süresini de düşürebilecektir.
- Membran sayılarının artması, direnç artışına neden olduğu için ilk bakışta verimi düşürmektedir. Yalnız ilerleyen süreçte artan membran sayılı sistemlerde tıkanıklığın çok daha az oluşu membran sayısının artmasını avantajlı kılabilir. Bu açıdan bakıldığında tıkanmayacak ölçüde az sayıda membran kullanımının daha verimli olduğu görüşüne varılmaktadır.

## 5.4 Geri Kazanım Çalışmaları

### 5.4.1 Genç Sızıntı Sularından Geri Kazanım Çalışmaları

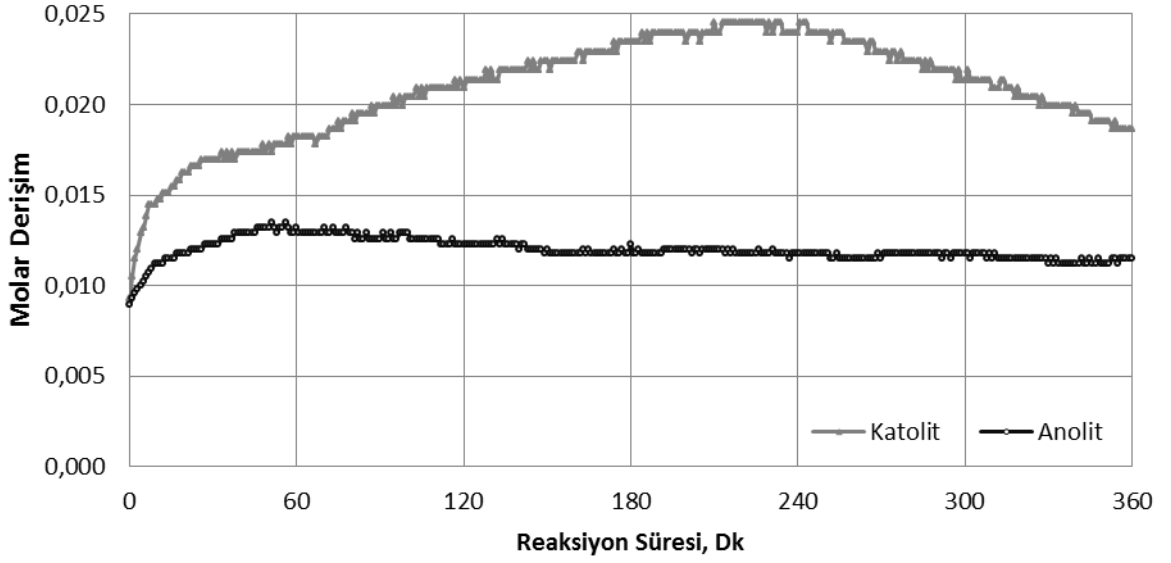
#### 5.4.1.1.1. Çalışma (1 Membran, 10V)



Şekil 5.117 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,015 M dan 0,018 M değerine yükselmiştir.  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar oluşan organik asitlerin zamanla ortamdaki uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Son olarak  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,007 olarak ölçülmüştür. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,023 M değerine yükselmiştir.

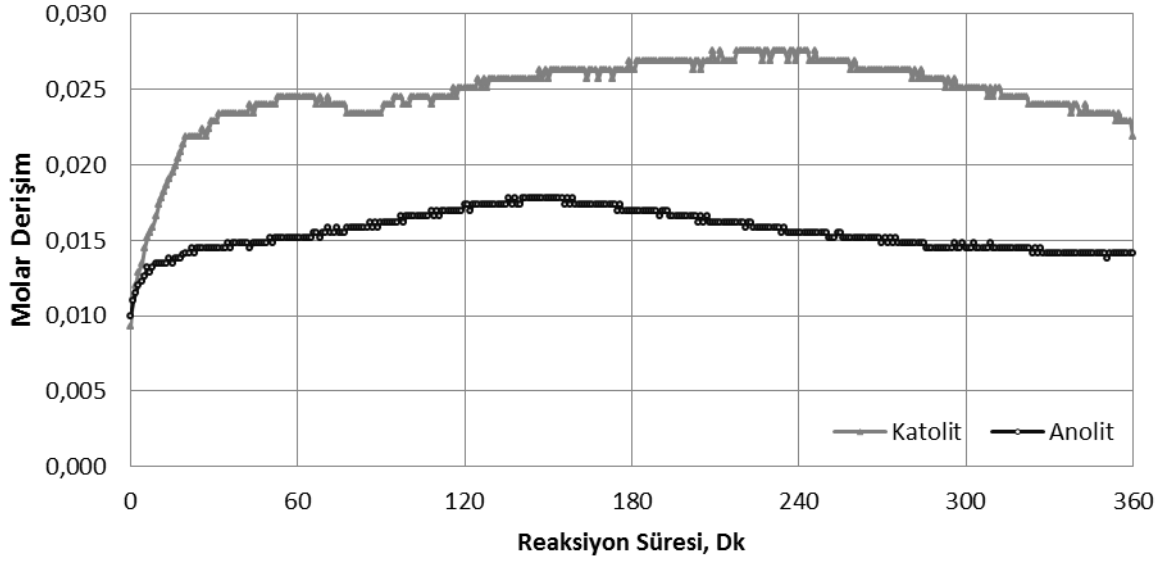
#### 5.4.1.22. Çalışma (1Membran, 15V)



Şekil 5.118 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,009 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,013 olarak ölçülmüştür. Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,025 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın bazı kısımlarında azalma görülmüştür. Bu azalmanın sebebi olarak atıksuda bulunan  $NH_4^+$  iyonunu gösterebiliriz.  $NH_4^+$  iyonu katolite geçtikten sonra pH daki artışa bağlı olarak  $NH_3$  e dönüştüğünden uçucu forma geçer ve zamanla ortamdaki pH nın azalmasına sebep olur. Nihai olarak ölçülen  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,019 M dir.

#### 5.4.1.33. Çalışma (1 Membran, 20V)

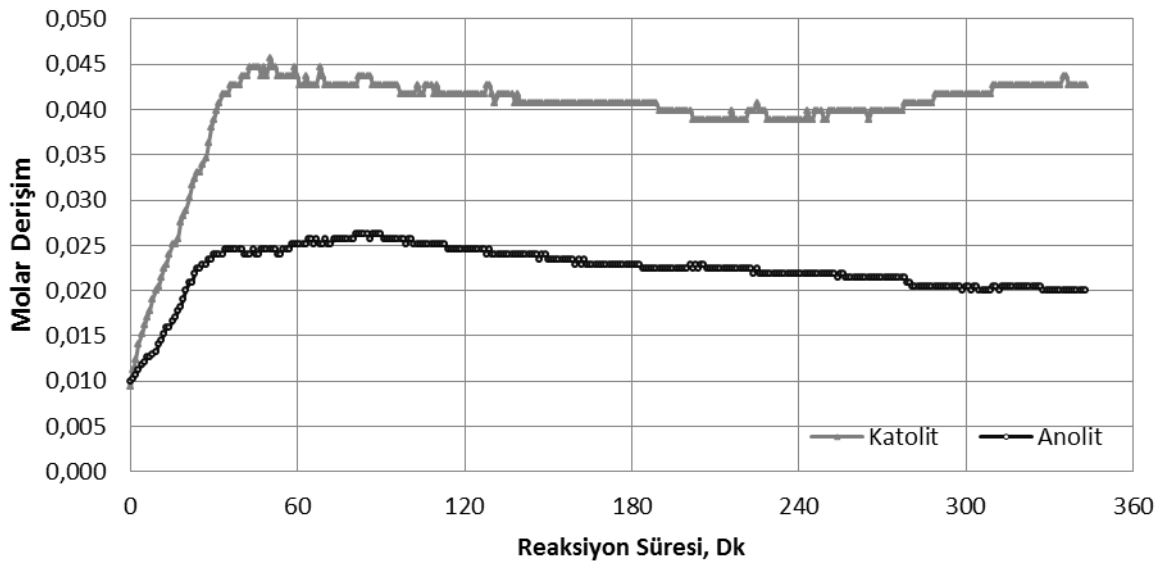


Şekil 5.119 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,014 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın bazı kısımlarında molar konsantrasyonda azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi olarak oluşan organik asitlerin ortamdaki uzaklaşması gösterilebilir.

Çalışmada OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,023 M değerine yükselmiştir.

#### 5.4.1.44. Çalışma (1 Membran, 25V)

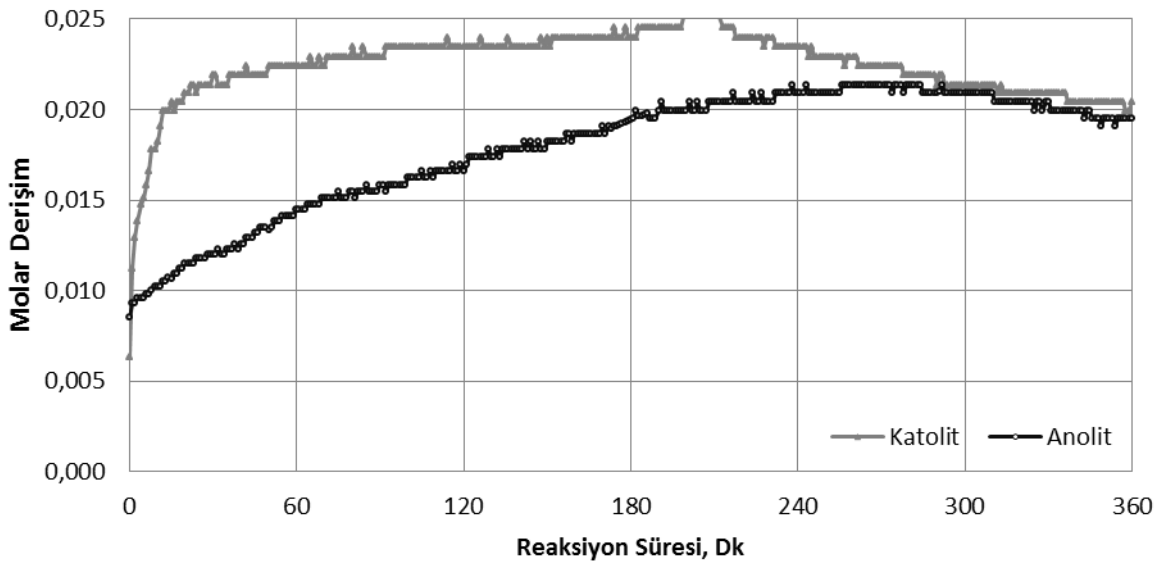


Şekil 5.120 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,025 M olarak ölçülmüştür.  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar oluşan organik asitlerin zamanla ortamdan uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Çalışma sonunda ölçülen  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,02 M'dir.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,045 M olarak ölçülmüştür.

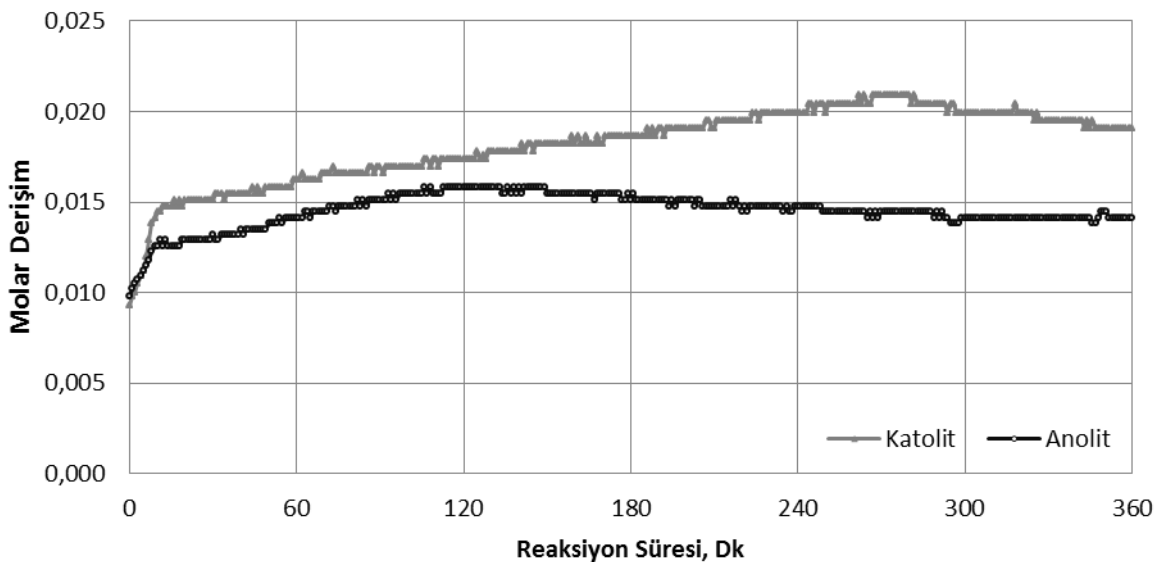
#### 5.4.1.55. Çalışma (2 Membran, 10V)



Şekil 5.121 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,009 M olan değer 0,018 M değerine yükselmiştir. Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,007 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,02 M olarak ölçülmüştür.

#### 5.4.1.66. Çalışma (2 Membran, 15V)

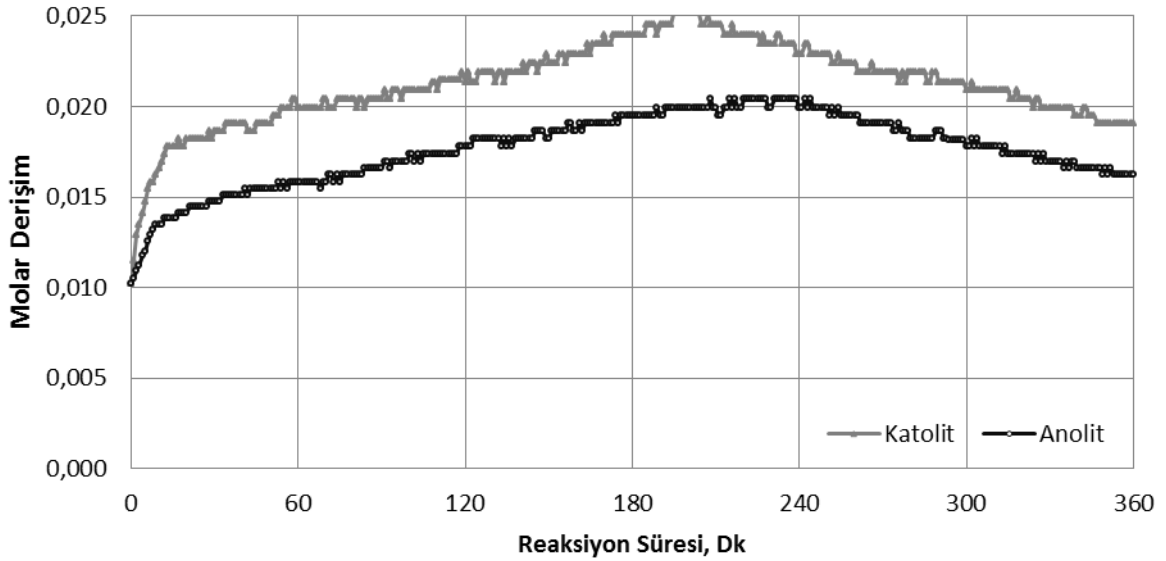


Şekil 5.122 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,014 M değerine yükselmiştir. Başlardaki artıştan sonra  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonunda önemli bir değişim olmamıştır.

Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,02 M değerine yükselmiştir.

#### 5.4.1.77. Çalışma (2 Membran, 20V)



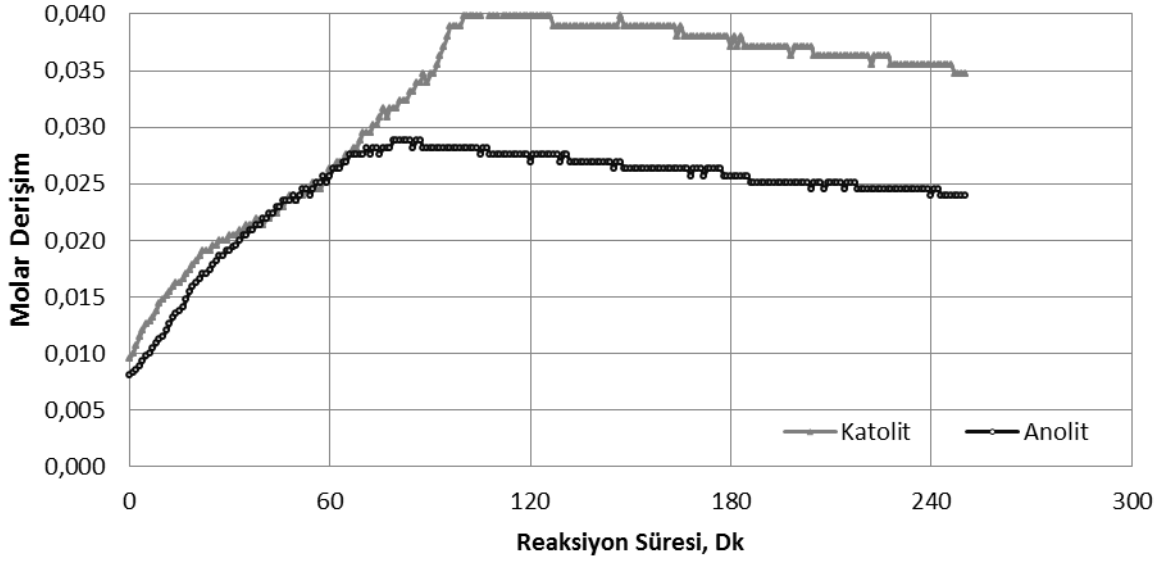
Şekil 5.123 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,02 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın bazı kısımlarında molar konsantrasyonda azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi olarak oluşan organik asitlerin ortamdan uzaklaşması gösterilebilir. Çalışma sonunda  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,017 M olarak ölçülmüştür.

Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,025 M değerine yükselmiştir.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar pH ya bağlı oluşan  $NH_3$ 'ün zamanla ortamdan uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir. Çalışmanın nihayetinde ölçülen  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,019 M olmuştur.



#### 5.4.1.88. Çalışma (2 Membran, 25V)

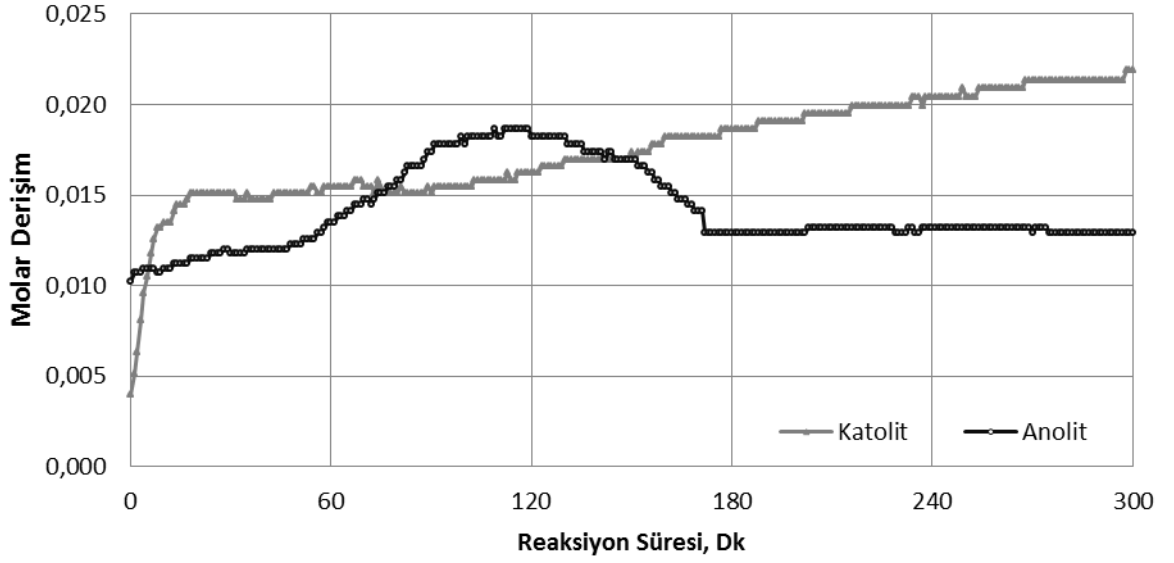


Şekil 5.124 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,009 M olan değer 0,03 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu değer 0,023 M değerine kadar düşmüştür.

Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,04 M değerine yükselmiştir. 120 dk ile 240 dk arasında ise bu değer kısmen düşerek 0,035 M değerine kadar gerilemiştir.

#### 5.4.1.99. Çalışma (3 Membran, 10V)

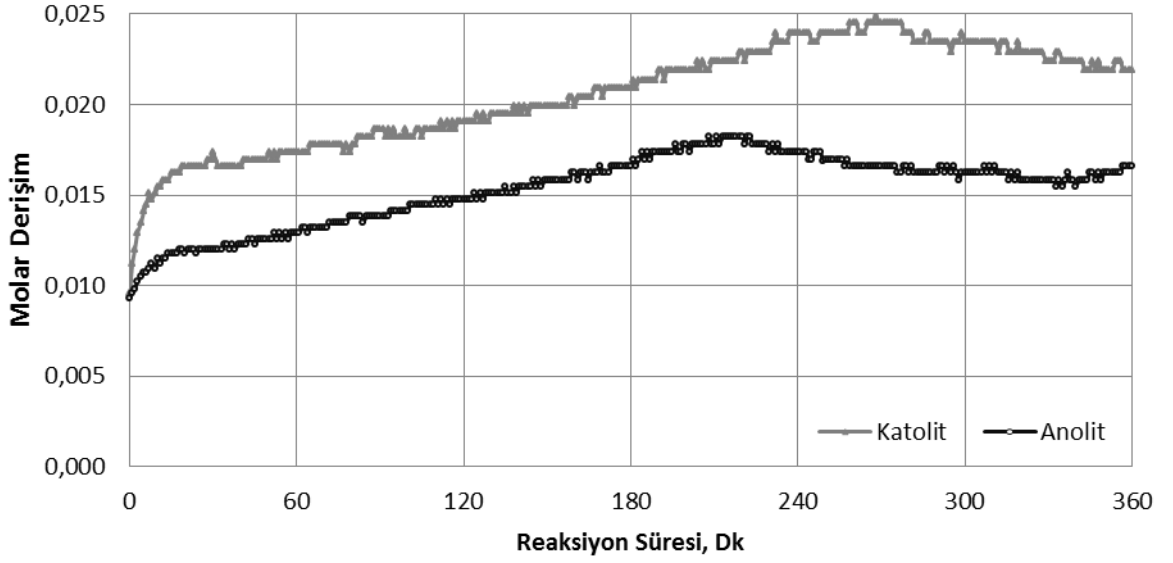


Şekil 5.125 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,019 M olarak ölçülmüştür. 120 dk ile 180 dk arasında H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,013 M değerine kadar düşmüştür. Bu aşamadan sonra H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonunda bir değişim olmamıştır.

Çalışmada OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,004 M olan değer 0,022 M değerine yükselmiştir. OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma süresince devam etmiştir.

#### 5.4.1.10 10. Çalışma (3 Membran, 15V)

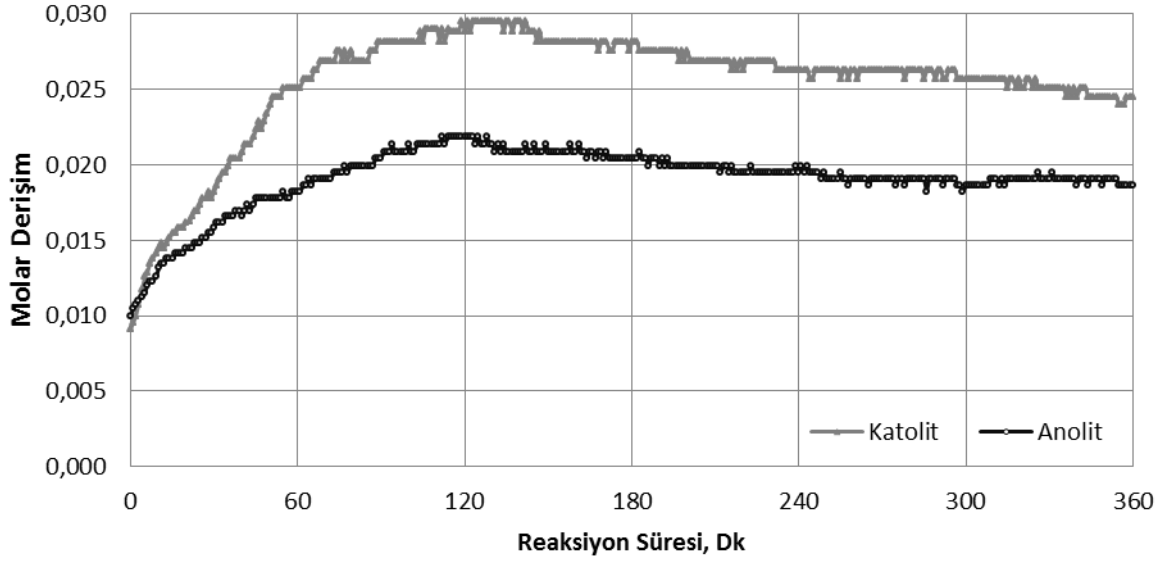


Şekil 5.126 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,016 M değerine yükselmiştir. Bu artış çalışma genelinde sürmüştür.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,022 M olarak ölçülmüştür.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma süresince devam etmiştir.

#### 5.4.1.11 11. Çalışma (3 Membran, 20V)

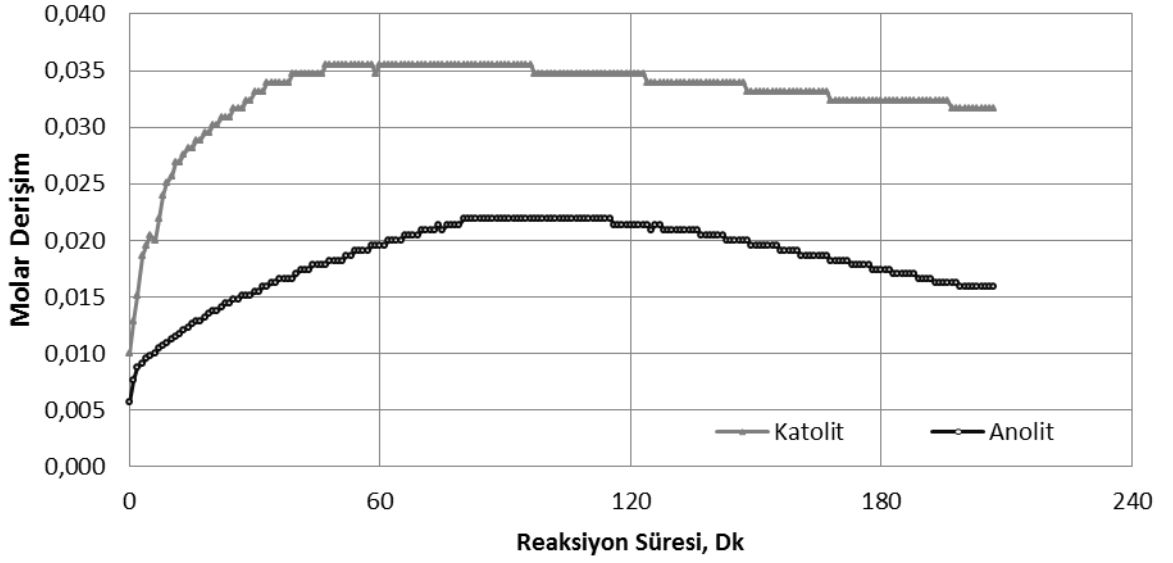


Şekil 5.127 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,022 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu değer 0,019 M'a kadar düşmüştür.

Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,03 M değerine yükselmiştir. 120 dk sonra bu değer düşmeye başlamış ve 0,025 M'a kadar gerilemiştir.

#### 5.4.1.12 12. Çalışma (3 Membran, 25V)

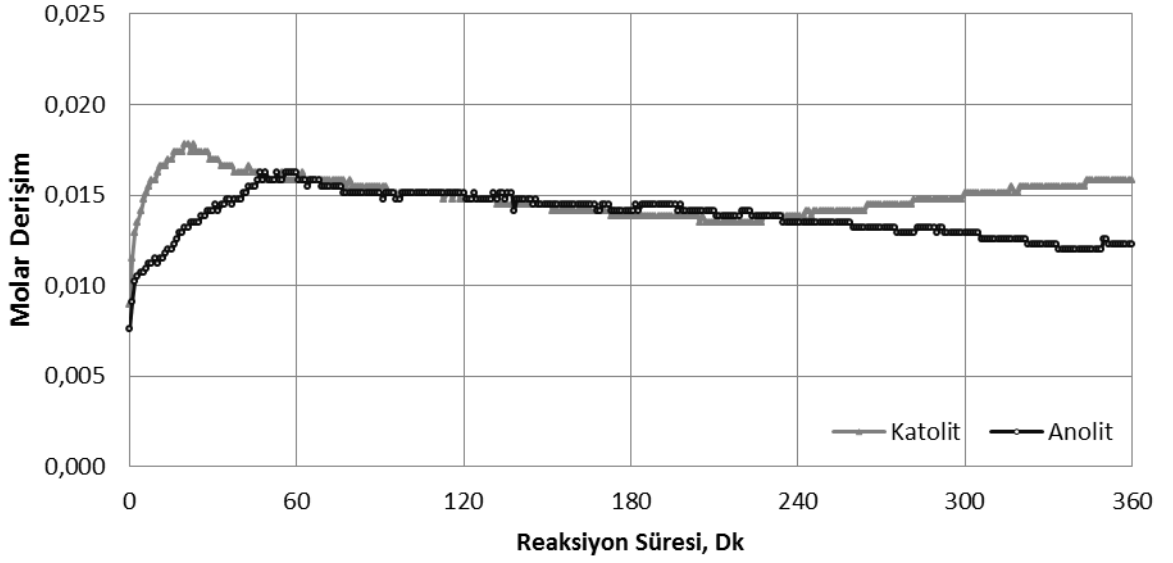


Şekil 5.128 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,006 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,022 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın son kısımlarında molar konsantrasyonda azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi olarak oluşan organik asitlerin ortamdaki uzaklaşması gösterilebilir. Çalışma sonunda H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,0016 M olarak ölçülmüştür.

Çalışmada OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,03 M değerine yükselmiştir.

#### 5.4.1.13 13. Çalışma (4 Membran, 10V)

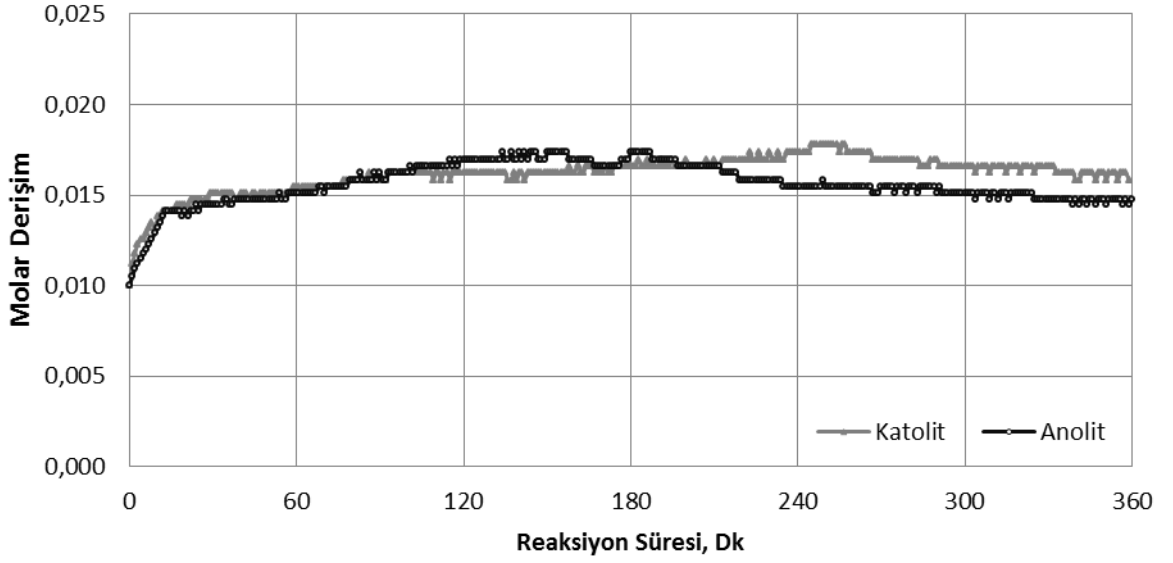


Şekil 5.129 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,007 M dan 0,016 M değerine yükselmiştir.  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. 60 dk'dan çalışma sonuna kadar olan bu azalmalar oluşan organik asitlerin zamanla ortamdan uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Çalışma sonucunda  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,013 M değerine kadar azalmıştır.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,009 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,016 M olarak ölçülmüştür. Bu artış çalışma genelinde sürmüştür.

#### 5.4.1.14 14. Çalışma (4 Membran, 15V)

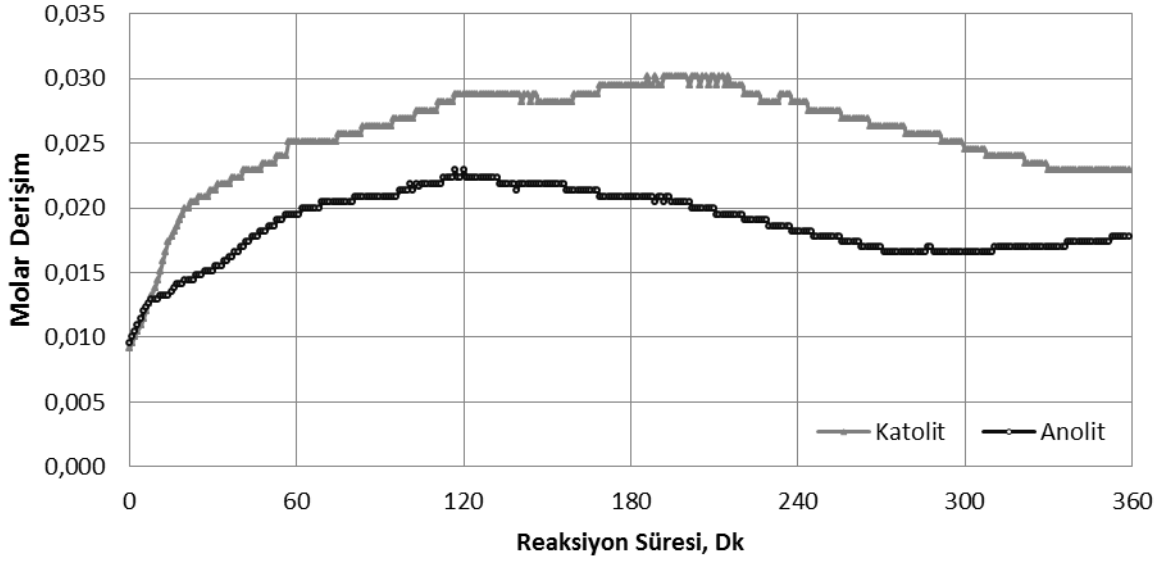


Şekil 5.130 Genç Sızıntı Suyun Elektrodiyalizi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,015 M olarak ölçülmüştür.

Çalışmada OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,016 M değerine yükselmiştir. OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonundaki artış çalışmanın başlarında hızlı artış gösterirken sonraki zamanlarda yavaş yavaş artış göstermiştir.

#### 5.4.1.15 15. Çalışma (4 Membran, 20V)



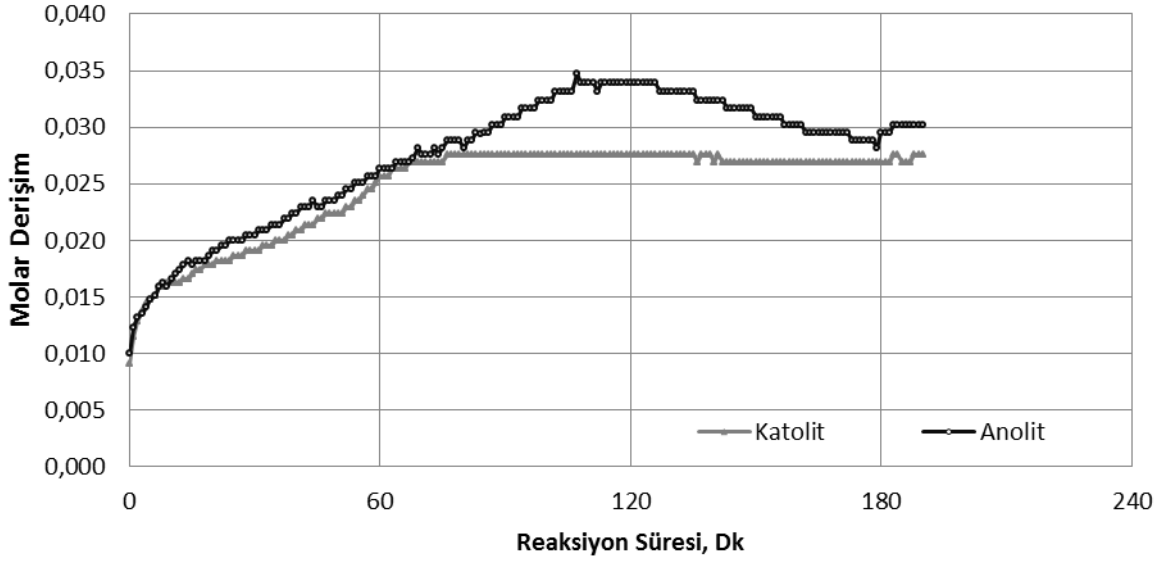
Şekil 5.131 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,023 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında molar konsantrasyonda azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi olarak daha önce de bahsettiğimiz gibi oluşan organik asitlerin ortamdaki uzaklaşması gösterilebilir. Çalışmanın sonunda H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,017 M değerine gerilemiştir.

Çalışmada OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,024 M değerine yükselmiştir.



#### 5.4.1.16 16. Çalışma (4 Membran, 25V)

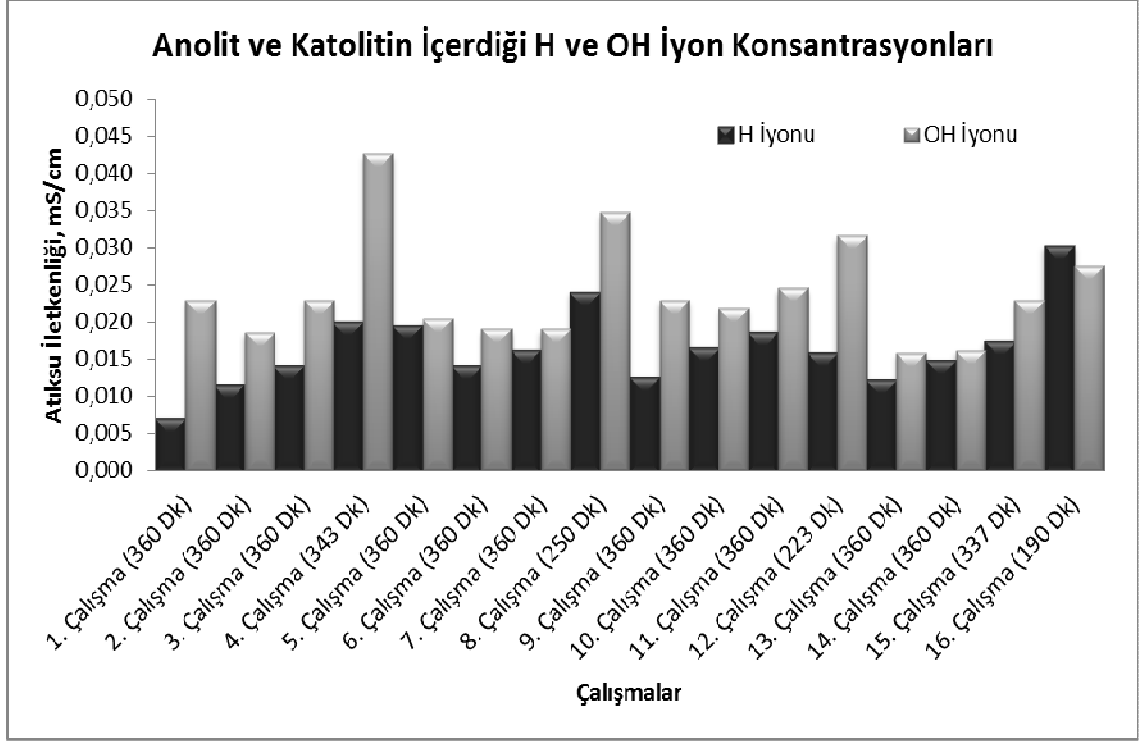


Şekil 5.132 Genç Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,03 M olarak ölçülmüştür.  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma süresince devam etmiştir. Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,027 M değerine yükselmiştir.

#### 5.4.1.17 Genel Değerlendirme

Yapılan çalışmalara dikkat edildiğinde elektrodializ sonrasında karışık asidik ve alkali çözeltilerin elde edildiği yalnız bu değerlerin çokta yüksek olmadığı görülmektedir. Nitekim yapılan çalışmaların özet bir görüntüsü Şekil 5.133'de verilmektedir.

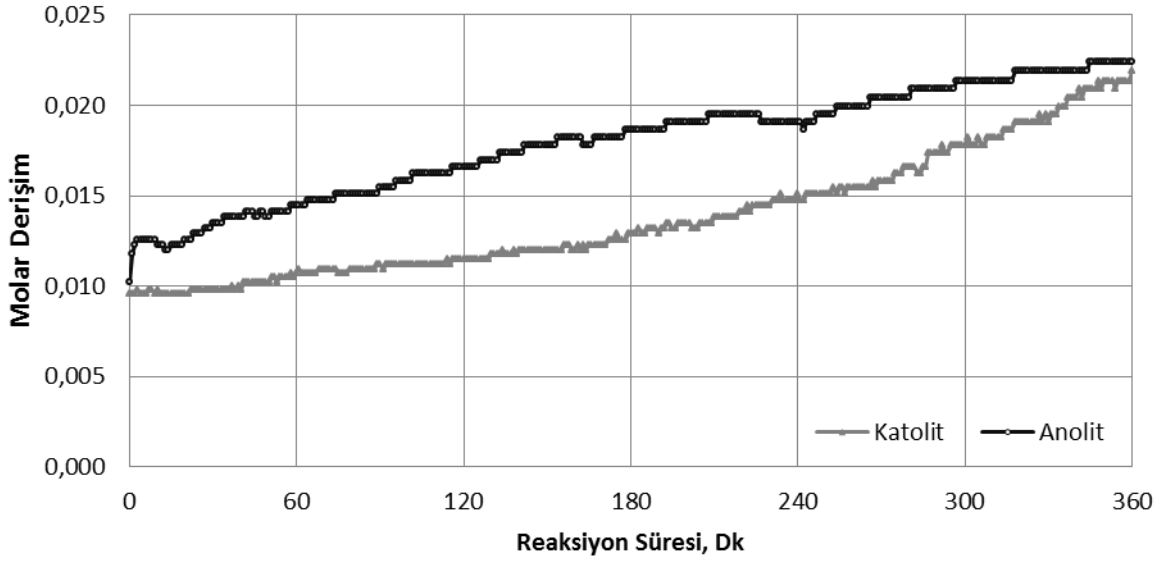


Şekil 5.133 Genç Sızıntı Sularının Elektrodializ Süresince Anolit ve Katolit Sıvılarının H ve OH İyon Konsantrasyonlarının Değişimi

Şekil 5.133'den de görüleceği üzere, özellikle yüksek elektriksel gerilim uygulanan çalışmalarda daha yoğun sonuçlar görülmektedir. Bu elektriksel gerilimle birlikte elektrolitik reaksiyonların ve taşınımın daha hızlı olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim sürücü kuvvet olarak elektrik akımının kullanıldığı bir çalışmada da bu tarz bir sonuç beklenmektedir. Yalnız sürücü kuvvet elektriksel gerilimden ziyade akım olarak karşımıza çıkmaktadır. Akım değerleri de artım süresine bağlı olarak tıkanmanın vermiş olduğu bir sonuç olarak direnç artışı ile düşmekte ve bu nedenle olası taşınım oranı da azalmaktadır. Bu problem asidik ve alkalilik açısından daha ileri seviyelere taşınmasını da engellemiştir. Ayrıca anolit ve katolit için çalışmalar boyunca atıksu hacmine eş değer oranlarda sıvılar konulmuştur. Bu da tam ölçekli tesiste bu şekilde uygulanmayacaktır. Elektrolit seviyesinin azaltılması ile daha yoğun asidik ve alkali çözeltiler de elde edilebilecek ve bu sayede daha da kullanılabilir çözeltilerin eldesi mümkün olabilecektir. Buna ilişkin çalışmalar bu bölümün sonunda sunulacaktır.

## 5.4.2 Orta Yaşlı Sızıntı Sularından Geri Kazanım Çalışmaları

### 5.4.2.1.1. Çalışma (1 Membran, 10V)

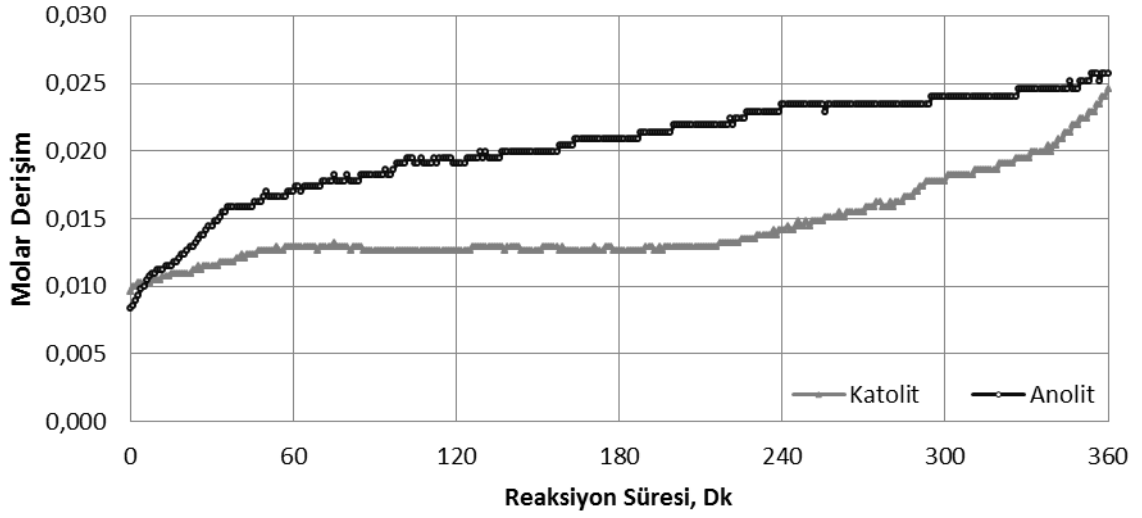


Şekil 5.134 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,011 M olan değer 0,021 M değerine yükselmiştir.  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma süresince devam etmiştir.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,022 M olarak ölçülmüştür. Bu artış çalışma genelinde sürmüştür.

#### 5.4.2.2. Çalışma (1Membran, 15V)

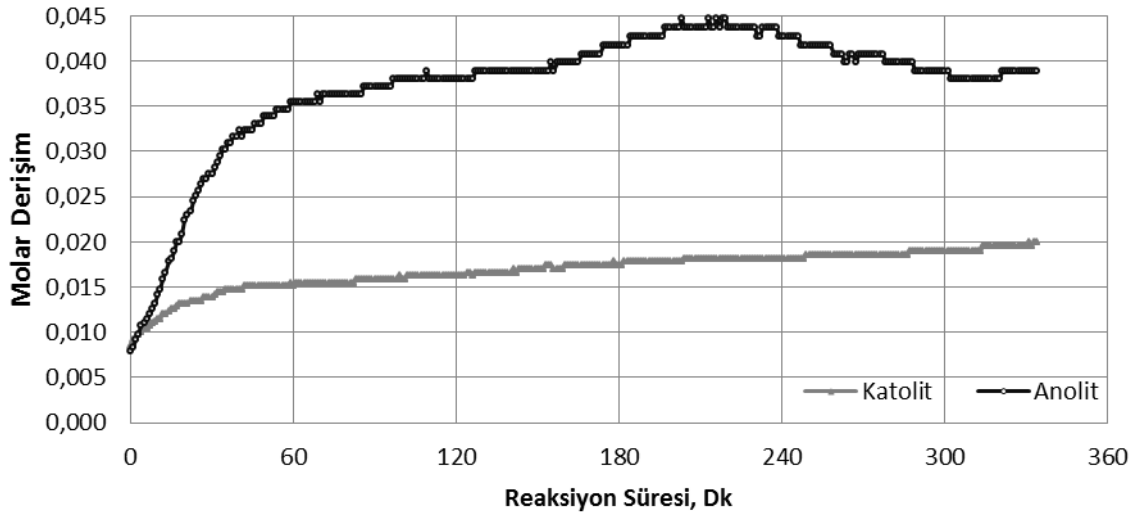


Şekil 5.135 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,009 M dan 0,026 M değerine yükselmiştir. Bu artış çalışma genelinde sürmüştür.

Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,025 M değerine yükselmiştir.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma süresince devam etmiştir.

#### 5.4.2.33. Çalışma (1 Membran, 20V)

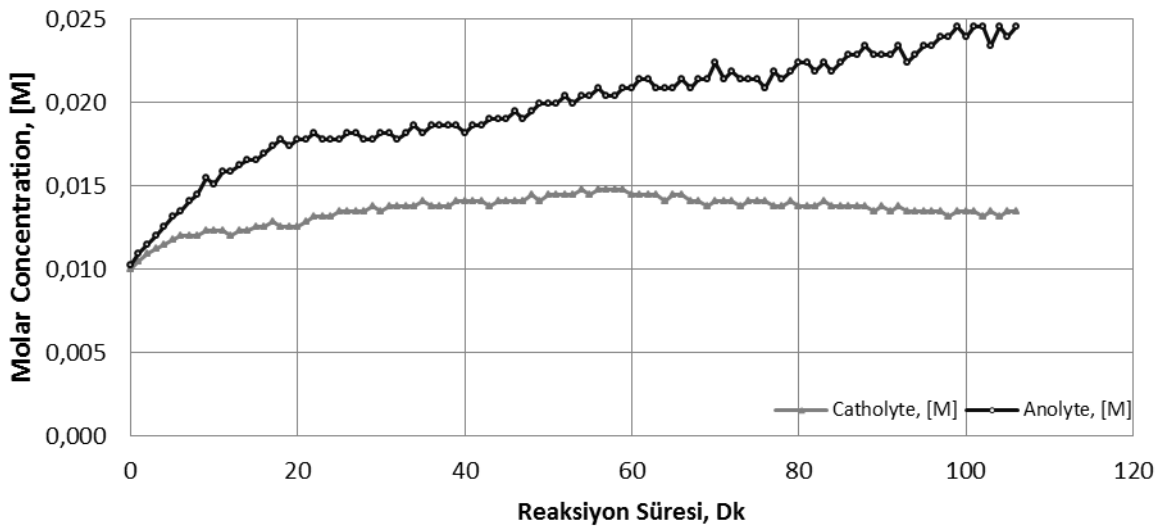


Şekil 5.136 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,043 M olarak ölçülmüştür. H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar oluşan organik asitlerin zamanla ortamdaki uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Çalışma sonunda H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,039 M olarak ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,009 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,02 M olarak ölçülmüştür. OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma boyunca devam etmiştir.

#### 5.4.2.44. Çalışma (1 Membran, 25V)

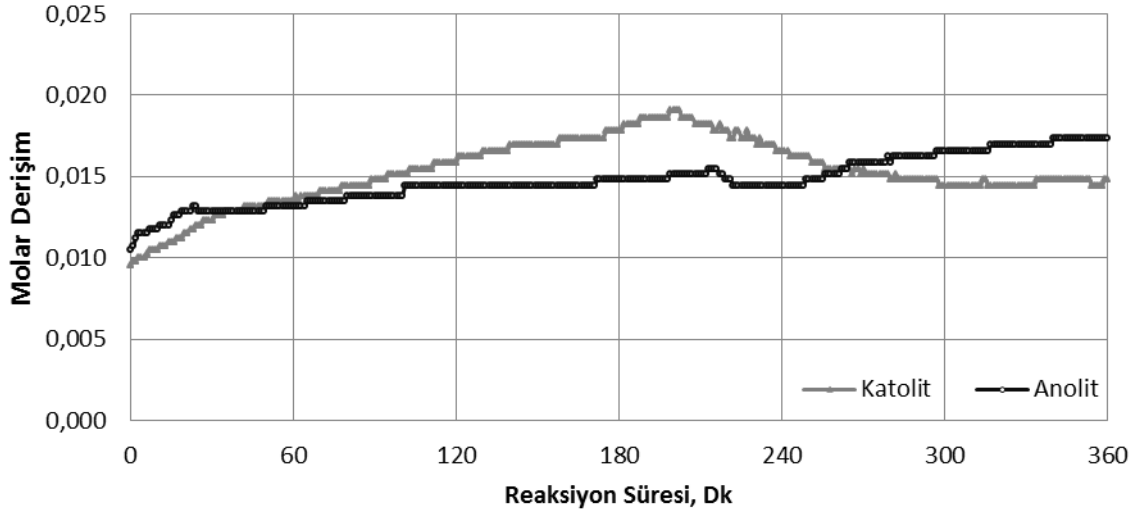


Şekil 5.137 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,024 M değerine yükselmiştir. Çalışma süresince H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonundaki artış devam etmiştir.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,014 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın bazı kısımlarında azalma görülmüştür. Bu azalmanın sebebi olarak atıksuda bulunan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iyonunu gösterebiliriz. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iyonu katolite geçtikten sonra pH daki artışa bağlı olarak NH<sub>3</sub> e dönüştüğünden uçucu forma geçer ve zamanla ortamdaki uzaklaşır. Bu da ortamdaki pH'nın azalmasına sebep olur. Çalışmanın sonunda OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,013 M olarak ölçülmüştür.

#### 5.4.2.55. Çalışma (2 Membran, 10V)

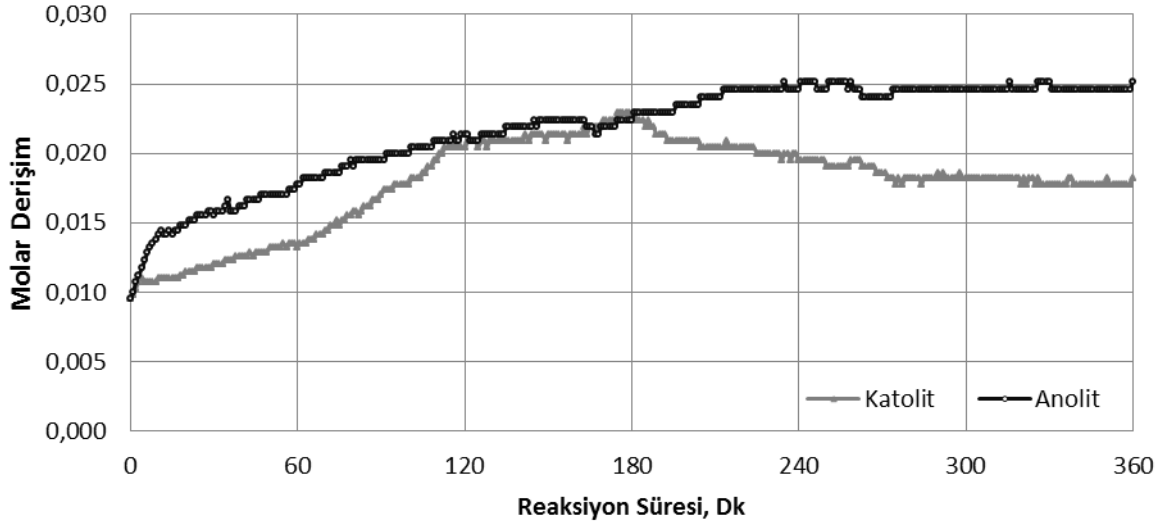


Şekil 5.138 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Anolit sıvısında  $H^+$  iyonu konsantrasyonu artışları gözlenmiştir.  $H^+$  iyonu konsantrasyonu artışının az olması bu esnada anolit sıvısında uçucu formdaki organik asitlerin uçması ile ilgili oluşu düşünülmektedir. Arıtım esnasında çıkan kokularda bu durumu destekler niteliktedir.

Katolit değerleri de anolit değerleri gibi artış göstermektedir. Yalnız burada önemli olan nokta  $OH^-$  iyonu konsantrasyonundaki dalgalanmalardır. Bunun da nedeni  $NH_3$  olduğu düşünülmektedir. Nitekim gaz halindeki amonyağın yüksek pH'da uçması pH'nın dalgalanmasına neden olmaktadır.

#### 5.4.2.6. Çalışma (2 Membran, 15V)

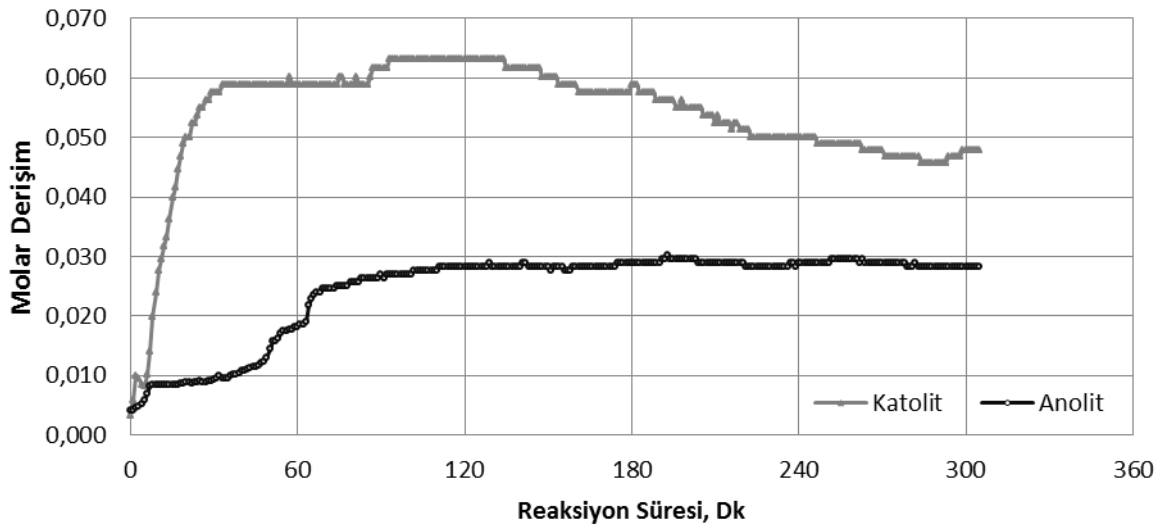


Şekil 5.139 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,22 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın son kısımlarındaki düşüşün sebebi olarak NH<sub>3</sub>'ün yüksek pH değerinde uçması olarak düşünülmektedir. Çalışmanın sonunda OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,019 M olarak ölçülmüştür.

Çalışmada H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,004 M olan değer 0,03 M değerine yükselmiştir. Bu artış zaman zaman yavaşlansa da çalışma boyunca devam etmiştir.

#### 5.4.2.77. Çalışma (2 Membran, 20V)

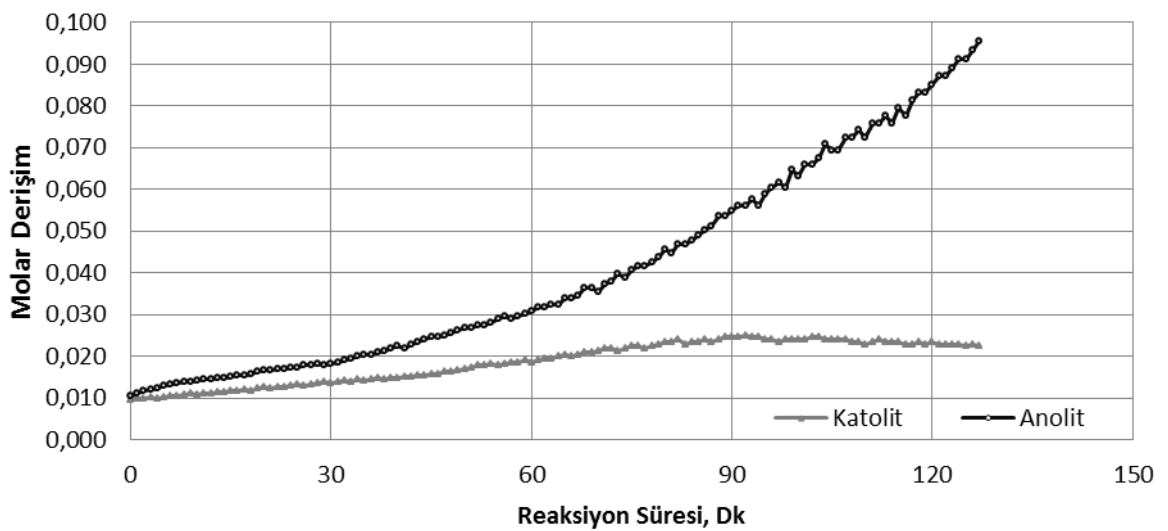


Şekil 5.140 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,004 M olan değer 0,03 M değerine yükselmiştir. Bu artış zaman zaman yavaşlaşa da çalışma boyunca devam etmiştir.

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,002 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,061 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu değer azalarak 0,045 M değerine inmiştir.

#### 5.4.2.88. Çalışma (2 Membran, 25V)

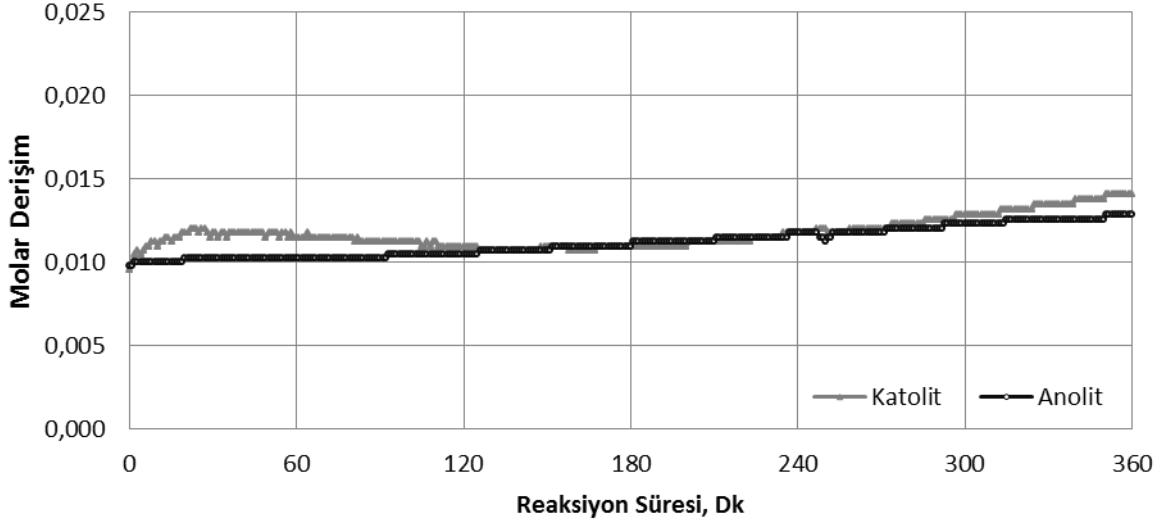


Şekil 5.141 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi



Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,095 M değerine yükselmiştir. Bu artış çalışma boyunca sürmüştür. Çalışmanın başlarında  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,025 M değerine yükselmiştir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi  $NH_3$  ün uçmasına bağlı olarak kısmi düşüşler görülmüştür.

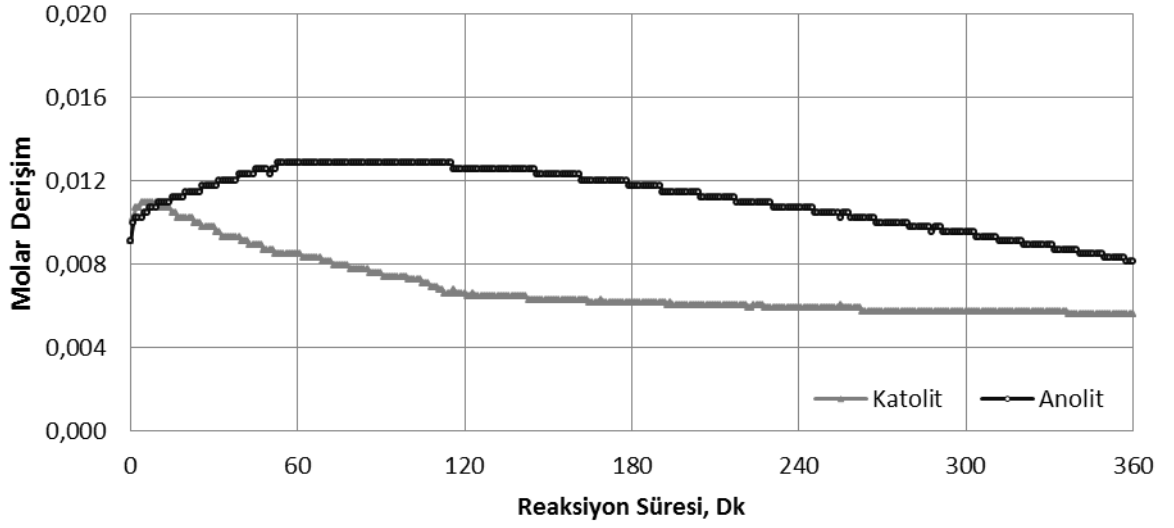
#### 5.4.2.99. Çalışma (3 Membran, 10V)



Şekil 5.142 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Anolit sıvısında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Çalışma boyunca yavaş bir artış göstermiştir. Çalışmanın başında 0,01 M olan bu değer çalışma sonunda 0,013 M değerine yükselmiştir. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,014 M değerine yükselmiştir. Yer yer görülen azalmaların sebebini daha önce de belirttiğimiz gibi  $NH_3$ 'ün uçması olarak ifade edebiliriz.

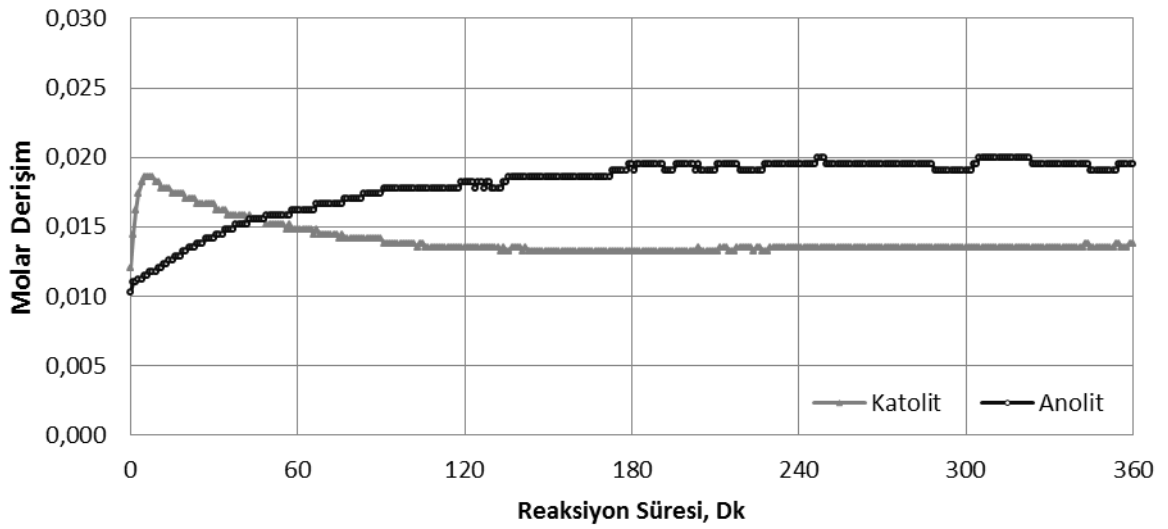
#### 5.4.2.10 10. Çalışma (3 Membran, 15V)



Şekil 5.143 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,013 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonundaki azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar daha önceki ifadelerimizde olduğu gibi oluşan organik asitlerin zamanla ortamdan uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Çalışmanın başında kısmi bir artışın ardından OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu düşüş göstermiştir. Çalışmanın başında 0,01 M olan konsantrasyon değeri çalışma sonunda 0,005 değerine kadar gerilemiştir.

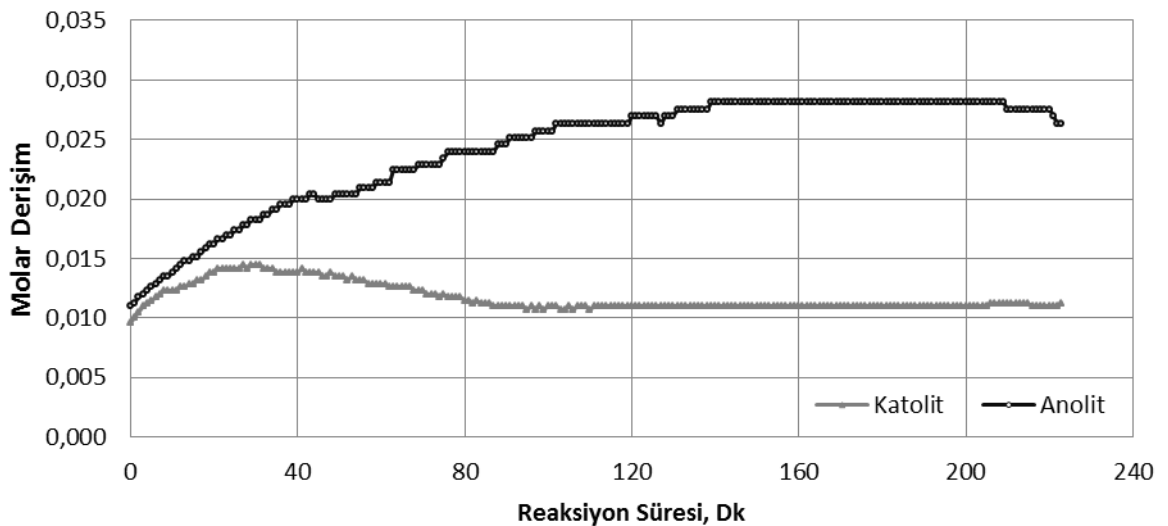
#### 5.4.2.11 11. Çalışma (3 Membran, 20V)



Şekil 5.144 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,019 M değerine yükselmiştir. Bu artış çalışma boyunca devam etmiştir. Çalışmanın hemen başında hızlı bir artışın ardından  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu düşüş göstermiştir. Çalışmanın başında 0,012 M olan konsantrasyon değeri 0,019 M değerine kadar çıkmış çalışma sonunda ise 0,012 değerine kadar gerilemiştir.

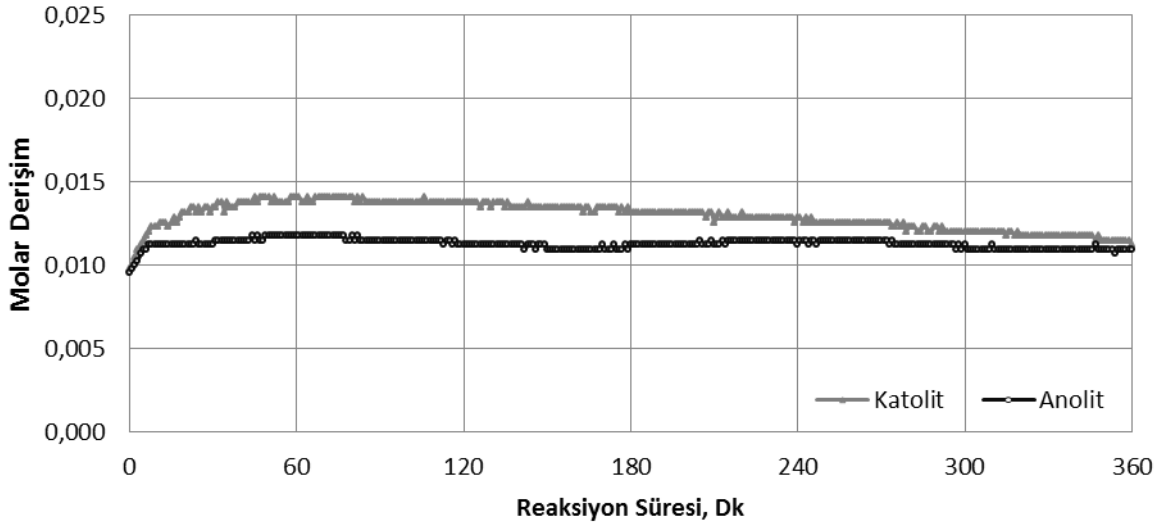
#### 5.4.2.12 12. Çalışma (3 Membran, 25V)



Şekil 5.145 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,011 M dan 0,029 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın başında kısmi bir artışın ardından  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu düşüş göstermiştir. Çalışmanın başında 0,01 M olan konsantrasyon değeri çalışma sonunda tekrar 0,012 M değerine kadar gerilemiştir.

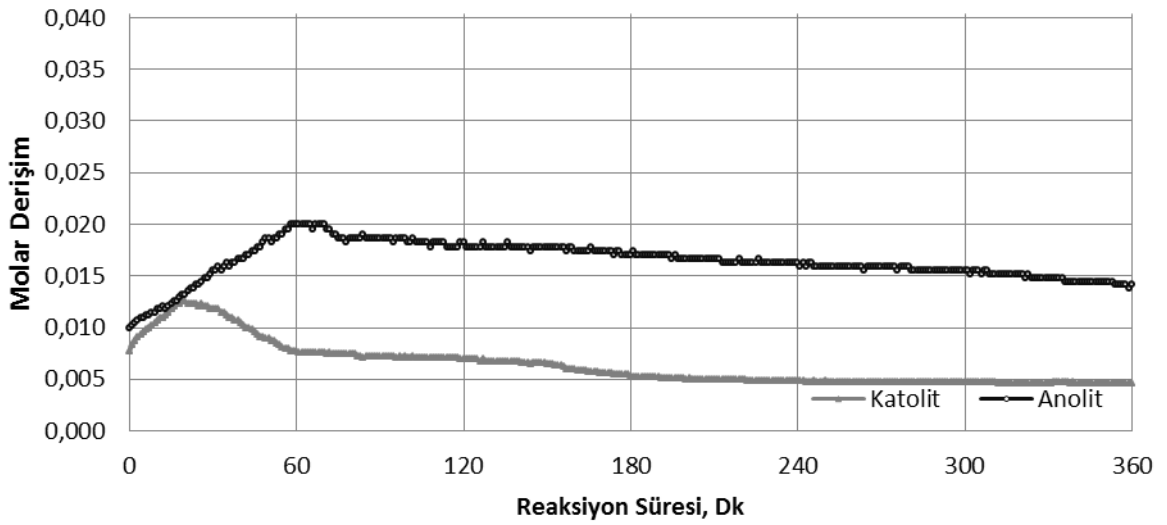
#### 5.4.2.13 13. Çalışma (4 Membran, 10V)



Şekil 5.146 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başında 0,01 M olan  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu çalışma boyunca ciddi bir artış ya da azalma göstermemiştir. Çalışma sonunda bu değer 0,011 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın hemen başında hızlı bir artışın ardından  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu düşüş göstermiştir. Çalışmanın başında 0,01 M olan konsantrasyon değeri 0,014 M değerine kadar çıkmış çalışma sonunda ise 0,011 M değerine kadar gerilemiştir.

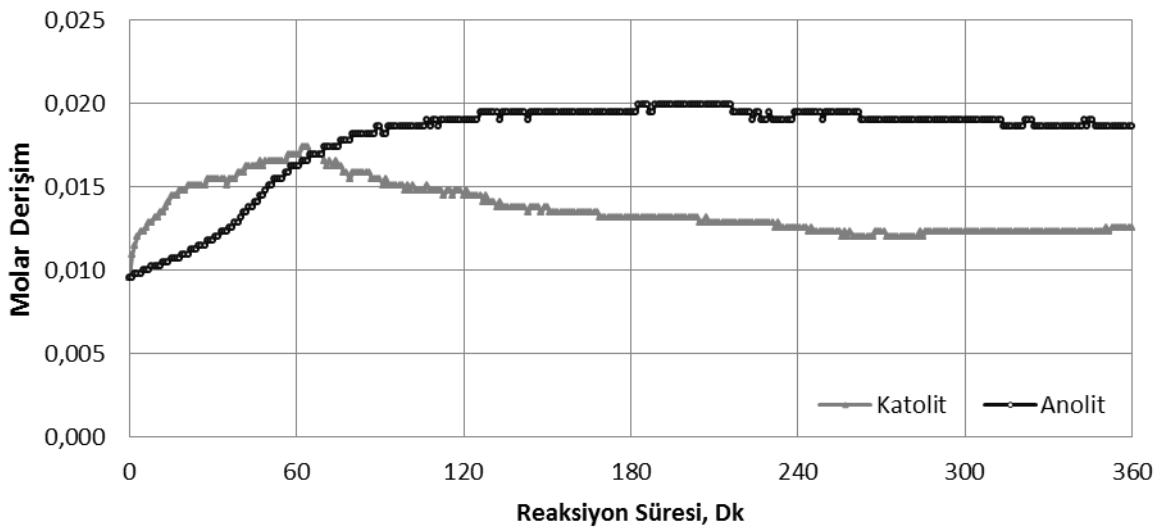
#### 5.4.2.14 14. Çalışma (4 Membran, 15V)



Şekil 5.147 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın hemen başlarında hızlı bir şekilde artan  $H^+$  iyonu konsantrasyonu 0,01 M değerinden 0,02 M değerine yükselmiştir. Ancak çalışmanın ilerleyen zamanlarında bu değer düşüşe geçerek 0,013 M değerine gerilemiştir. Çalışmanın ilk aşamalarında artış gösteren  $OH^-$  iyon konsantrasyonu 0,008 M değerinden 0,012 değerine artmıştır. İlerleyen dakikalarda ise bu değer düşmeye başlamış ve 0,005 M değerine kadar gerilemiştir.

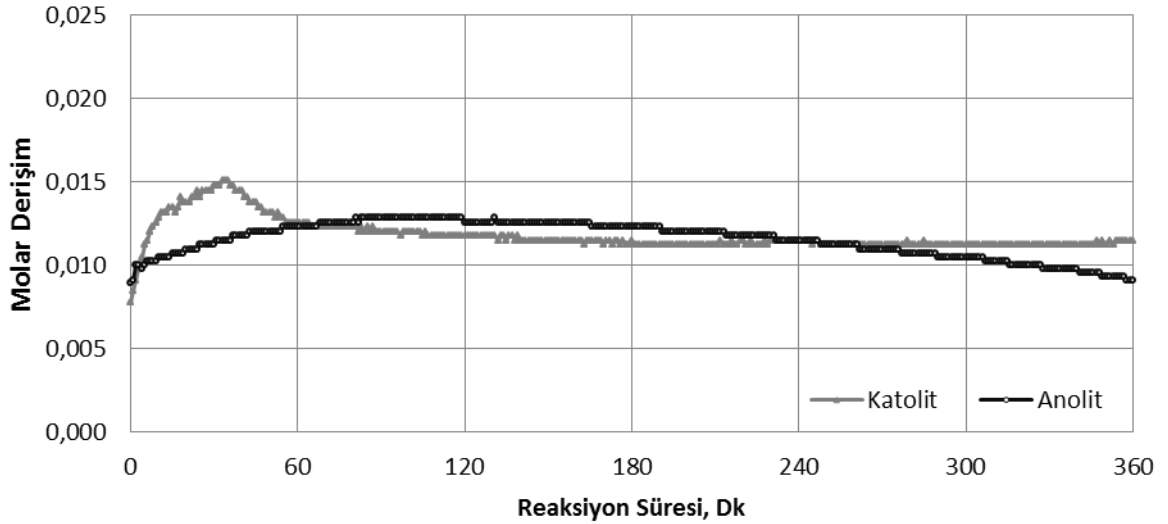
#### 5.4.2.15 15. Çalışma (4 Membran, 20V)



Şekil 5.148 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,019 M değerine yükselmiştir. Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,017 M olarak ölçülmüştür. Daha sonra  $NH_3$ 'ün uçmasına bağlı olarak  $OH^-$  iyon konsantrasyonu 0,013 M değerine kadar düşmüştür.

#### 5.4.2.16 16. Çalışma (4 Membran, 25V)

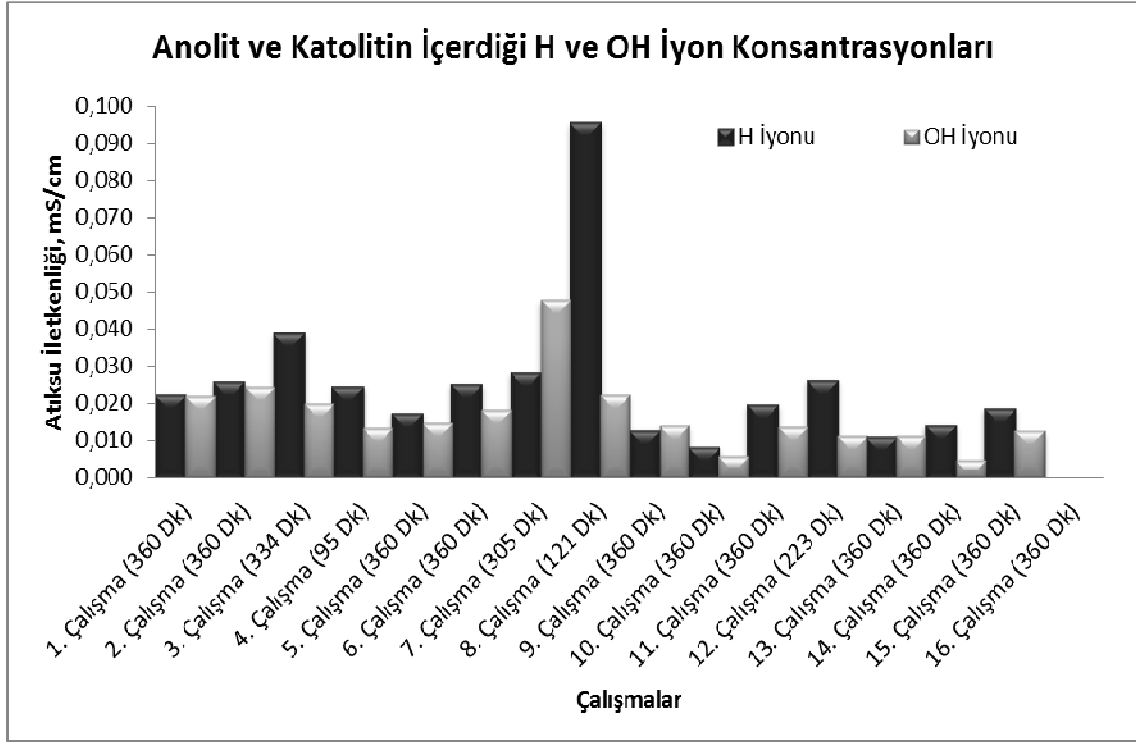


Şekil 5.149 Orta Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,009 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,013 M olarak ölçülmüştür. Ancak bu değer zamanla azalarak çalışma sonunda 0,009 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın başında artan  $OH^-$  iyonu konsantrasyonu 0,008 M değerinden 0,015 M değerine yükselmiştir. Daha sonra bu değer 0,011 M değerine düşmüştür.

#### 5.4.2.17 Genel Değerlendirme

Orta yaşlı sızıntı suları ile yapılan çalışmanın bu aşaması geri kazanım açısından oldukça önemlidir. Sızıntı suyu farklı yaşlarda bulunup karakteri sürekli değişse de, genel itibariyle sızıntı suyu dengeleme havuzunda tüm sızıntı suyu tipleri karışarak orta bir karakter olan orta yaşlı sızıntı suyu karakterine sahip olmaktadır. Bu nedenle bu aşamada yapılan sonuçlar büyük önem taşımaktadır. Nitekim yapılan çalışmalarda artan zamana bağlı olarak H ve OH iyon konsantrasyonlarında artışlar görülmektedir. Elde edilen sonuçların özet bir günümü Şekil 5.150'de verilmektedir.

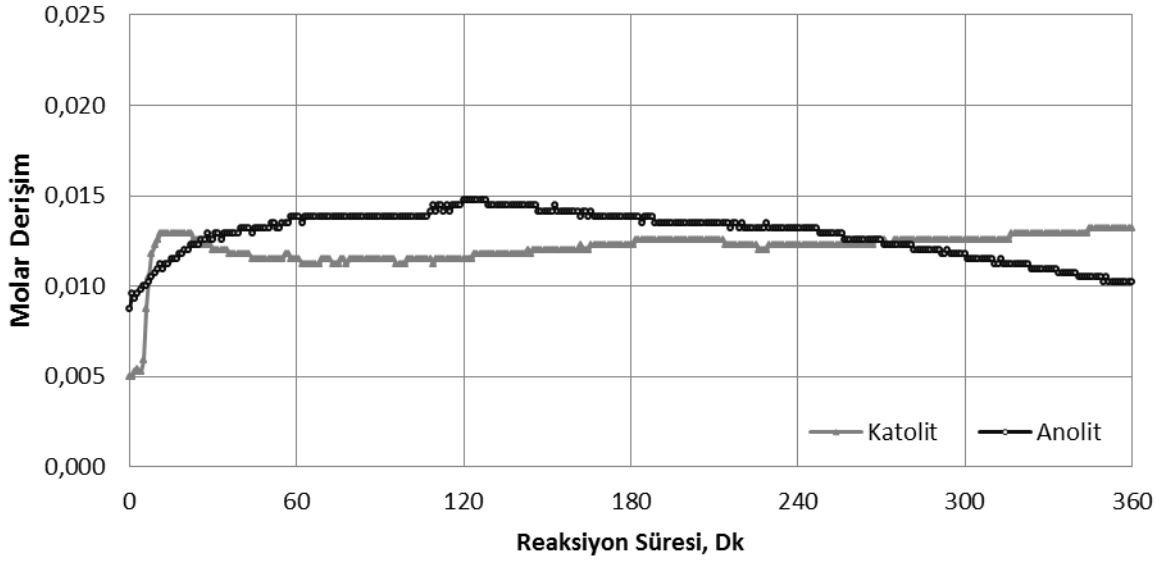


Şekil 5.150 Orta Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodializ Süresince Anolit ve Katolit Sıvılarının H ve OH İyon Konsantrasyonlarının Değişimi

Şekil 5.150'den da görüleceği üzere farklı çalışmalarda değişik sonuçlar görülebilmektedir. Orta yaşlı sızıntı suyu elektrodializ çalışmalarında her ne kadar optimum işletme şartı olarak 4. Çalışma seçilse de görünen o ki anoli ve katolit açısından pek de zengin değil. Bunun nedeni diğer çalışmalar 360 dakika sürerken optimum çalışma yalnızca 95 dakika sürdürülmüştür. Dolayısıyla yine de boy ölçüşür nitelikte olması uzun vadeli çalışmalarda olumlu sonuçlar alınabileceğinin göstergesidir. Yine benzer şekilde anolit ve katolit hacimleri sızıntı suyu hacmine eşdeğer oranda alındığı için beklenenden düşük değerlerin gözlemlendiği söylenebilir. Bu bakımdan örnek bir çalışma bu bölümün sonunda bulunmaktadır.

### 5.4.3 Yaşlı Sızıntı Sularından Geri Kazanım Çalışmaları

#### 5.4.3.1.1. Çalışma (1 Membran, 10V)

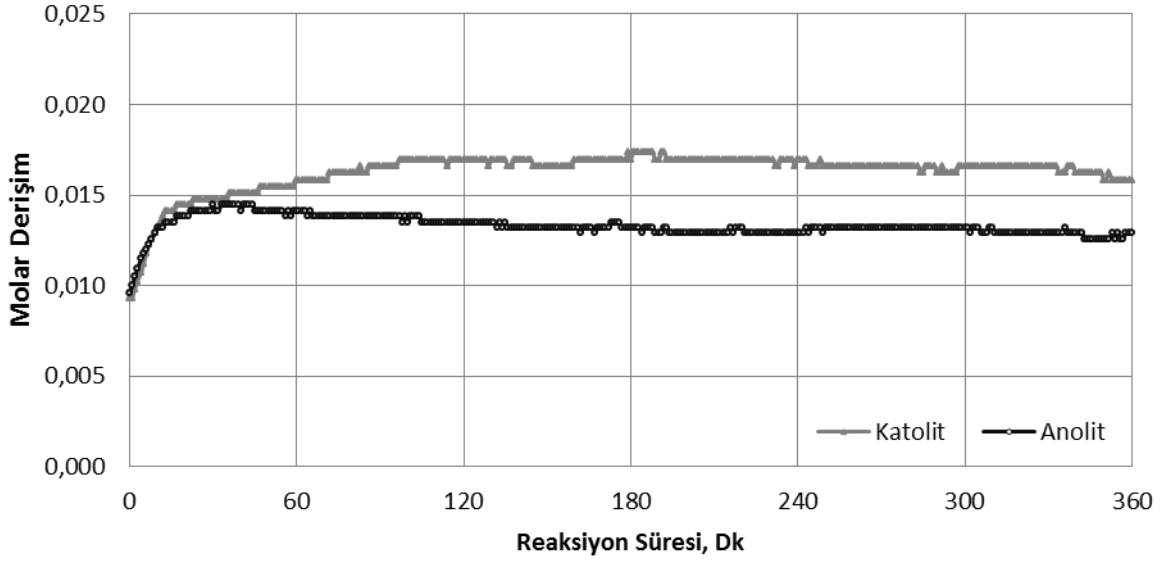


Şekil 5.151 Yaşlı Sızıntı Suyun Elektrodializi Süresince Anolitte H<sup>+</sup> İyonu Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,015 M olarak ölçülmüştür. Ancak bu değer zamanla azalarak çalışma sonunda tekrar 0,01 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın hemen başında hızlı bir şekilde artan OH<sup>-</sup> iyonu konsantrasyonu 0,005 M değerinden 0,014 M değerine yükselmiştir. Daha sonra bu değer bir süre düşüşe geçmiş ve 0,011 M değerine gerilemiştir. Sonra tekrar artış göstererek 0,014 M değerine çıkmıştır.



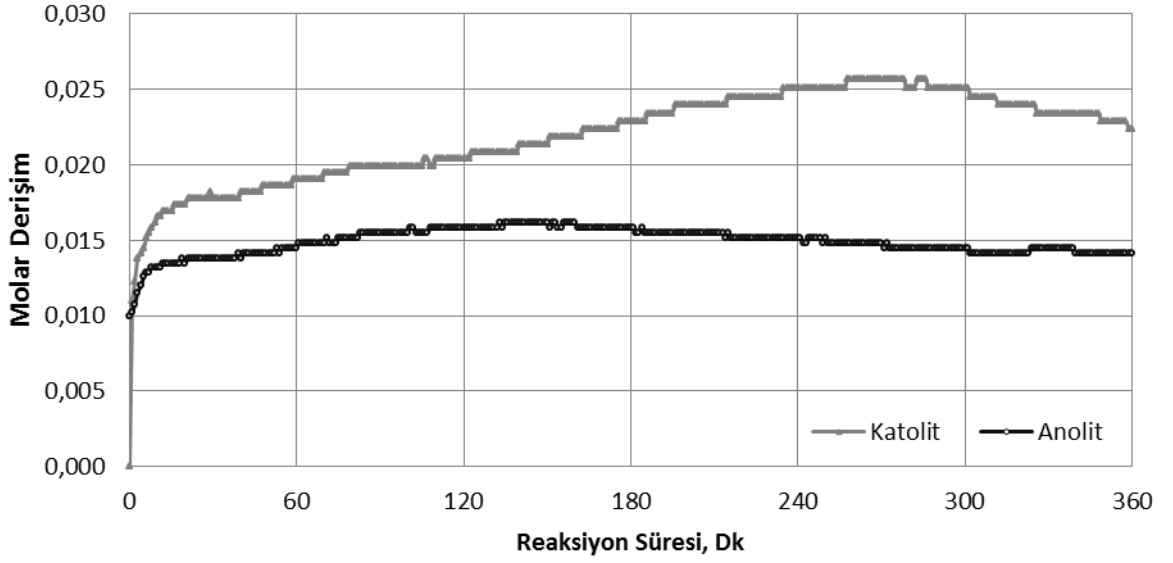
#### 5.4.3.2.2. Çalışma (1Membran, 15V)



Şekil 5.152 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,015 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında molar konsantrasyonda azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi olarak daha önceki ifadelerdeki gibi oluşan organik asitlerin ortamdaki uzaklaşması gösterilebilir. Son olarak ölçülen iyon konsantrasyonu 0,013 M olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,017 M olarak ölçülmüştür.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar pH ya bağlı, oluşan  $NH_3$ 'ün zamanla ortamdaki uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Bu değer çalışma sonunda  $OH^-$  iyon molar konsantrasyonu 0,016 M olarak ölçülmüştür.

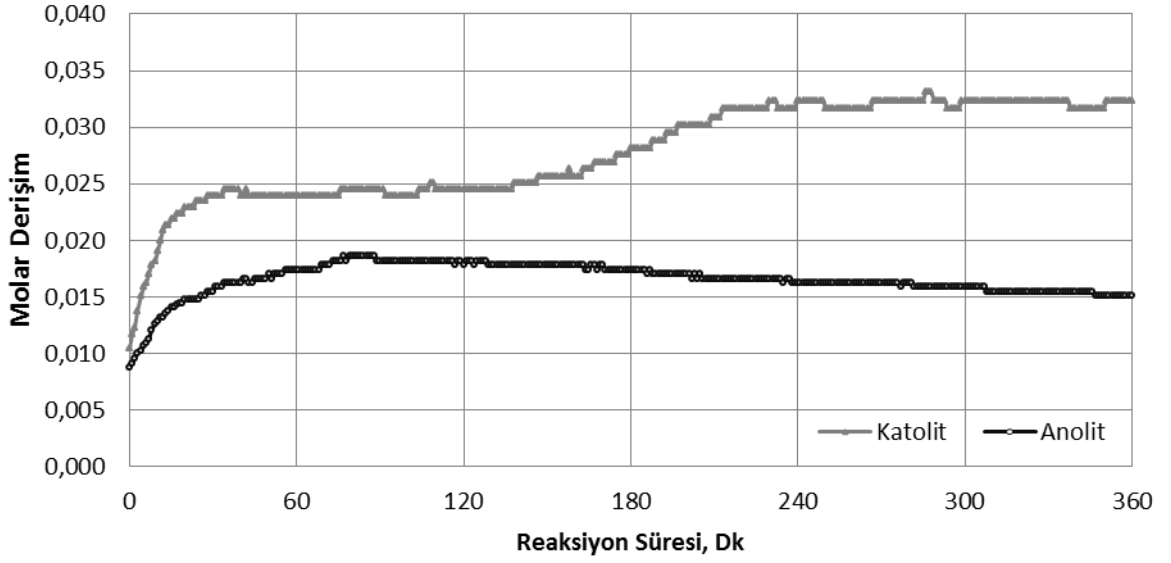
#### 5.4.3.33. Çalışma (1 Membran, 20V)



Şekil 5.153 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında artış gösteren  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M değerinden 0,016 M değerine ulaşmıştır. İlerleyen aşamalarda bu değer azalarak 0,014 M değerine gerilemiştir. Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,023 M değerine yükselmiştir. Çalışma genelinde bu artış eğilimi devam etmiştir.çalışma sonunda kısmen azalmalar görülmüştür.

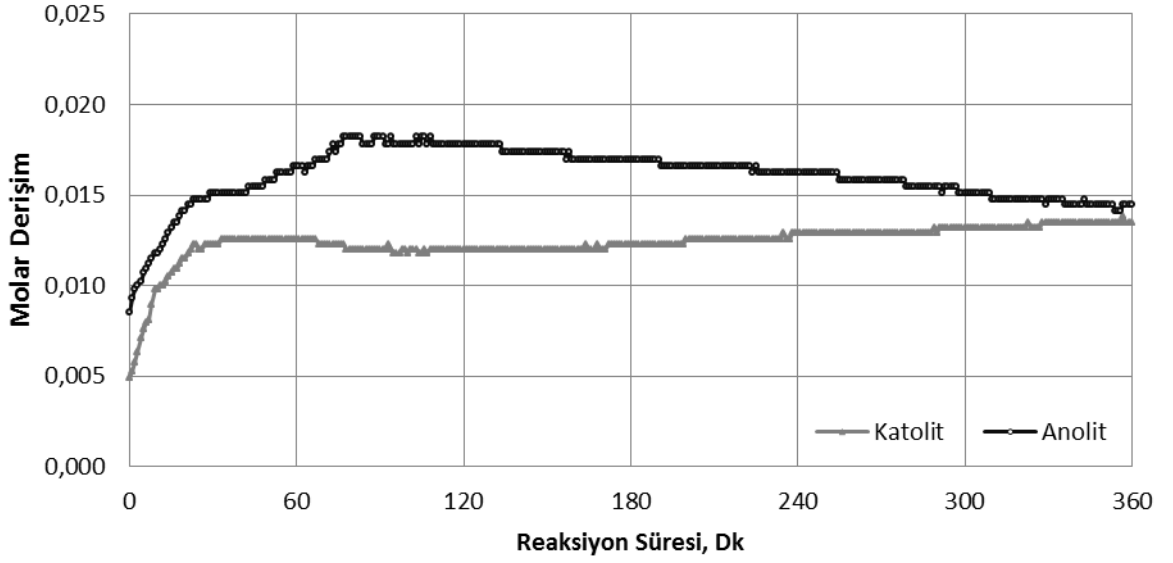
#### 5.4.3.44. Çalışma (1 Membran, 25V)



Şekil 5.154 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,01 M dan 0,018 M değerine yükselmiştir.  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonundaki görülen azalmalar da olmuştur. Bu azalmalar oluşan organik asitlerin zamanla ortamdaki uzaklaşması sonucunda meydana gelmiştir diyebiliriz. Çalışma sonundaki iyon konsantrasyonu 0,015 M olarak ölçülmüştür. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,032 M değerine yükselmiştir.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonundaki bu artış çalışma süresince devam etmiştir.

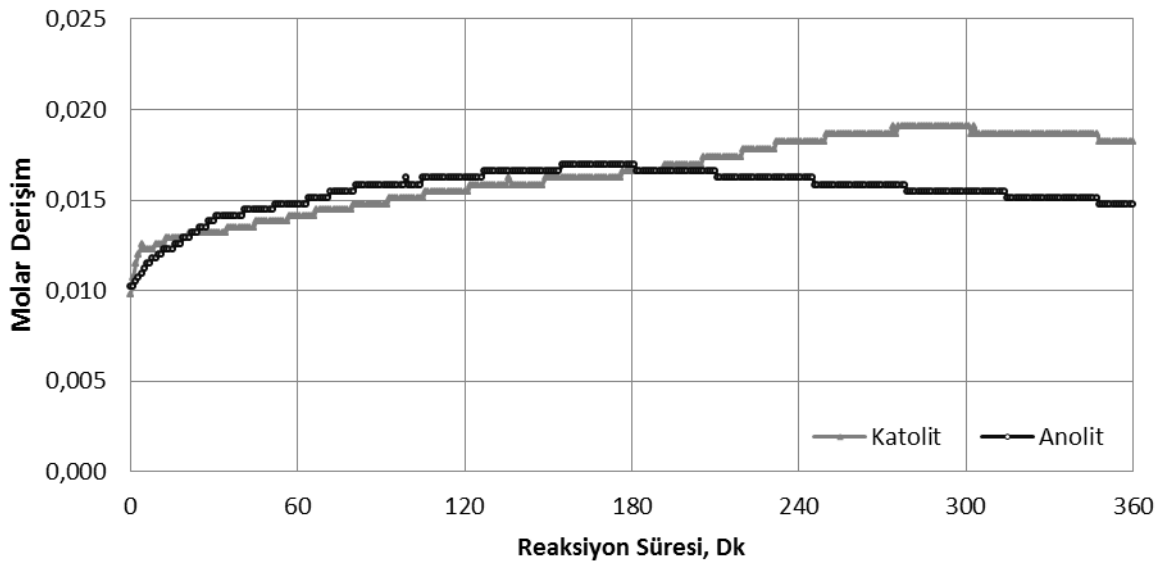
#### 5.4.3.55. Çalışma (2 Membran, 10V)



Şekil 5.155 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,009 M dan 0,018 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında molar konsantrasyonda azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi olarak oluşan organik asitlerin ortamdaki uzaklaşması gösterilebilir. Çalışma sonunda iyon konsantrasyonu 0,014 M olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,005 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,014 M olarak ölçülmüştür.

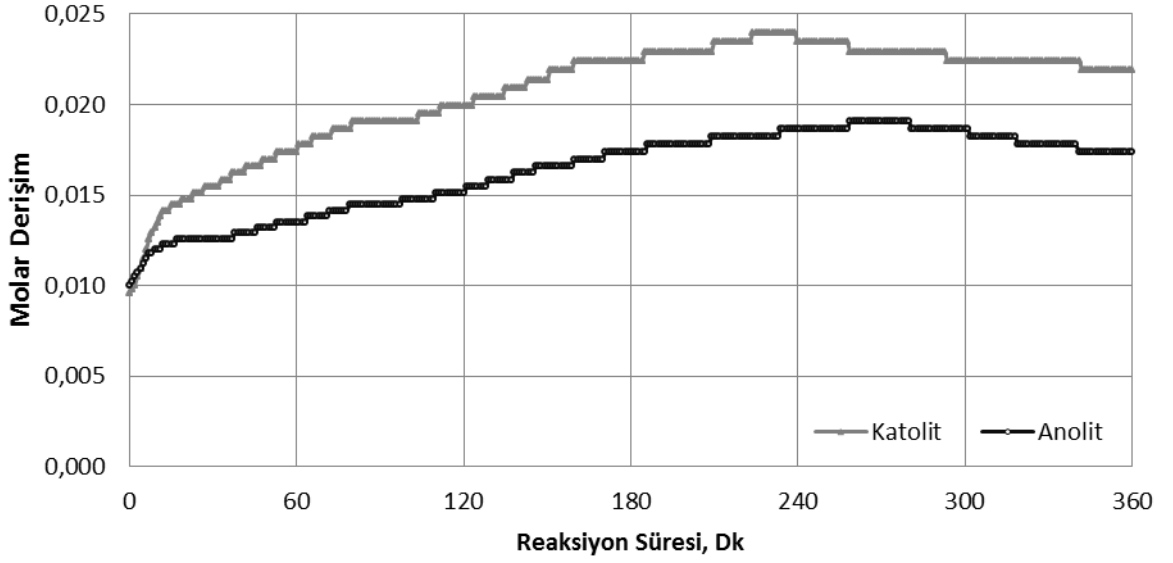
#### 5.4.3.66. Çalışma (2 Membran, 15V)



Şekil 5.156 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın hemen başlarında hızlı bir şekilde artan  $H^+$  iyonu konsantrasyonu 0,009 M değerinden 0,018 M değerine yükselmiştir. Ancak çalışmanın ilerleyen zamanlarında bu değer düşüşe geçerek 0,014 M değerine gerilemiştir. Çalışmanın hemen başlarında hızlı bir şekilde artan  $OH^-$  iyonu konsantrasyonu 0,005 M değerinden 0,013 M değerine yükselmiştir. Ancak çalışmanın ilerleyen zamanlarında bu değer düşüşe geçerek 0,011 M değerine gerilemiştir. Çalışmanın sonlarına doğru tekrar artışa geçerek 0,013 değerine yükselmiştir.

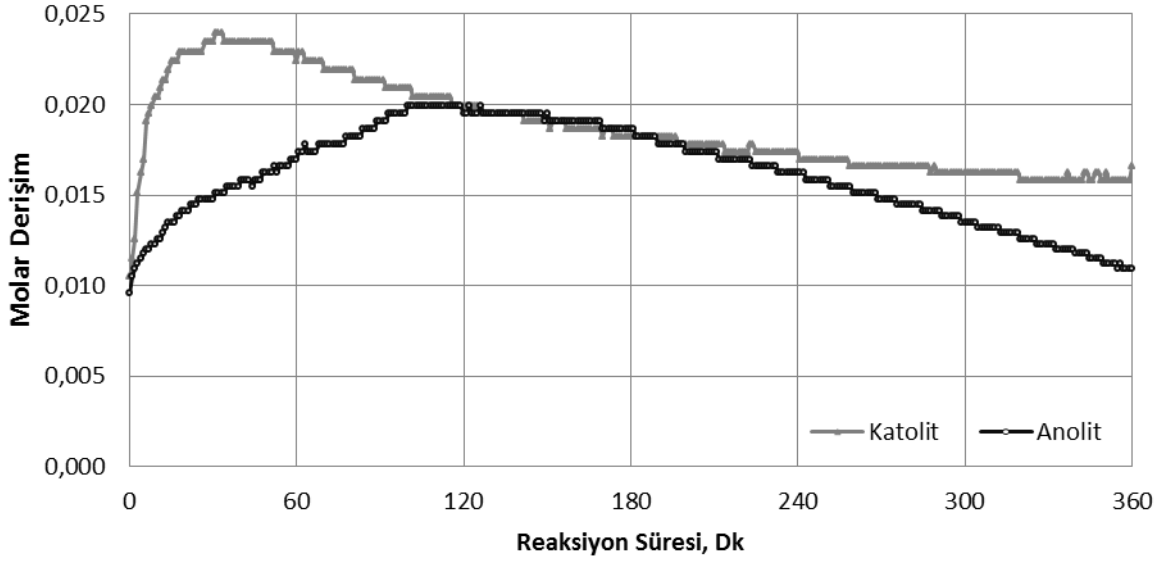
#### 5.4.3.77. Çalışma (2 Membran, 20V)



Şekil 5.157 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,019 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın son kısımlarında azalan iyon konsantrasyon değeri 0,017 M değerine gerilemiştir. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,024 M değerine yükselmiştir. Bu değer çalışmanın sonunda 0,022 M değerine gerilemiştir.

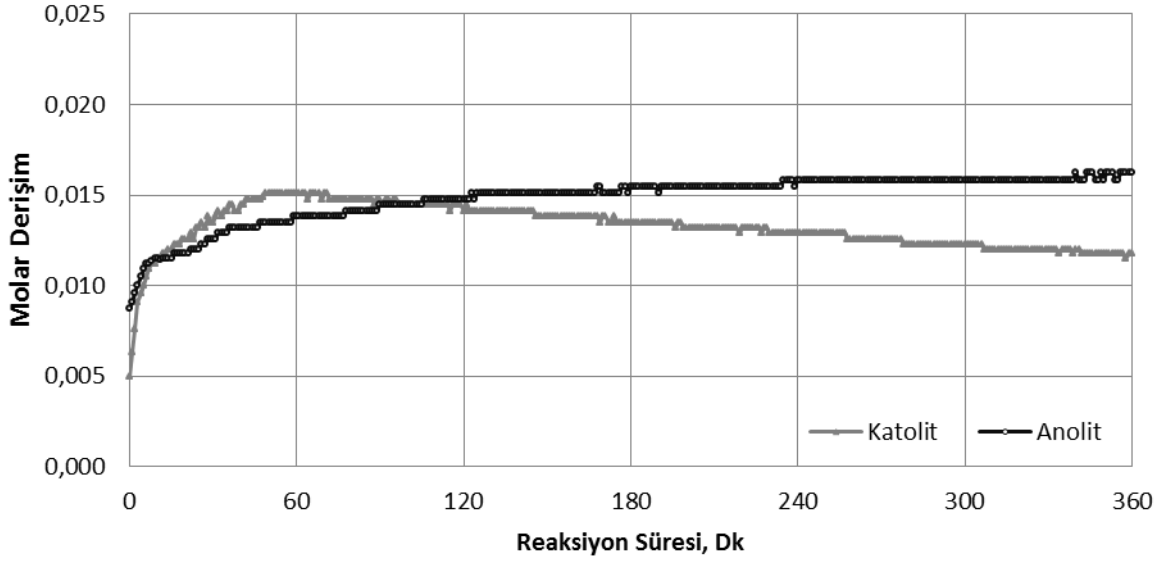
#### 5.4.3.88. Çalışma (2 Membran, 25V)



Şekil 5.158 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın ilk yarısında artış gösteren H<sup>+</sup> iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M değerinden 0,02 M değerine artış göstermiştir. Sonraki zamanlarda düşüşe geçen bu değer 0,011 M değerine kadar düşmüştür. OH<sup>-</sup> iyonu molar konsantrasyonu çalışmanın hemen başlarında hızlı bir şekilde artış göstermiş ve 0,01 M değerinden 0,024 M değerine kadar artış göstermiştir. 50 dakikadan sonra düşüşe geçen OH<sup>-</sup> iyon konsantrasyonu 0,016 M değerine kadar gerilemiştir.

#### 5.4.3.99. Çalışma (3 Membran, 10V)

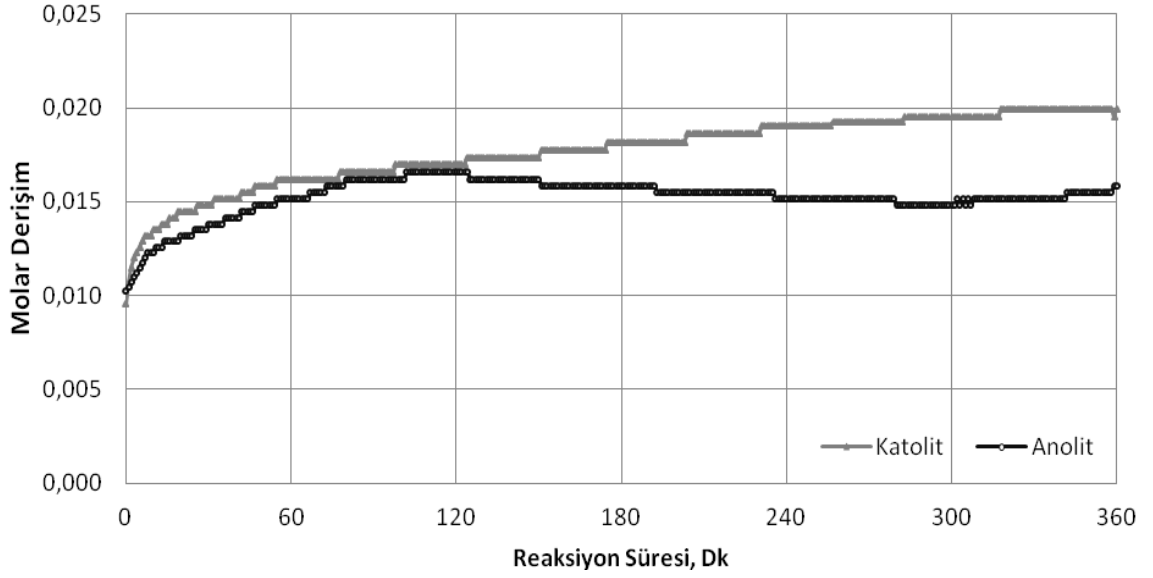


Şekil 5.159 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmada  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,009 M olan değer 0,016 M değerine yükselmiştir. Bu artış çalışma süresince devam etmiştir.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu çalışmanın hemen başlarında hızlı bir şekilde artış göstermiş ve 0,005 M değerinden 0,015 M değerine kadar artış göstermiştir. 90 dakikadan sonra düşüşe geçen  $OH^-$  iyon konsantrasyonu 0,012 M değerine kadar gerilemiştir. Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,017 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın ortalarında kısmen düşüşe geçen konsantrasyon değeri çalışma sonunda 0,015 M olarak ölçülmüştür. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,02 M değerine yükselmiştir.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu çalışma boyunca artış eğiliminde olmuştur.



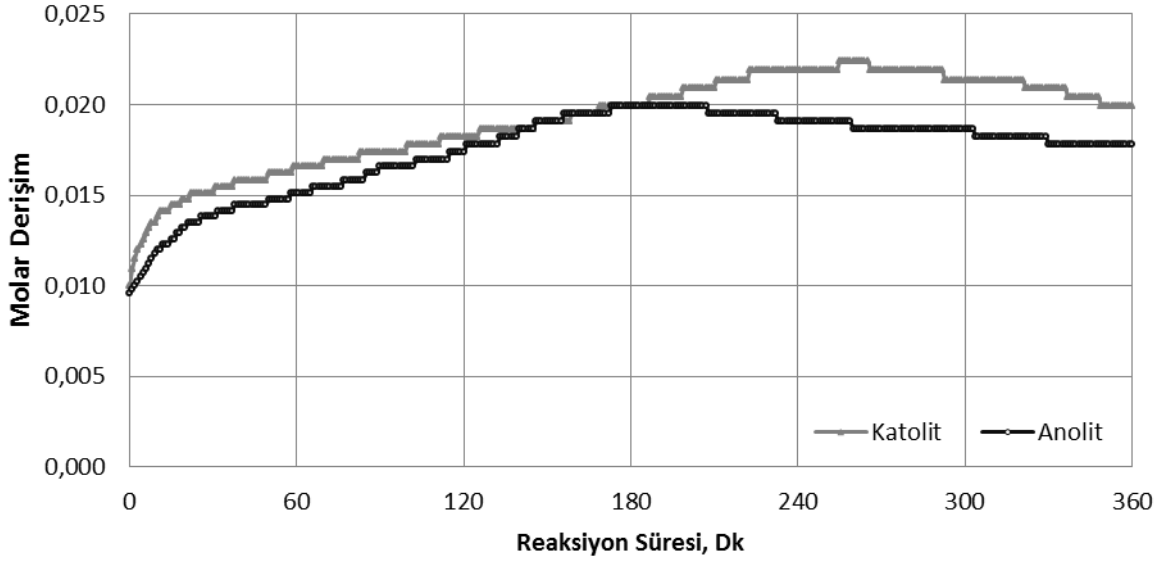
#### 5.4.3.10 10. Çalışma (3 Membran, 15V)



Şekil 5.160 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,017 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın ortalarında kısmen düşüşe geçen konsantrasyon değeri çalışma sonunda 0,015 M olarak ölçülmüştür. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,02 M değerine yükselmiştir.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu çalışma boyunca artış eğiliminde olmuştur.

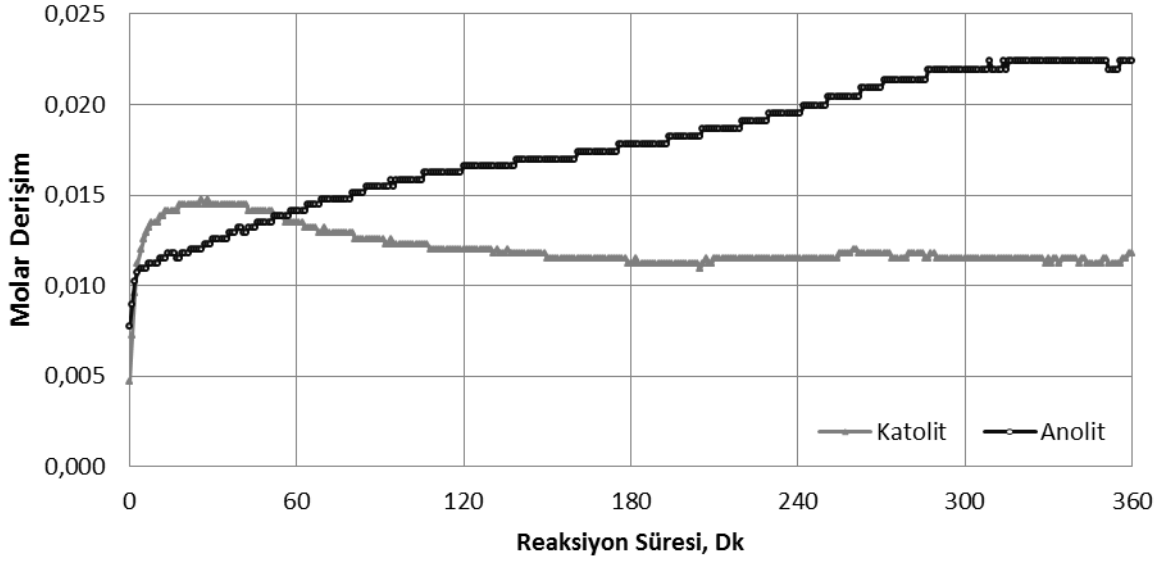
#### 5.4.3.11 11. Çalışma (3 Membran, 20V)



Şekil 5.161 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın ilk yarısında artış eğiliminde olan  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M değerinden 0,02 M değerine kadar artmıştır. Çalışmanın diğer yarısında ise düşüşe geçmiştir. Çalışmanın sonunda bu değer ortamdaki uçucu organik asitlerin uzaklaşmasına bağlı olarak 0,017 M değerine kadar düşmüştür. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,022 M değerine kadar artmıştır. Çalışmanın son aşamasında bu değer 0,02 değerine gerilemiştir.

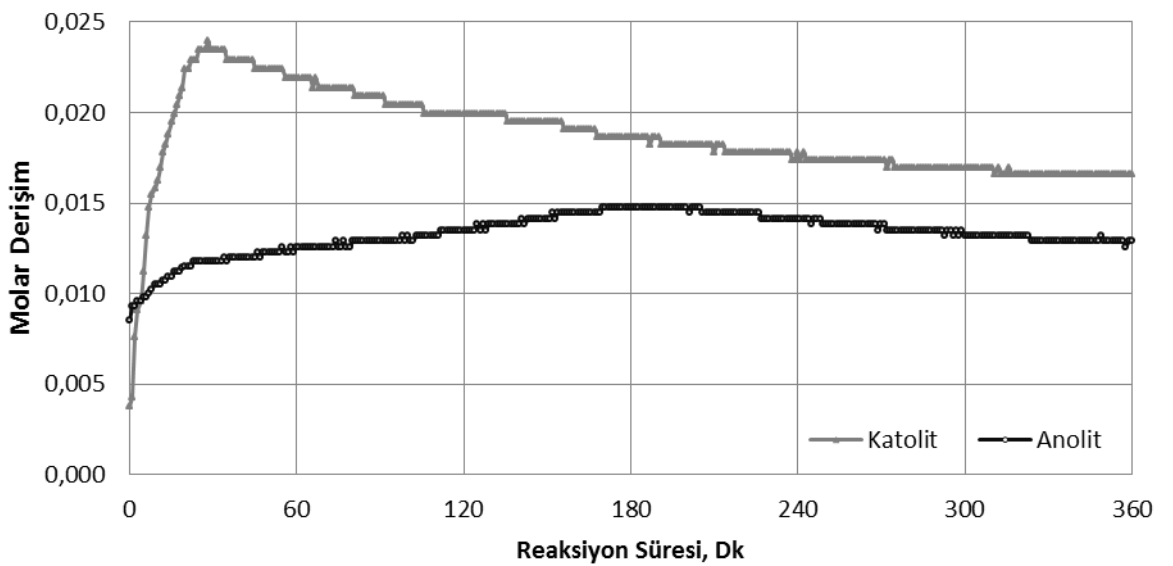
#### 5.4.3.12 12. Çalışma (3 Membran, 25V)



Şekil 5.162 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,0087 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,022 M olarak ölçülmüştür. Çalışma boyunca  $H^+$  iyon konsantrasyonu doğrusal olarak artmıştır.  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu çalışmanın hemen başında hızlı bir şekilde artış göstermiştir. 0,005 M değerinden 0,015 M değerine kadar artış gösterdikten sonra bu değer 0,011 M değerine düşmüştür.

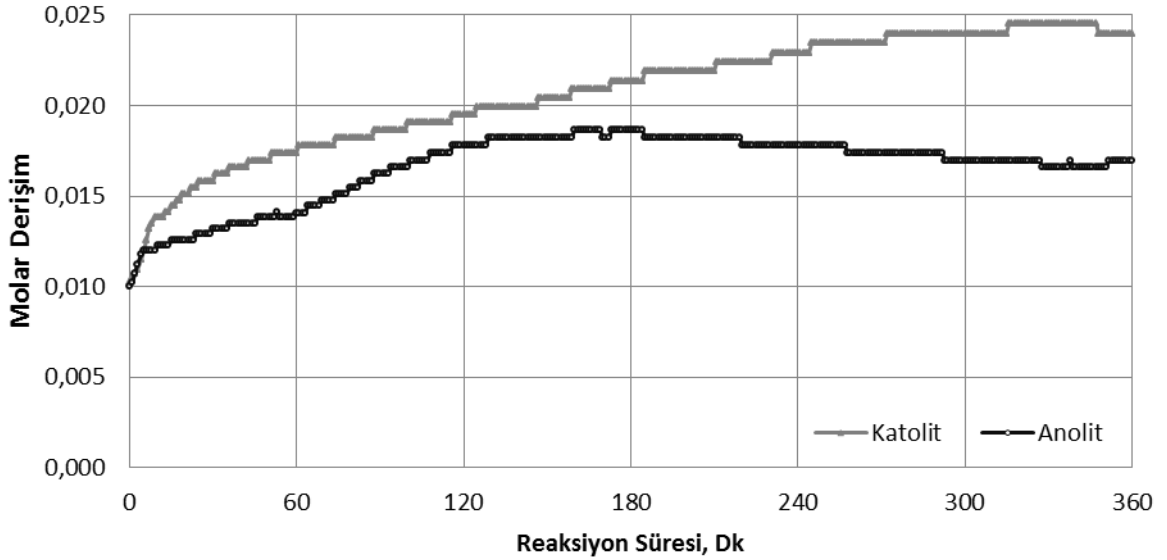
#### 5.4.3.13 13. Çalışma (4 Membran, 10V)



Şekil 5.163 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın başlarında  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu artış göstermiştir. Bu değer 0,009 M dan 0,015 M değerine yükselmiştir. İlerleyen aşamalarda azalışa geçen bu değer 0,013 M değerine kadar gerilemiştir. Çalışmanın hemen başında hızlı bir şekilde artış gösteren  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,005 M değerinden 0,015 M değerine kadar artış gösterdikten sonra düşüşe geçerek 0,011 M değerine düşmüştür.

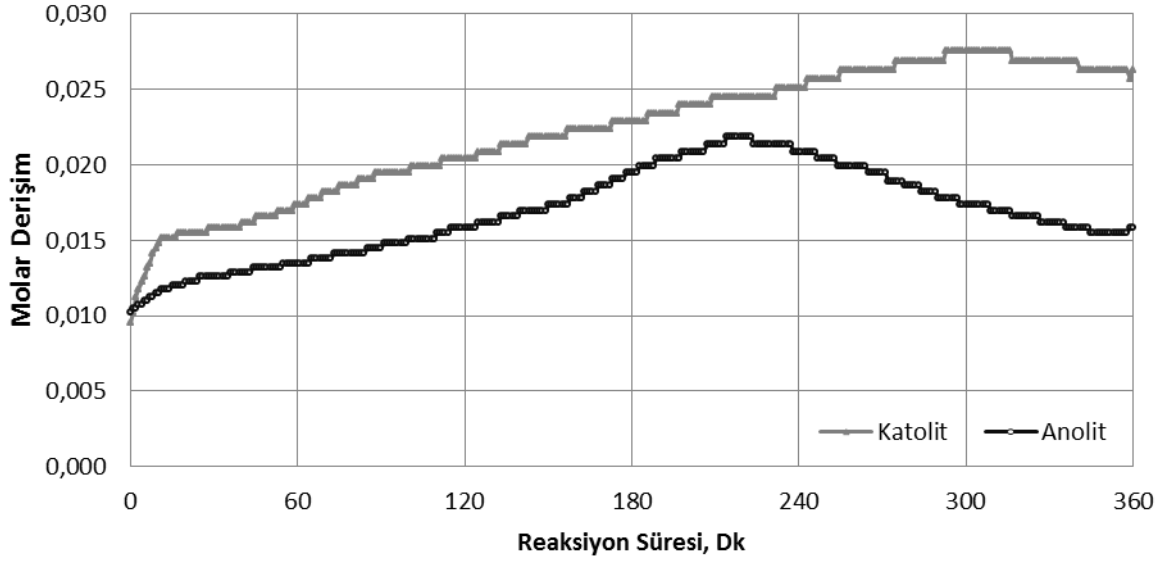
#### 5.4.3.14 14. Çalışma (4 Membran, 15V)



Şekil 5.164 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Yapılan çalışmada başlangıçtaki  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M iken çalışmanın ilerleyen aşamalarında 0,019 M olarak ölçülmüştür. Çalışmanın sonlarında bu değer 0,016 M değerine gerilemiştir. Çalışmada  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer çalışma boyunca doğrusal olarak artarak 0,025 M değerine yükselmiştir.

#### 5.4.3.15 15. Çalışma (4 Membran, 20V)

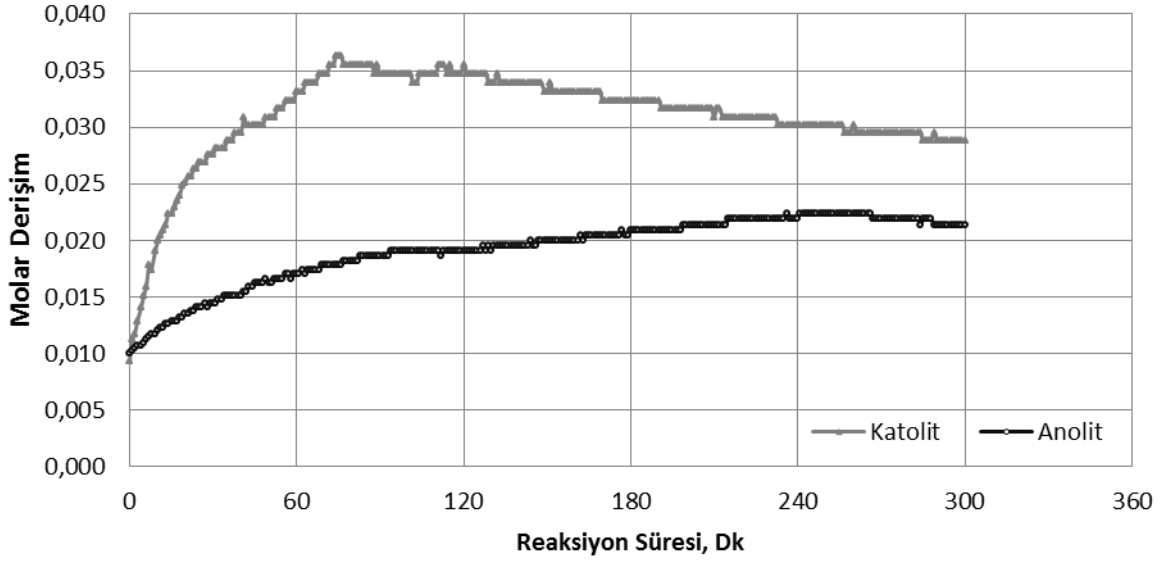


Şekil 5.165 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışmanın ilk yarısında doğrusal olarak artan  $H^+$  iyonu konsantrasyonu 0,01 M değerinden 0,022 M değerine yükselmiştir. Daha sonraki zamanlarda bu değer 0,015 M değerine kadar gerilemiştir.

Çalışmanın genelinde  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu doğrusal artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,026 M değerine yükselmiştir.

#### 5.4.3.16 16. Çalışma (4 Membran, 25V)

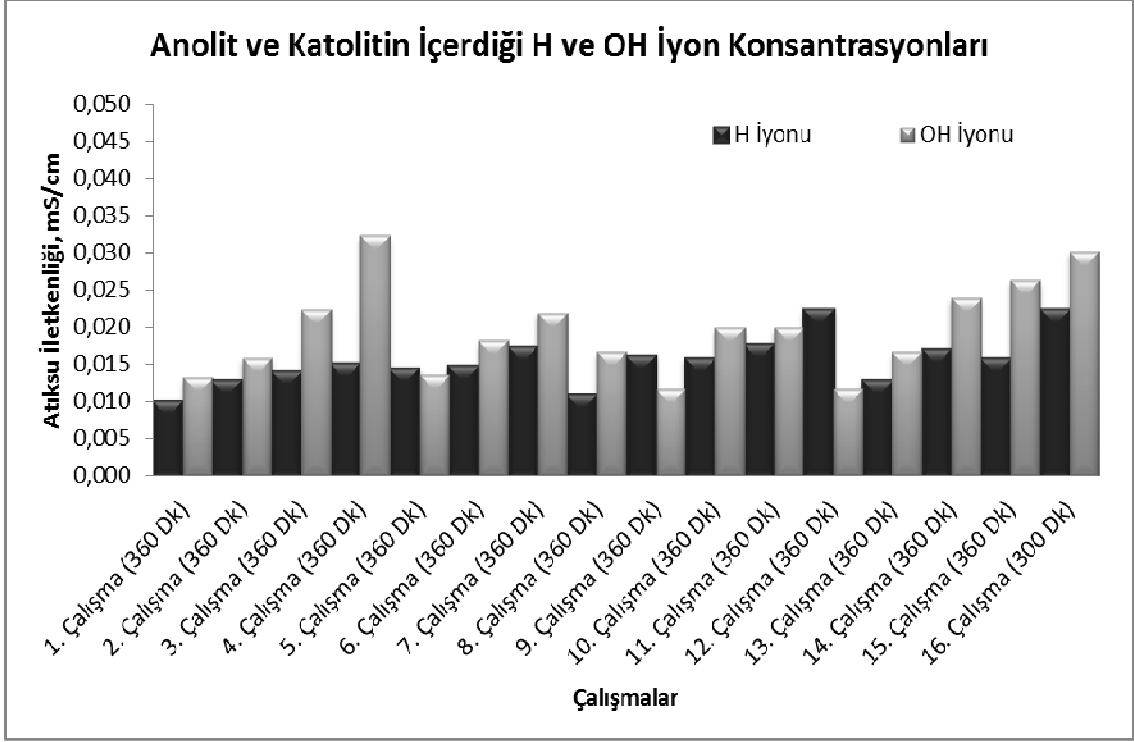


Şekil 5.166 Yaşlı Sızıntı Suyunun Elektrodializi Süresince Anolit ve Katolitte H ve OH İyonları Molar Konsantrasyonu Değişimi

Çalışma boyunca  $H^+$  iyonu molar konsantrasyonu doğrusal şekilde artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın başlarında 0,01 M olan değer 0,023 M değerine yükselmiştir. Çalışmanın başlarında artan  $OH^-$  iyonu molar konsantrasyonu 0,01 M değerinden 0,035 M değerine kadar artış göstermiştir. Sonraki sürelerde bu değer 0,03 M değerine kadar gerilemiştir.

#### 5.4.3.17 Genel Değerlendirme

Sızıntı Suyu elektrodializi ile birlikte geri kazanım çalışmalarının son adımı yaşlı sızıntı suları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu adımında benzer şekilde her bir çalışmada  $H^+$  ve  $OH^-$  iyon konsantrasyonu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların özet bir grafiği Şekil 5.167'de verilmektedir.



Şekil 5.167 Yaşlı Sızıntı Sularının Elektrodializ Süresince Anolit ve Katolit Sıvılarının H ve OH İyon Konsantrasyonlarının Değişimi

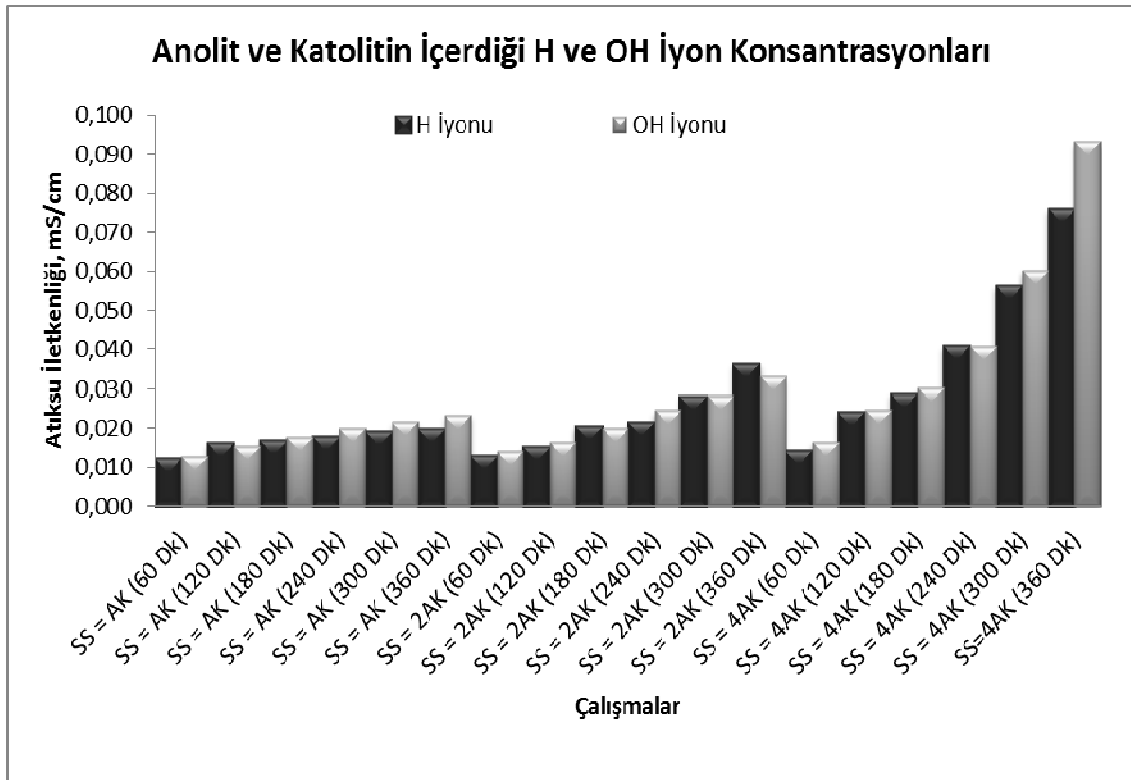
Şekil 5.167 incelendiğinde, ki özellikle 4 membranlı çalışmalarda çok açık bir biçimde görünüyor ki artan elektriksel gerilme paralel olarak artışlar gözlenmektedir. Gerek elektriksel gerilimin artması ve gerekse süreye bağlı olarak bu artış daha da yukarılara çekilebilir. Özellikle anolit ve katolit miktarının azaltılması hem prosesin oluşturduğu atığı çok azaltmakta hem de kullanılabilirlik açısından daha yoğun bir çözelti eldesine imkân sağlayacaktır.

#### 5.4.4 Genel Değerlendirme

Son yıllarda arıtılabilirlik çalışmalarının yerini geri kazanım çalışmaları almaktadır. Her ne kadar arıtım yapılıyor gibi görülse de proseslerin çoğunda atık parametreler daha küçük bir hacimde depolanmak suretiyle (membran konsantresi, arıtma çamuru vb.) atıksu arıtımı sağlanmaktadır. Oysa bu kirleticilerin tekrar değerlendirilemiyor oluşu bir kısır döngüye davetiye çıkarmaktadır. Bu çalışmanın ana konusu şüphesiz atıkları değerlendirilebilen ve bu sayede atık oluşturmeyen bir teknoloji olarak kabul edilebilecek olan elektrodializ prosesi ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarıdır. Muadil bir yöntem olarak genelde elektrodializ prosesi ile karşılaştırılan ters osmoz prosesinde %35-30 oranında bir konsantre akım açığa çıkmaktadır. Bu tam ölçekli bir tesis

düşünüldüğünde oldukça büyük bir hacimdir. Bu çalışmada ise konsantre akım hem istenilen ölçüde az alınabilmekte, hem de oluşan konsantre kısım anolit ve katolit ayrı ayrı toplanarak değerlendirilebilir bir hal almaktadır. Yapılan çalışmalarda anolit ve katolit değerleri 0,01 M'dan 0,05 M seviyelerine çok rahat bir biçimde aşmaktadır. Üstelik bu değerler arıtılacak su ile anolit aynı hacimde alındığında elde edilebilmiştir. Bu bakımdan anolit ve katolit hacimleri düşürülerek hem daha az bir atık oluşumu sağlanmakta hem de bu atık olarak görülen anolit ve katolitin asidik ve alkalilik açısından daha yoğun bir hal alması sağlanabilmektedir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar yukarıdaki başlıklar altında ayrı ayrı incelenmiştir. Yalnız önemli bir çalışma da bahsedildiği gibi anolit ve katolit hacimlerinin azaltılması ile sağlanmalıdır. Nitekim bu biçimde çok önemli sonuçlar alınabilecektir. Bu amaçla yapılan bir set çalışmaya ilişkin değerler Şekil 5.168'de özetlenmiştir.



Şekil 5.168 Anolit ve Katolit Sıvılarının H ve OH İyon Konsantrasyonlarının Atıksu / Anolit-Katolit Oranına Bağlı Olarak Değişimi

Şekil 5.168'da geri kazanıma ilişkin yapılan bir çalışma gösterilmektedir. Bu aşamada ilk 6 çalışma sızıntı suyu ile anolit ve katolitin aynı hacimlerde yapıldığı (SS=AK "Sızıntı Suyu = Anolit ve Katolit" ) çalışmanın zamana bağlı değişimi görülmektedir. İkinci altı



çalışmada ise sızıntı suyu hacminin yarısı (SS=2AK) bir biçimde anolit ve katolit kullanımındaki durumlar görülmektedir. Son 6 çalışma ise sızıntı suyunun 4'te biri oranında(SS=4AK) anolit ve katolit kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu açıdan bakıldığında beklenildiği gibi asidik ve alkali çözeltilerin hacimlerinin azaltılması ile kullanılabilir asidik ve alkali çözeltilerin yoğunlaştığı görülmektedir. Gerçek uygulamalarda bu oran çok daha azaltılıp, hem oldukça yoğun bir asidik alkali çözelti eldesi mümkün olabilir hem de atıksuyun tamamına yakını deiyonize bir biçim haline alabilecektir.

Ayrıca anolit kısmın asidik bir hal alması ve katolit kısmında bazik bir hal alması nedeniyle sızıntı suyunda bulunan organik iyonların aside dönüştükten sonra uçması ve benzer biçimde amonyum iyonunun da amonyak biçiminde ortamdaki gaz halinde uzaklaşmaktadır. Bu sıvılarında ayrı sıvılarda toplanması ve geri kazanımı üzerinde çalışmalar sürdürülebilir ve bu konuda çalışmalar yapılarak konu geliştirilebilir.

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile arıtımı en zor atıksuların başında gelen sızıntı sularının farklı yaşlardaki farklı karaktere sahip örneklerinin elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliği ve arıtma çıktılarının kullanım amaçlı geri kazanılabilirliğinin tespiti hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk olarak etkin bir ön arıtım yöntemi kullanılması gerekmektedir. Her bir proses için optimizasyon çalışmaları yapılmış, gerek ön arıtım, gerek ana arıtım proseslerinde istatistiki değerlendirmeler de sunulmuştur. Yalnız ekonomik analiz için yeterli çıktılara laboratuvar ölçekli çalışmalarla ulaşamamıştır. Nitekim elektrokimyasal arıtma sistemlerinin işletme maliyetinin %90'lık bir kısmının elektrik enerjisine dayandığı literatür bilgileri ile sabittir. Bu bağlamda orta yaşlı sızıntı suları için optimum şartlarda 40kW-sa/m<sup>3</sup> atıksu olarak belirlenmiştir. Enerji meblağlarına bakıldığında ise bu değer 4\$/m<sup>3</sup> atıksu seviyelerinde gerçekleşmiştir. İstanbul'da ise mevcut sızıntı suyu arıtma tesisi verileri baz alındığında arıtma maliyetinin 11\$/m<sup>3</sup> atıksu olduğu İSTAÇ A.Ş. verileri ile sabittir.

Geri kazanım çalışmalarına müteakip yapılan tıkanma çalışmaları ile elektrodializ kısmı tamamlanmıştır. Aynı zamanda elde edilen yan ürünlerin karışık asit ve karışık baz biçiminde kullanılabilirliği de belirlenmiştir.

Yapılan ön arıtım çalışmalarında her üç tip ham sızıntı suyu, ultrafiltrasyon ve beş seri iyon değiştirici ile arıtılarak BMED prosesine girecek kirlilik yükleri azaltılmış ve olası zararlar önlenmiştir. İyon değiştirici reçine olarak sodyum zeoliti yüklü katyon değiştiriciler kullanılmıştır. Böylece BMED sistemde tıkanmaya sebep olabilecek Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> gibi bileşenler giderilmiş ve potasyum gibi diğer düşük konsantrasyonda bulunan türler de sodyuma dönüştürülerek tek tip bir katyonik kirleticinin sızıntı suyunda

mevcudiyeti sağlanmıştır. BMED sistem çıkışında ise elde edilen katolit yüksek oranda saf NaOH olması hedeflenmiştir.

Orta yaşlı sızıntı suyuna uygulanan bu arıtım neticesinde % 50 KOİ, % 30 TKN, % 38,4 NH<sub>3</sub>-N, % 52 TP, % 68,3 PO<sub>4</sub>-P giderimi sağlanmıştır. Bunlara ilave olarak BMED prosesi arıtma verimini birinci dereceden etkileyen iletkenlik değeri orta yaşlı sızıntı suyuna uygulanan ön arıtım sonucunda % 59,4 azaltılmıştır.

Genç sızıntı suyuna uygulanan ön arıtım ile % 10 KOİ, % 76 TKN, % 78 NH<sub>3</sub>-N, % 28,5 TP ve % 27,5 PO<sub>4</sub>-P giderilmiştir. Genç sızıntı suyu iletkenlik değeri ise 31,3 mS/cm'den 27,82 mS/cm değerine indirilerek % 10,5'lik iletkenlik giderimi sağlanmıştır.

Yaşlı sızıntı suyuna uygulanan ön arıtım sonucunda ise % 5 KOİ, % 67,4 TKN, % 73,9 NH<sub>3</sub>-N, %56 TP ve %65,2 PO<sub>4</sub>-P giderimi elde edilmiştir. Yaşlı sızıntı suyunun ön arıtımı sonunda ise % 13,5'lik bir iletkenlik azaltımı sağlanabilmektedir.

Sonuç olarak ön arıtım ile üç tipteki sızıntı sularında etkili bir şekilde giderilen parametreler farklılık göstermiştir. Bunun nedeni olarak ise katı atık depo sahasında oluşan sızıntı sularının depo yaşına bağlı olarak farklı bileşenlere sahip olmaları ve uygulanan arıtım yöntemlerinde ise giderim mekanizmalarının birbirlerinden farklılık göstermeleri söylenebilir.

Ön arıtım uygulanmış orta, genç ve yaşlı sızıntı sularına geri kazanım amaçlı BMED prosesi uygulanmıştır. BMED ile arıtımda membran takım sayıları ve elektriksel gerilim baz alınarak her üç tip sızıntı suyu için BMED ile arıtımda optimum işletme şartları belirlenmiştir. Ön arıtımı yapılmış orta yaşlı sızıntı suyunun BMED ile arıtımında 1 membran takımı ve 25 V elektriksel gerilim uygulanmış ve proses sonunda % 86,7 KOİ, %92,8 TKN, %96,2 NH<sub>3</sub>-N, %57,7 TP, % 63,2 AKM ve % 88,3 iletkenlik giderimlerine ulaşılmıştır. Ön arıtımı yapılmış genç sızıntı sularının BMED prosesi ile arıtımında optimum şartlar olan membran takım sayısı 4 ve elektriksel gerilim 25 V işletme şartları uygulanmıştır. Böylece BMED proses ile ön arıtılmış genç sızıntı sularında % 64,6 KOİ, % 89,7 TKN, % 92,4 NH<sub>3</sub>-N, % 52,3 TP, % 77, 7 PO<sub>4</sub>-P, % 51,5 AKM ve % 93,6 iletkenlik giderimlerine ulaşılmıştır. Yaşlı sızıntı suyunun BMED prosesi ile arıtımında ise optimum işletme şartları olan 4 membran takım sayısı ve 25 V elektriksel gerilim uygulanarak proses işletilmiştir. Bu işletme şartlarında yaşlı sızıntı suyunda % 31,0 KOİ,

% 93,1 TKN, % 96,4 NH<sub>4</sub>-N, % 8,1 TP, % 5,9 PO<sub>4</sub>-P, % 61 AKM ve % 95,1 iletkenlik giderim verimlerine ulaşılmıştır. Her üç sızıntı suyu tipi içinde her ne kadar KOİ bazında çok yüksek bir giderim elde edilemese de elektrodializ prosesinin etkin olduğu kirleticiler üzerinde olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. KOİ bazında ise çıkış suyunun ülkemiz alıcı ortama deşarj standartlarına yapılan ileri oksidasyon prosesleriyle indirgenebilmiştir[99].

Yapılan elektrodializ çalışmalarında görülmüştür ki iyon giderimi açısından elektrodializ prosesi etkin bir biçimde kullanılabilir. Oluşan arıtım çıktılarının da değerlendirilebilirliği için bipolar membranlı elektrodializ prosesi olumlu sonuçlar vermektedir. Çalışmanın işletme şartlarında elektriksel gerilim ve membran sayısı en önemli işletme parametreleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Görüldü ki elektriksel gerilim kuvveti arttırıldığında iyon taşınımları da artmakta ve bu bağlamda arıtım verimi olumlu olarak seyretmektedir. İlerleyen süreye bağlı olarak kısmi tıkanmaların oluşuyor olması da direci arttırdığı için eşdeğer elektriksel gerilime bağlı oluşan akım değerlerini azaltmakta ve arıtma hızında kısmi düşüslere sebep olmaktadır. Bu aşamalarda yapılacak temizlemelerle akımın, dolayısıyla verimin artışı mümkün olabilmektedir[100]. 4 membranlı çalışmalarda da bir membrana oranla daha geç tıkanmalarla karşılaşmakta ve arıtma verimi daha istikrarlı sonuçlar vermektedir. Tek membranlı sonuçlar kısa vadede 4 membrandan daha az dirence neden olduğu için hızlı sonuçlar verse de ilerleyen zamanda çok daha çabuk tıkanıdığı için akım değerleri büyük oranda düşmektedir. 4 Membranlı çalışmalarda ise membran sayısının artması başlangıçta direnci arttırdığı için akım değeri düşük olsa da arıtma süreci boyunca tıkanmadan çok ta etkilenmemektedir. Bu amaçla yapılacak bir elektrodializ prosesinde işletme şartları çok iyi irdelenip, optimum parametrelerin belirlenmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Sızıntı suyunun BMED prosesi ile arıtımı yanısıra oluşan arıtma çıktılarının da değerlendirilebilirliği büyük önem taşımaktadır. Bu açıdan yapılan geri kazanım çalışmalarında anolit ve katolit bölgelerindeki sıvıların asidik ve alkalilik oranları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her 3 sızıntı suyu tipi içinde asidik ve alkali çözelti eldesi sağlanabilmiştir. Yalnız en önemli sonuç katolit ve anolit hacimlerinin azaltılması ile elde edilmiştir. Bu şekilde anolit ve katolit hacimleri sızıntı suyu hacmine

oranla çok düşük oranlarda alınabileceği ve bu sayede çok daha yoğun bir karışık asit ya da karışık baz çözeltisi elde edilebileceği görülmüştür. Anolit ve katolit oranı sızıntı suyu çalışmalarında sadece sızıntı suyunun ¼'ü oranına indirildiğinde asidik ve alkali çözeltiler neredeyse 10 kat daha yoğun bir asit halini almışlardır. Bu da bu değerlerin daha da aşılabileceğinin önemli bir göstergesidir. Bu şekilde elde edilen asitlerin de Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında yapılan pH ayarlama ve nötralizasyon gibi basit çalışmalarda deneme amacıyla kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Ayrıca proses esnasında anolit kısmının asidik, katolit kısmında bazik olması nedeniyle toplanması gereken amonyak ve organik asitler ortamdaki uçmaktadır. Bu amaçla sızdırmazlık sistemi sağlanmış olup, ayrı sıvılarda bu parametreler depolanarak geri dönüşümü sağlanmaya çalışılmıştır. Anolit kısmından toplanan gazlar 0,01M'lık NaOH çözeltisinde depolanmış ve çözeltinin pH'sını 9-10 mertebelerine taşıdığı görülmüştür. Bu durum kesif kokulu asetik asitin varlığı ile tespit edilmiştir. Benzer şekilde katolit kısmında da oluşan NH<sub>3</sub> gazı Standart Metod'larda yer alan amonyak tayininde de öngörülen borik asit içerisinde toplanmıştır. Bu şartlarda pH değeri 5 mertebesinden 8 seviyelerine ilerlemiştir.

Sonuç olarak sızıntı sularının elektrodializ prosesi ile geri kazanım amaçlı arıtılabilirliği çalışması elde edilen sonuçlar açısından değerlendirildiğinde öngörülebilir bir çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçek uygulamalarda oldukça kompleks sorun üreten ve arıtma maliyeti yüksek meblağlara ulaşan sızıntı suyu arıtma prosesleri ile kıyaslandığında elektrodializ prosesi atık öğretmeyen bir teknoloji olarak bir adım öne çıkmaktadır. Proses çıktılarının değerlendirilebilir potansiyelleri de bu prosesin diğer bir pozitif yönünü oluşturmaktadır. Diğer taraftan elektrodializ sistemleri için dışa bağımlı olma durumumuz bu prosesin handikabını oluşturmaktadır.

## KAYNAKLAR

- 
- [1] Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, (1991), 14.3.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- [2] Ebin G. C., (2004), Katı atık depo sahalarının rehabilitasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Gönüllü M. T., Baştürk A., (1987). "Katı atıklardaki organik maddelerin sızması", Çevre'87 Sempozyumu, İzmir.
- [4] Yıldız Ş., (2005). "Sızıntı suyu yönetimi", Seminer, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [5] Bilgili M. S., (2005). Katı atık düzenli depo sahalarında atıkların aerobik ve anaerobik ayrışması üzerine sızıntı suyu geri devrinin etkileri, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Heyer K. U., Erdin E. ve Tokgöz S., (1999). "Deponi sızıntı sularının arıtma teknikleri ve örnek tesisler", III. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- [7] Gönüllü M. T., Baştürk A. ve San H. A., (1986). "Sızıntı suyu problemi bakımından istanbul katı atık depo yerlerinin incelenmesi", Çevre'86 Sempozyumu, İzmir.
- [8] Çevre Bakanlığı, (2002). Düşük ve yüksek bütçeli belediyeler için katı atık depolama sahalarının standart olarak planlanması ve tasarımı raporu, Ankara.
- [9] Lisk D.J., (1991). "Environmental effects of landfills", Science of the Total Environment, 100: 415-468.
- [10] Reinhart R. D. ve Grosh C. J., (1998). Analysis of florida msw landfill leachate quality, Solid and Hazardous Waste Management, Report, #97-3.
- [11] Kurt U., (2000). Sızıntı sularının demir katalizli hidrojen peroksit oksidasyonu ile arıtılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Şahin T. İ. ve Öncel M. S., (2005). "Gebze katı atıklarının dökümden önce ve sonra oluşan sızıntı sularının karakteristiklerinin belirlenmesi", 3. Ulusal Katı Atık Kongresi, İzmir.
- [13] Tekin U. F., (2000). İzaydaş deponi alanlarında oluşan sızıntı sularının incelenmesi ve arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [14] İSTAÇ, [www.istac.com.tr](http://www.istac.com.tr), 20.09.2012
- [15] Mertoğlu B., Çallı B., Taş N., Aksu D., Konukçu M., Erdoğan E. ve İnanç B., (2000).

- “Yüksek Amonyak İçeren Katı Atık Depo Sahası Sızıntı Sularında Biyolojik Azot Giderimi”, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi, 10(2): 37-43.
- [16] İlhan F., (2007). Sızıntı Sularının Elektrokoagülasyon Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Kettunen R.H., (1997). Treatment of Landfill Leachates by low temperature anaerobic and sequential anaerobic-aerobic processes, Ph.D. Thesis, Tampere University of Technology, Tampere.
- [18] Ozturk T., Veli S., Dimoglo A., Oncel S. ve Ayberk S., (2005). “İzaydaş Depo Alanı Sızıntı Suyunun Elektrokoagülasyon Yöntemiyle Arıtımı”, 3. Ulusal Katı Atık Kongresi, İzmir.
- [19] Shaposhnik V.A. ve Kesore K., (1997). “An early history of electrodialysis with permselective membranes”, Journal of Membrane Science, 136: 35-39.
- [20] Çetin, B., (2006). Bakır ve nikel iyonlarının hibrit iyon değişimi-elektrodiyaliz süreci ile giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [21] Shaposhnik, V. A., Zubets, N. N., Strygina, I. P. ve Mill, B. E., (2002). “High demineralization of drinking water by electrodialysis without scaling on the membranes”, Desalination, 145: 329-332.
- [22] Karabacakoğlu, B., (2001). Seyreltik çözeltilerden gümüş iyonların uzaklaştırılmasında elektrodiyalizin uygulanması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [23] Hacıoğlu, B., (2006). Elektrodiyaliz yöntemi ile model çözeltilerden sitrik asit geri kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [24] Farias, M. A. ve Bazinet, L., (2006), “Effect of calcium and carbonate concentrations on anionic membrane fouling during electrodialysis”, Journal of Colloid and Interface Science, 296: 242–247.
- [25] Lee, H. J., Choi, J. H., Cho, J. ve Moon, S. H., (2002). “Characterization of anion exchange membranes fouled with humate during electrodialysis”, Journal of Membrane Science, 203: 115–126.
- [26] Bribiesca, E. A., Pourcelly, G. ve Bazinet, L., (2006). “Nature identification and morphology characterization of cation-exchange membrane fouling during conventional electrodialysis”, Journal of Colloid and Interface Science, 300: 663 - 672.
- [27] Ergin, E., (2008). Elektrodiyaliz yöntemiyle sulardan florür’ün giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [28] Hayes T., (2004). “The electrodialysis alternative for produced water management”, Produced Water, GasTIPS.
- [29] Scott, K., (1996). Industrial membrane separation technology, edited by Scott K. And Hughen R., Blackie Academic and Professional, Charpman and Hall, Great Britain.

- [30] Gönüllü, M. T., (2004). Endüstriyel kirlenme kontrolü, Birsen Yayınevi, Cilt 1, 1. Baskı, İstanbul.
- [31] Shaposhnik, V. A., Zubets, N. N., Strygina, I. P. ve Mill, B. E., (2002). "High demineralization of drinking water by electrodialysis without scaling on the membranes", *Desalination*, 145: 329-332.
- [32] Sadrzadeh, M., Razmi, A. ve Mohammadi, T., (2007). "Separation of monovalent, divalent and trivalent ions from wastewater at various operating conditions using electrodialysis", *Desalination*, 205: 53-61
- [33] Yazici S., (2012), Elektrodiyaliz bipolar membran proseslerin tıkanma mekanizması ve önleme çalışmalarının analizi: sızıntı suyu örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Baker, R. W., (2004). Membrane technology and applications, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, Menlo Park, California.
- [35] Mulder, M., (1996). Basic principles of membrane technology, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [36] Tezakıl, F., (2008). Sertlik gideriminde elektrodiyaliz ve elektrodeiyonizasyon yöntemlerinin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [37] Xu, T., (2005). "Ion exchange membranes: state of their development and perspective", *Journal of Membrane Science*, 263: 1-29.
- [38] Sata, T., Sata, T. ve Yang, W., (2002). "Studies on cation-exchange membranes having permselectivity between cations in electrodialysis", *Journal of Membrane Science*, 206: 31-60.
- [39] Strathmann, H., (1994). "Electrodialytic membrane processes and their practical application", *Studies in Environmental Science 59 Environmental Oriented Electrochemistry*, C.A.C. Sequeira (Ed.), Elsevier Science, Amsterdam.
- [40] Koter, S. ve Warszawski, A., (2000). "Electromembrane Processes in Environment Protection, *Polish Journal of Environmental Studies* 9(1): 45-56.
- [41] Shee, F. L. T., Arul, J., Brunet, S. ve Bazinet, L., (2007). "Chitosan solubilization by bipolar membrane electroacidification: Reduction of membrane fouling", *Journal of Membrane Science*, 290: 29-35.
- [42] Noble, R. D. ve Stern, S. A., (1995). Membrane separation technology principles and applications, Membrane Science and Technology Series 2, Department of Chemical Engineering, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0424, USA.
- [43] Amokrane, A., Comel, C. ve Veron, J., (1997). "Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation", *Water Research*, 31(11): 2775-2782.
- [44] Huang, C. ve Xu, T., (2006). "Electrodialysis with bipolar membranes for sustainable development", *Environmental Science and Technology*, 40: 5233-5243.
- [45] Tongwen, X. ve Weihua, Y., (2002). "Citric Acid Production by Electrodialysis with Bipolar Membranes", *Chemical Engineering and Processing*, 41: 519-524.
- [46] Wang, Y., Zhang, X. ve Xu, T., (2010). "Integration of conventional electrodialysis



- and electrodialysis with bipolar membranes for production of organic acids”, *Journal of Membrane Science*, 365: 294-301.
- [47] Molnar, E., Nemestothy, N. ve Belafi-Bako, K., (2010). “Utilisation of bipolar electrodialysis for recovery of galacturonic acid”, *Desalination* , 250: 1128-1131.
- [48] Mafe, S., Ram’irez, P. ve Alcaraz, A., (1998). “Electric field-assisted proton transfer and water dissociation at the junction of a fixed-charge bipolar membrane”, *Chemical Physics Letters* 294: 406-412.
- [49] Shi, S., Lee, Y. H., Yun, S. H., Hung, P. V. X. ve Moon, S. H., (2010). “Comparisons of fish meat extract desalination by electrodialysis using different configurations of membrane stack”, *Journal of Food Engineering*, 101: 417-423.
- [50] Zhanga, Y., Bruggena, B. V., Pinoy, L. ve Meesschaertc, B., (2009). “Separation of nutrient ions and organic compounds from salts in ro concentrates by standard and monovalent selective ion-exchange membranes used in electrodialysis”, *Journal of Membrane Science*, 332: 104-112.
- [51] Sadrzadeh, M. ve Mohammadi, T., (2009). “Treatment of Sea Water using Electrodialysis: Current Efficiency Evaluation”, *Desalination*, 249: 279-285.
- [52] Lameloise, M. L., Matinier, H. ve Fargues, C., (2009). “Concentration and purification of malate ion from a beverage industry wastewater using electrodialysis with homopolar membranes”, *Journal of Membrane Science*, 343: 73-81.
- [53] Heijne, A. T., Hamelers, H. V. M., Wilde, V., Rozendal, R. A. Ve Buisman, C. J. N.,. A (2006). “Bipolar membrane combined with ferric iron reduction as an efficient cathode system in microbial fuel cells”, *Environmental Science and Technology*, 40: 5200-5205.
- [54] Strathmann H. ve Koops G. H., (2000). Process economics of the electrodialytic water dissociation for the production of acid and base, in: A.J.B. Kemperman (Ed.), *Handbook on Bipolar Membrane Technology*, Twente University Press, Enschede, 193–218.
- [55] Walsh, F.C., (1993). *A first course in electrochemical engineering*, The Electrosynthesis Co. Inc., NewYork, 341-374.
- [56] Walsh, F.C. ve Pletcher, D., (1993), *Industrial electrochemistry*, Second Edition, The Electrosynthesis Co. Inc., NewYork, 92.
- [57] Brett, C.M.A. ve Brett, A.M.O., (1993). *Electrochemistry principles, methods and applications*, Oxford University Press, Oxford, 427.
- [58] Çetin, B., (2006). Bakır ve nikel iyonlarının hibrit iyon değişimi-elektrodializ süreci ile giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [59] Klein, E., Ward, R. A. ve Lacey, R. E., (1987). *Membrane process- dialysis and electrodialysis*, *Handbook of Separation Process Technology*, John Wiley, New York.
- [60] Nishimura M., Osada Y. ve Nakagawa T., (1992). *Dialysis, Membrane Science and Technology*, New York, 361-376.

- [61] Tor A., Büyükerkek T., Çengelöğlü Y. ve Ersöz Y., (2004). "Simultaneous recovery of Cr (III) and Cr (VI) from the aqueous phase with ion-exchange membranes", *Desalination*, 171: 233-241.
- [62] Strathmann H., (1985). "Membranes and membrane processes in biotechnology", *Trends in Biotechnology*, 3-5: 112-118.
- [63] Dumy M.B., Lindheimer A. ve Gavach C., (1991). "Transport properties of anion exchange membranes in contact with hydrochloric acid solutions, membranes for acid recovery by electrodialysis", *Journal of Membrane Science*, 57(1): 57-68.
- [64] Djane N.K., Ndungu K., Johnsson C., Sartz H., Tornstrom T. ve Mathiasson L., (1999). "Chromium speciation in natural waters using serially connected supported liquid membranes", 48(5): 1121-1132.
- [65] Cengelöglu Y., Tor A., Kir E. ve Ersoz M., (2003). "Transport of Hexavalent Chromium Through Anion-Exchange Membranes", *Desalination*, 154(3): 239-246.
- [66] Walters W.R., Weisner D.W. ve Marek L.J., (1955). "Concentration of radioactive aqueous wastes: electromigration through ion-exchange membranes", *Ind. Engineering Chemistry*, 47-61.
- [67] Aritomi T., Nago S. ve Hanada F., (2001). "Performance of an improved bipolar membrane", *Membrane Technology*, 135: 11-13.
- [68] Lee E.G., Moon S.H., Chang Y. K., Yoo I. K. ve Chang H. N., (1998). "Lactic acid recovery using two stage electrodialysis and its modelling", *Journal of Membrane Science*, 145: 53-66.
- [69] Nikbakht R., Sadrzadeh M. ve Mohammadi T., (2007). "Effect of operating parameters on concentration of citric acid using electrodialysis", *Journal of Food Engineering Volume*, 83(4):596-604.
- [70] Serrano R.E., Medina D.I.T., Alvarez L.D., Beltran L.A., Perez J.C., Dominquez G.C., Fito P. ve Lopez G.F.G., (2007). "Acid salt conversion by means of electrodialysis: Application of the systematic approach to food engineering systems (SAFES) methodology", *Journal of Food Engineering*, 83(2):277-284.
- [71] Franken T., (2000). "Bipolar membrane technology and its application", *Membrane Technology*, 125: 8-11.
- [72] Wakamatsu Y., Matsumoto H., Minigawa M. ve Tanioka A., (2006), "Effect of ion-exchange nanofiber fabrics on water splitting in bipolar membrane", *Journal of Colloid and Interface Science*, 300(1): 442-445.
- [73] Xu T., (2002). "Electrodialysis processes with bipolar membranes (BMED) in environmental protection—a review", *Resources Conservation Recycling*, 37-1.
- [74] Koter S., (2007). "Modeling of weak acid production by the edb method", *Separation and Purification Technology*, 57: 406-412.
- [75] Moresi M. ve Sappino F., (1998). "Economic feasibility study of citrate recovery by electrodialysis", *Journal of Food Engineering*, 35: 75-90.
- [76] Ameridia Eurodia, [www.ameridia.com](http://www.ameridia.com), 20.09.2012
- [77] Tongwen, X. ve Weihua, Y., (2002). "Citric acid production by electrodialysis with

- bipolar membranes”, *Chemical Engineering and Processing*, 41: 519-524.
- [78] Yazıcıgil Z. ve Öztekin Y., (2007). “Elektrodiyaliz yöntemi ile asit-baz oluşumuna ikili ve üçlü hücrelerin etkisinin araştırılması”, 21. Ulusal Kimya Kongresi, 23-27.
- [79] Pourcelly, G. ve Gavach, C., (2000). Electrodialysis water splitting-application of electrodialysis with bipolar membranes, In *Handbook on Bipolar Membrane Technology*; Kemperman, A. J. B., Ed., Twente University Press: Enschede, The Netherlands, 17-46.
- [80] Graillon, S.; Persin, F.; Pourcelly, G. ve Gavach, C., (1996). “Development of electrodialysis with bipolar membrane for the treatment of concentrated nitrate effluents”, *Desalination*, 107: 159- 169.
- [81] Novalic, S. ve Kulbe, K. D., (1998). “Separation and concentration of citric acid by means of electrodialytic bipolar membrane technology”, *Food Technology and Biotechnology*, 36: 193-195.
- [82] Yu, L. X., Guo, Q. F., Hao, J. H. ve Jiang, W. J., (2000). “Recovery of acetic acid from dilute wastewater by means of bipolar membrane electrodialysis”, *Desalination*, 129: 283-288.
- [83] Xu T., (2002). “Electrodialysis processes with bipolar membranes (BMED) in environmental protection—a review”, *Resources Conservation Recycling*, 37-1.
- [84] Novalic, S. ve Kulbe, K. D., (1998). “Separation and concentration of citric acid by means of electrodialytic bipolar membrane technology”, *Food Technology and Biotechnology*, 36: 193-195.
- [85] Alvarez, F., Alvarez, R., Coca, J., Sandeaux, J., Sandeaux, R. ve Gavach, C. (1997). “Salicylic acid production by electrodialysis with bipolar membranes”, *Journal of Membrane Science*, 123: 61-69.
- [86] Trivedi G.S., Shah B.G., Adhikary S.K., Indusekhar V.K. ve Rangarajan R., (1997). “Studies on bipolar membranes. part II – conversion of sodium acetate to acetic acid and sodium hydroxide”, *Reactive & Functional Polymers*, 32: 209-215.
- [87] Yu, L. X., Guo, Q. F., Hao, J. H. ve Jiang, W. J., (2000). “Recovery of acetic acid from dilute wastewater by means of bipolar membrane electrodialysis”, *Desalination*, 129: 283-288.
- [88] Ferrer, J.S.J., Laborie, S., Durand, G. ve Rakib, M., (2006). “Formic acid regeneration by electromembrane process”, *Journal of Membran Science*, 280(1-2): 509-516.
- [89] Cifuentes, L., García, I., Ortiz, R. ve Casas, J. M., (2006). “The use of electrohydrolysis for the recovery of sulphuric acid from coppercontaining”, *Separation and Purification Technology*, 50(2): 167-174.
- [90] Pourcelly, G. ve Bazinet, L. (2007). In *handbook of membrane separations: Chemical, pharmaceutical and biotechnological applications*, Pabby, A. K., Rizvi, S. S. H., Sastre, A. M., Eds.; CRC Pr I llc:, Florida.
- [91] Salt Y. ve Dincer S., (2006). “An option for special separation operations: Membrane processes”, *Sigma*: 1-23.
- [92] Rodrigues M.A.S., Amado F.D.R., Xavier J.L.N., Streit K.F., Bernardes A.M., Ferreira j.Z., (2008). “Application of photoelectrochemical-electrodialysis treatment for the recovery and reuse of water from tannery effluents”, *Journal of Cleaner Production*, 16: 605-611.
- [93] Schoeman J.J., (2008). “Evaluation of electrodialysis for the treatment of a hazardous leachate”, *Desalination*, 224(1/3): 178-182.

- [94] Schoeman J.J., Steyn A.A. ve Makgae M., (2005). "Evaluation of electro dialysis for the treatment of an industrial solid waste leachate", *Desalination*, 186: 273-289.
- [95] Nataraj S.K., Sridhar S., Shaikha I.N., Reddy D.S. ve Aminabhavi T.M., (2007). "Membrane-based microfiltration/electrodialysis hybrid process for the treatment of paper industry wastewater", *Separation and Purification Technology*, 57: 185-192.
- [96] Chao Y.M. ve Liang T.M., (2008), "A Feasibility Study of Industrial Wastewater Recovery Using Electrodialysis Reversal", *Desalination*, 221: 433-439.
- [97] Hays J., (2000). "Iowa's first electro dialysis reversal water treatment plant", *Desalination*; 132(1-3): 161-165.
- [98] Sari H., (2012), "Elektrodiyaliz bipolar membran prosesiyle aritilmis sızıntı suyunun fenton oksidasyonu ile nihai arıtımının değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [99] APHA, AWWA, and WPCF. (1995), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., Washington, DC.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Fatih İLHAN
Doğum Tarihi ve Yeri	18 Mayıs 1983, Trabzon
Yabancı Dili	İngilizce
E-posta	filhan@yildiz.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lisans	Çevre mühendisliği	19 Mayıs Üniversitesi	2004

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005-Halen	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### YAYINLARI

#### Uluslararası Makale

In Press	Sari, H., Yetilmezsoy K., <b>İlhan, F.</b> , Yazici S., Kurt U., Apaydin O., ( <b>In Press</b> ). "Fuzzy-logic modeling of Fenton\'s strong chemical oxidation process treating three types of landfill leachates", <i>Environmental Science and Pollution Research</i> , DOI: 10.1007/s11356-012-1370-6.
2012	Coskun, T., <b>İlhan, F.</b> , Manav Demir, N., Debik, E., Kurt, U., (2012). "Optimization of energy costs in the pretreatment of olive mill wastewaters by electrocoagulation", <i>Environmental Technology</i> ,

33(7), 801–807.

- 2009 Yetilmezsoy K., **İlhan F.**, Zengin Z.S., Sakar S., Gonullu M.T., (2009). “Decolorization and COD reduction of UASB pretreated poultry manure wastewater by electrocoagulation process: A post treatment study”, *Journal of Hazardous Materials*, 162, 120-132.
- 2008 **İlhan F.**, Kurt U., Apaydin O., Gonullu M.T., (2008). “Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes”, *Journal of Hazardous Materials*, 154, 381-389.
- 2008 Kurt U., Gonullu M.T., **İlhan F.**, Varınca K., (2008). “Treatment of domestic wastewater by electro-coagulation in a cell with Fe-Fe electrodes”, *Environmental Engineering Science*, 25(2) 153-162.

#### **Uluslararası Bildiri**

- 2012 Sari H. **İlhan F.**, Yazici S., Ulucan K., Apaydin O., (2012) “Treatability of diluate solution from electrodialysis process by aerobic sequencing batch reactor, *International Conference on Recycling and Reuse*, 4-6 June 2012, İstanbul/Turkey.
- 2011 Ulucan K., **İlhan F.**, Cikaranoglu S., Yazici S., Sari H., Kurt U., (2011) “Treatment of bilge water by electrocoagulation/electroflotation process: Optimization with response surface method, *Eurasia Waste Management Symposium*, 14-16 November 2011, İstanbul/Turkey.
- 2011 Yazici S., **İlhan F.**, Sari H., Aydin Y., Ulucan K., Kurt U., (2011) “Fouling of ion exchange membranes in electrodialysis process for recovery of leachate compounds, *Eurasia Waste Management Symposium*, 14-16 November 2011, İstanbul/Turkey.
- 2010 **İlhan F.**, Kabuk H.A., Gonullu M.T., (2010), “Investigation on treatment of leachate by nanofiltration”, *IWA regional conference and exhibition membrane technology and water reuse*, October 18-22 2010, İstanbul/Turkey.
- 2010 **İlhan F.**, Varınca K.B., Gonullu M.T., Kasar C., (2010), “Treatment of COD, TOC and color by electrocoagulation process from textile wastewaters”, *International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium*, 26-28 October 2010 – Konya/Turkey.
- 2010 **İlhan F.**, Gonullu M.T., Avsar Y., Kurt U., Kabuk H.A., (2010), “Electrodialysis in membrane processes, mechanism and applications”*International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium*, 26-28 October 2010 – Konya/Turkey.

- 2010 **Ilhan F.**, Gonullu M.T., Kurt U., Apaydin O., Arslankaya E., (2010), "Optimization of phosphorus compounds removal by electrocoagulation process from landfill leachate", *International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium*, 26-28 October 2010 – Konya/Turkey.
- 2009 **Ilhan F.**, Arslankaya E., Gonullu M.T., Kurt U., Apaydin O., (2009) "Optimization of COD, NH<sub>3</sub>-N and color removal by electrooxidation processes from middle aged landfill leachate", *First International Wrokshop on Application of Redox Technologies in the Environment*, 2009, İstanbul/Turkey.
- 2009 **Ilhan F.**, Arslankaya E., Gonullu M.T., Kurt U., Apaydin O., (2009), "Optimization of organic pollutants removal by electrocoagulation with iron electrodes", *First International Wrokshop on Application of Redox Technologies in the Environment*, 2009, İstanbul/Turkey.
- 2008 Gonullu M.T., Arslankaya E., **Ilhan F.**, Kurt U., Apaydin O., (2008), "Optimization of color and COD removal from leachate by electro-coagulation treatment", *Middle East Recycling, Waste & Environmental Management Exhibition & Congress (RecShow 08)*, February 17-20 2008, Dead Sea, Jordan.
- 2007 **Ilhan F.**, Apaydin O., Kurt U., Arslankaya E., Gonullu M.T., "Treatment of Leachate Electrocoagulation and Electrooxidation Process", *Third International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST)*, August 6-9 2007, Houston-Texas, USA.

#### **Ulusal Makale**

- 2011 Kurt U., **Ilhan F.**, Birben N.C., Ulucan K., Gonullu M.T., (2011). "Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte elektrokoagülasyon prosesiyle arıtılabilirliğinin incelenmesi", *Environmental Technology*, 33(7), 801–807.

#### **Ulusal Bildiri**

- 2010 **Ilhan F.**, Gonullu M.T., (2010), "Kıyılarda gerçekleşen vahşi depolamanın denize ve sağlığa olumsuz etkileri: Trabzon örneği", *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal Kongresi*, 27 Nisan-1 Mayıs 2010, Trabzon, Türkiye.
- 2009 Kurt U., **Ilhan F.**, Birben C.N., Ulucan K., Gonullu M.T., (2009) "Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte elektrokoagülasyon prosesiyle arıtılabilirliğinin incelenmesi", *Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu (TÜRKAY'09)*, 15-17 Haziran 2009, İstanbul, Türkiye.

2007 **İlhan F.**, Kurt U., Apaydin O., Arslankaya E., Gonullu M.T., “Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulama Alanları; Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması Örneği”, *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, 28-31 Mayıs 2007, İstanbul, Türkiye.

### Proje

1. Gonullu M.T., Kurt U., **İlhan F.**, Varınca K.B., (Devam Ediyor). “*Atık Akü Solüsyonlarından Elektrodializ Prosesiyle Asit Geri Kazanımı*”, 2010-05-03-KAP no.lu YTÜ BAP projesi.
2. Gonullu M.T., Avşar Y., Kurt U., **İlhan F.**, Kabuk H.A., (2012). “*Sızıntı Sularının Geri Kazanım Amaçlı Elektrodializ Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi*”, 109Y285 no.lu TÜBİTAK Projesi.
3. Kurt U., **İlhan F.**,(2010) “*Sızıntı Suları ve Evsel Atıksuların Birlikte Hızlı ve Ekonomik Bir Yöntem Olarak Elektro-Koagülasyonla Arıtılabilirliğinin İncelenmesi*”, İBB Projesi.
4. Gonullu M.T., Kurt U., Apaydin Ö., Arslankaya E., **İlhan F.**, (2008) “*Sızıntı Sularının Elektrokoagülasyon Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi*”, TÜBİTAK Projesi.