



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİPOLAR MEMBRAN ELEKTRODİYALİZ YÖNTEMİ
İLE EVSEL ATIK SULARIN GERİ KAZANIMI**

Hamda Mowlid NUR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK**

OCAK, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 7.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı,
Çevre Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Ömer APAYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Doç. Dr. Serdar AYDIN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır

ÖNSÖZ

I would like to thank God First and foremost for the countless blessings in my life and the wisdom he has provided me throughout my life. I express my sincere appreciation to my supervisors, Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK and Doç.Dr. Serdar AYDIN for the guidance and counsel they have given me throughout this project. To my family and especially my mother Mrs. Zeynab sheik JIBRIL and my brother Dr. Abdikani NUR for their unconditional love and support that they have given me all the way through my education and career. I also acknowledge the encouragement and support received from both my collages and friends. Great thanks to Rukia M.sharif, Fatıma M.sharif and MSc. George William Kajjumba. Last but certainly not least my at most appreciation to my wonderful sister and friend Hamda MOUHUMED for all the long hours she has spent on editing this work truly without you this work would not have been possible.

Ocak, 2019

Hamda Mowlid NUR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	4
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
1.2.1. Hedefler	4
1.3. Kapsam	5
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. Evsel Atıksu Arıtımı ve Yeniden Kullanımı.....	5
2.1.1. Evsel atık suyun yeniden kullanımı ile ilgili önem ve sorunlar	5
2.1.1.1. Nütrientler	5
2.2. Desalinasyon	6
2.3. Atıksu Arıtma Yöntemleri	6
2.3.1. Fiziksel yöntemler	7
2.3.2. Biyolojik yöntemler	7
2.3.3. Kimyasal yöntemler.....	7
2.4. Membran Teknolojisi.....	7
2.4.1. Membran bazlı prosesler ve teknolojiler	8
2.4.2. Membran distilasyon	10
2.4.3. Ters osmoz.....	10
2.4.4. İleri osmoz	11
2.5. Elektrodializ.....	11
2.5.1. Elektrodializ işlem çeşitleri	12
2.5.1.1. Ters elektrodializ.....	12
2.5.1.2. Bipolar membran elektrodializi.....	13
2.5.1.3. Elektrodeiyonizasyon	13

2.5.2.	Elektrodiyaliz Uygulamaları.....	14
2.5.3.	Elektrodiyalizin avantajları ve sakıncaları	15
2.6.	Elektrodiyalizin Kurulması ve İşletilmesi	16
2.7.	Gelecek Perspektifleri	17
3.	MALZEME VE YÖNTEM.....	18
3.1.	Elektrodiyaliz ekipmanları.....	18
3.2.	DeneySEL Prosedürler	19
3.2.1.	Ön arıtma	19
3.2.2.	Analitik deneyler	19
3.2.2.1.	Atık su karakterizasyonu.....	19
3.2.3.	Desalinasyon ve pH etkisi deneyleri	20
3.2.4.	Nütrient analizi	21
4.	BULGULAR	22
4.1.	Evsel Atıksuyun Desalinasyonu	22
4.1.1.	ED Desalinasyon performansına pH'nın etkisi	22
4.1.2.	ED Desalinasyon performansına voltaj'ın etkisi.....	24
4.2.	Nütrientlerin Giderilmesinde ED Performansı	25
4.2.1.	ED ile nütreint gideriminde pH'nın etkisi	26
4.2.2.	ED ile nütreint gideriminde voltaj'ın etkisi.....	26
4.3.	Elektrodiyaliz Prosesinin Sürekli Akışın Sağlanması	27
4.3.1.	Sürekli ED deneylerinin tuzluluk giderme performansı.....	27
4.3.2.	Sürekli işletilen deneylerde nütrientlerin geri kazanımı.....	29
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	31
5.1.	Farklı pH'daki Numunelerde Desalinasyon ve Nütrient Giderim Performansı	31
5.2.	Desalinasyon ve Nütrient Giderim Performansına Voltajın Etkisi.....	32
5.2.1.	ED kolonlar içinde desalinasyon sırasında iletkenlik dalgalanması.....	32
5.3.	Sürekli Sistem Deneyleri	38
5.3.1.	Desalinasyon ve Nütrient Geri Kazanımı	38
5.3.2.	Fosfat geri kazanma performansı	38
5.4.	SONUÇ	40
	REFERANSLAR.....	43

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2. 1 Basınçla çalışan Membran teknolojisi	9
Şekil 2. 2 Uygulanan hidrostatik basıncın bir fonksiyonu olarak ideal yarı geçirgen bir zar boyunca trans-zar çözücünün akışı.....	11
Şekil 2. 3 Bipolar membranlı ED işlemi	13
Şekil 2. 4 Elektrodiziyonizasyon hücresi	14
Şekil 3. 1 ED Reaktör	Şekil 3. 2 ED Hücreleri ... 18
Şekil 3. 3 ED hücresi membran ve spacer sıralanışı	20
Şekil 3. 4 Conventional ED operation configuration	21
Şekil 4. 1 Seyreltik hücre; farklı pH altında tuzdan arındırma performansı	23
Şekil 4. 2 Seyreltik ve konsantre hücre; normal pH altında tuzdan arındırma performansı.....	24
Şekil 4. 3 Seyreltik hücre; farklı voltajlarda tuzdan arındırma performansı	25
Şekil 4. 4 Farklı pH altında nütrient giderim oranı.....	26
Şekil 4. 5 Seyreltik hücre; sürekli çalışma modunda tuzdan arındırma performansı.....	29
Şekil 4. 6 Sürekli akışta nütrient geri kazanımı.....	30
Şekil 5. 1 Konsantre ve diluat pH değerindeki değişim	34
Şekil 5. 2 Farklı voltajlar altında hedef besinleri çıkarma etkinliği	36
Şekil 5. 3 Tipik akım voltaj eğrisi	37
Şekil 5. 4 İyon değişim membranı deneyinden önce ve sonra	39

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3. 1 Genel ED sistemi özellikleri	19
Tablo 3. 2 Atıksu nünunelerin parametreleri.....	19
Tablo 4. 1 Farklı voltajlar altında nütrientlerin giderim yüzdeleri	27



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

ED	: Elektrodiyaliz
BOİ	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
BPMED	: Bipolar membran elektrodiyaliz
EDC's	: Endokrin bozucular
EDI	: Elektrodeiyonizasyon
EDR	: Elektrodiyaliz tersine çevirme
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
MBR	: Membran biyoreaktör
MD	: Membran distilasyon
MF	: Mikro filtrasyon
NF	: Nano filtrasyon
PhAC's	: Pharmaceuticals
RO	: Reverse osmosis
TMP	: Trans membran basınç
UF	: Ultra filtrasyon

ÖZET

BİPOLAR MEMBRAN ELEKTRODİYALİZ YÖNTEMİ İLE EVSEL ATIK SULARIN GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamda Mawlid NUR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Hüseyin SELÇUK

Arıtmadan önce atıksuyun deşarj edilmesi veya arıtılmamış evsel atıksuların sulama için yeniden kullanılması gibi uygulamalar uzun bir süre boyunca varlığını sürdürmüş olsa da, bu uygulamaların hem insan sağlığına hem de çevreye karşı riskli olduğu belirlenmiştir. Böylece ileri arıtma ve kaynak geri kazanımına ihtiyaç duyulmuş ve araştırmacılar bu ihtiyacı karşılamak için yeni teknolojiler geliştirmeyi hedeflemiştir. Bunun için önemli bir seçenek elektrodializ kullanılmasıdır. Bu çalışmada, evsel atıksulardan tuz ve nütrient giderimi için elektrodializ kullanıldı, ED, 0.456 EC değerindeki spesifik hedefine ulaşıldı. % 90 NO₂⁻, NO₃⁻ ve % 62 PO₄³⁻ oranında giderildi. Nütrient geri kazanımı için ED performansı, devamlı (süreklilik) koşullar altında, değerlendirildi ve 16 numune arıtıldıktan sonra 2.34 mg / l NO₂⁻, 2.43 mg / l NO₃⁻ ve 3.21 mg / l PO₄³⁻ olarak konsantre edilmiştir. Ayrıca bu koşullarda, deneyler tamamladıktan sonra sistemde 16 numune için istenen tuzluluğa ulaşmıştır. Bu çalışma boyunca, ED, numunelerin pH ve Voltaj değişimleri gibi çeşitli farklı çalışma koşullarına maruz bırakılmış ve bu çalışmadaki etkileri de ele alınmıştır. Genel olarak, ED'nin performansının optimum koşullar altında başarılı olduğu kanıtlanmıştır.

Ocak 2018, 60 sayfa.

Anahtar kelimeler: iyon değişimi, Elektrodializ, disalinasyon, nütrient giderilmesi geri kazanım membran teknoloji

ABSTRACT

RECOVERY OF DOMESTIC WASTEWATER BY BIPOLAR MEMBRANE ELECTRODIALYSIS METHOD

MSc. THESIS

Hamda Mawlid NUR

Istanbul University Cerrahpasa

Institute of Graduate Education

Department of Environment Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Hüseyin SELÇUK

Practices such as discharge prior to treatment or re-use of untreated domestic wastewater for irrigation has been in existence for a long term throughout history however, these practices have been determined to be risky to both human health as well as the environment. The need for advanced treatment as well as resource recovery has driven researchers to come up with technologies that serve as an option towards attaining that goal. One option for this would be the use of electrodialysis for the removal of salinity and nutrients. In this study ED was used for salinity and nutrient removal from municipal wastewaters the ED achieved the chosen target of a 0.456 EC and 90% removal of nutrients like NO₂⁻, NO₃⁻, and a 67% removal for PO₄³⁻ was acquired. ED performance for nutrient recovery was also assessed under a flow-through (continues) set up and at the end of 16 samples 2.34 mg/l of NO₂⁻, 2.43mg/l of NO₃⁻, and 3.21mg/l of PO₄³⁻ was recovered. Moreover, at this set up the system achieved the desired salinity for all 16 samples before the experiments were concluded. Throughout this study ED was subjected to variety of different operational conditions such as pH changes of samples, Voltages, and their effect was also addressed in this study in general, ED's performance under optimum condition was proven to be successful.

Jan, 2018

Key words: ion-exchange, ED, nutrients, removal & recovery, Membrane technology

1. GİRİŞ

Günümüzde temiz su, yiyecek ve enerji, dünyada sıkıntı yaşanan üç ana kaynaktır. Su ile ilgili sorunlar her kıtayı etkilmektedir ve yaklaşık 2,8 milyar insan suyla ilgili sıkıntılar en az ayda bir kez karşı karşıya klanmaktadır. 1,2 milyardan fazla insanın temiz suya erişimi yoktur ve İspanya, Portekiz, İtalya, Fransa, Yunanistan, İngiltere ve Türkiye gibi büyük ekonomilerde su sıkıntısı ulusal bir kritik konu haline gelmiştir (Collins, Kristensen, and Thyssen 2009). Son zamanlarda su kıtlığıyla ilgili sorunların, 2017 yılında kuraklıkla Somali'yi etkilemesi ve mevcut kuraklık sonucunda 46.000 insanın göç ettiği bildirilmiştir (Displacements 2017).

Dolayısıyla suya olan ihtiyacın artışı ve giderek azalan su kaynakları ile mevcut olan ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için alternatif su kaynağı olasılığı konusunda hem kaynaklar hem de araştırmayı kullanmak büyük öneme sahiptir. Atık su arıtımı ve yeniden kullanımının, sadece bir su kaynağı sağlayarak çevreye büyük fayda sağlamadığı aynı zamanda sürekli güvenilir ve yerel olarak kontrol edilen su kaynağı olduğu için umut verici bir seçim olduğu düşünülmektedir (Angelakis and Snyder 2015). Bu nedenle, evsel atık sular gibi arıtılmış atık sular yeniden kullanılabilen ve geri kazanılabilen güvenilir bir su kaynağı sağlamaktadır.

Evsel atık su içeriğindeki nütrientlerden dolayı ve aynı zamanda günlük olarak büyük miktarlarda üretildiklerinden dolayı alternatif bir su kaynağı olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Örneğin, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programına göre, ABD'de kişi başına ortalama su kullanımı 575 litredir ve Avustralya kişi başına günde 493 litre ile ikinci en büyük tüketici konumundadır. Bununla birlikte, ideal bir yeniden kullanım kaynağı olmasına rağmen, evsel atık sular bazı riskler taşımaktadır ve arıtılmadan deşarj edildiğinde nitrat ve fosfatlar gibi çok miktarda taşıdığı nütrientler ötrofikasyonu desteklemektedir. Bu şartlarda su ortamı olumsuz etkilenmektedir. Bununla beraber, evsel atık sular önceden arıtma yapılmaksızın, sulamaya yönelik yeniden kullanım durumlarında bitkiler için zarar veren fazla tuzluluk içermektedir. Ancak arıtıldığı takdirde, evsel atıksu hayati önem taşıyan besin maddeleri için bir kaynak olabilir ve hatta yapay gübrelerin tarımda kullanılmasından daha iyi bir alternatif olacaktır. Çünkü bu yapay gübrelerin üretimi, yenilenebilir olmayan enerji ve sınırlı maden kaynaklarının tüketimine büyük ölçüde dayanmaktadır. Örneğin, Haber-Bosch

prosesinde havadan amonyak eldesi, dünyadaki enerji kullanımının % 2'sini oluşturan enerji tedariki için fosil yakıt şeklinde 35–50 MJ / kg azot gerektirmektedir (Xie et al. 2016). Benzer olarak fosfor madenciliği, ağır metaller ve radyoaktif elementler ile kirlenmiş çok miktarda alçı taşı yan ürüne yol açmaktadır. Ayrıca tahmin edilen en yüksek fosfor üretimi 2030 yılında olacaktır ve fosfor kayalarının hızlandırılmış bir azalmasını ortaya çıkaracaktır (Elser and Bennett 2011). Ancak bu nütrientlere duyulan ihtiyaca rağmen, bir takım olumsuz etkilerle de karşılaşılmaktadır.

Nütrient taşıyan atıksuların doğrudan deşarj edildiği durumlarda daha önce bahsedildiği gibi, sonuç sudaki ekosistemler için felaket olduğunu göstermiştir, çünkü besinler alg ve planktonlarının oluşumuna katkıda bulunur ve ötrofikasyona neden olur ve bu da oksijen tüketimi nedeniyle sucul yaşam ölümlerini yol açar. Bu nedenle, deşarj öncesinde atıksulardan bu ürünlerinin çıkarılması varoluşsal ve oldukça kritiktir.

Şimdiye kadar atık su arıtımı çok uzun bir yol kat etmiş ve tarih boyunca atık suların arıtılması için önerilen ve uygulanan çeşitli teknolojiler olmuştur. Bu teknolojiler arasında biyolojik (Du ve ark. 2017), kimyasal adsorpsiyon (Kajjumba, Aydın ve Güneysu 2018) ve membran teknolojisi yer almaktadır. Membran teknolojileri yoğun kirlenmiş atıksuların arıtımı sırasında büyük bir ilgi görmüştür ve metodolojiye bağlı olarak farklı uygulamalar için kullanılabilir. Nano filtrasyon, ters ozmoz, ileri osmosis, membran distilasyonu, elektrot iyonizasyonu ve elektrodializ gibi yüksek ayırma özelliğine sahip membran prosesler ileri sürülmüş ve atıksu arıtımında çok büyük bir potansiyel göstermektedirler (Xie et al. 2016)

Ayrıca, Elektrodializ (ED) her zaman desalinasyon alanında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, son zamanlarda atık su arıtımında büyük bir ilgi görmüştür. Ancak ED prosesi kullanılarak evsel atıksulardan nütrientlerin uzaklaştırılması/geri kazanılması için çok az bilgi bulunmaktadır.

Dolayısıyla, bu çalışmada evsel atıksulardan nütrientlerin uzaklaştırılması, tuzluluğun giderilmesi ve geri kazanımı için elektrodializ kullanılmıştır. Uygulanan doğru akım altında elektrodializ (ED), sırasıyla katot ve anod yönünde katyonları ve anyonları tahrik eder (Xie et al. 2016). Bu şekilde iyon ayrımı mümkündür çünkü elektrodializ bir dizi iyon değişim membranı, yani katyon seçici, anyon seçici ve bipolar membranlardan oluşmaktadır (Huang

et al. 2007). Bu iyon değişim membranlarını değiştirerek iyonların atıksu akışından seçici olarak uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (Network 2001). Her iyon değişim membranı farklı bir işleve sahiptir; Katyonlar ve anyonlar, ko-iyonların geçişini bloke ederken bipolar membran, su gibi çözücülerin moleküllerinin H^+ ve OH^- içine ayrılmasını sağlamaktadır.

ED işleminin benzersiz iyon ayırma mekanizması ile tuzluluğun giderilmesinde çok başarılı olmuştur fakat aynı zamanda, atıksu nütrient giderilmesi veya geri kazanımı için seçici bir mekanizma sağlamıştır (Xie et al. 2016). Fosfat iyonlarının seçici olarak uzaklaştırıldığı ve yüksek miktarda fosfat yanı sıra diğer iyonların içeren atık maddelerden konsantrasyonunu edildiğini bahsedilmiştir. Örneğin, fosfatın selektivitesi, idrardan alınan nütrientleri ekstraksiyonunda, ED prosesiyle gözlenmiş ve saflaştırılmış fosfatın konsantrasyonu ile sonuçlanmıştır (Pronk et al. 2006). Literatürde, diğer yüksek giderim verimli membran mekanizmasına kıyasla, multivalent fosfatın monovalent fosfatlardan daha yavaş göç ettiği ve ED ayırma mekanizmaları temelinde daha iyi performans beklendiği belirtilmiştir (Zhang ve ark. 2012). Ancak, Elektrodializ eksiklikleri de bulunmaktadır.

Elektrodializ yüksek saflıkta ve çeşitli nitelikte ürünler üretme kabiliyetine sahiptir ancak performansı, membran kirlenmesi ile engellenmektedir. Atık sudaki istenilmeyen maddelerin uzaklaştırılması sırasında membran kirlenmesi, yığın direncindeki artış, iyonların yavaş hareket etmesi ve ayrıca iyon seçiciliğinin azalması gibi sorunlara yol açmaktadır. Atık suların arıtılması sırasında negatif yüklü bir protein ve yüzey aktif madde mevcut olduğunda anyon seçici membranlarında daha şiddetli kirlenme gözlenmiştir (Watkins ve Pfromm 1999). Katyon seçici membranları, ciddi ölçeklemeye neden olan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının varlığı ile ölçeklendirilebilir (Ayala-Bribiesca ve ark. 2006). Ayrıca elektrodializin iyon değiştirme membranları, diğer membran tabanlı teknolojiye kıyasla aşırı derecede elektrik şarja bağlıdır.

ED'nin membran kirlenmesine ilişkin sorunları ele almak için, elektrotların polaritesini tersine çevirmek, akış hızını arttırmak, asidik veya bazik çözelti ile yerinde temizlemeyi ve akımı azaltmak gibi çeşitli teknikler kullanılabilir (Williams ve ark., N.d.). Bununla birlikte, bu yaklaşımlar proses oranını azaltır ve verimli olmayabilir.

Bu çalışmada iyon değişimi, sistem performansını azaltacak ve membran tıkanmasına neden olabilecek sertliği gidermek için bir ön arıtma olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu

çalışma, iyon değişim proses ile birlikte elektrodializ sistemi kullanılarak evsel atıksuyun arıtılmasını değerlendirmektedir.

1.1. Problemin Tanımı

Evsel atık su, bitkilerin ihtiyaç duyduğu çok sayıda nutrient içermektedir. Dünya sulama yoluyla gıda güvenliğine yönelik çabalarırken, tonlarca evsel atıksu bir sulama suyu kaynağı olarak görülmektedir. Bununla birlikte evsel atık sularda yüksek konsantrasyonlarda tuz ve nutrient bulunması nedeniyle, sulama ya da çevreye deşarj edilmeden önce arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Atık suların arıtılmasında ve nutrientlerinin geri kazanılmasında çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır ancak herhangi bir sistemin uygulanması uygunluğa, maliyete ve verime bağlıdır. Membran teknolojisinin atık su arıtımında kullanılmasının en verimli yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Membran teknolojisi olarak elektrodializ, büyük ölçüde tuzdan arındırma alanında yoğun bir şekilde uygulanmıştır. Ancak evsel atık sudan nutrientlerin uzaklaştırılması veya geri kazanılmasına yönelik çok ED uygulaması yoktur ve literatürde eksiklikler bulunmaktadır. Zikredilmesi gereken diğer bir nokta, herhangi bir membran teknolojisi olarak ED'nin membran kirlenmesinden etkilenmesidir ancak ED'den önce birincil arıtma olarak iyon değişiminin kullanılması, fazla sertliğin neden olduğu membran tıkanmasını azaltabilir. Bu nedenle, bu çalışma, tuz giderme ve nutrientlerin uzaklaştırılmasının ve yanı sıra evsel atıksudan geri kazanımlarını da ED'nin performansını değerlendirmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

- ❖ Evsel atık sulardan, tuzluluk giderim yanı sıra nitrit, nitrat ve fosfat gibi önemli nutrientlerinin giderimi.
- ❖ Bu nutrientlerin arıtılan evsel atıksulardan geri kazanılması.
- ❖ İşletim parametrelerinin yanı sıra proses parametrelerini de incelenerek ve evsel atık su arıtımında ED'yi engel olabilecek veya yardım edebilecek potansiyel etkileri konusunda daha fazla bilgi verilmektedir.

1.2.1. Hedefler

- pH ve voltajın elektrodializin tuzdan arındırma performansı üzerindeki etkisini araştırmak.
- pH, voltajın, nutrient giderim performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek.
- Süreklilik (devamlı) kurulumu sırasında tuzluluk gideriminin araştırılması

- Süreklilik (devamlı) kurulumu sırasında besinlerin geri kazanılmasını belirlemek.
- Devam eden çalışma koşullarında sistemin sürdürülebilirliğini incelemek.

1.3. Kapsam

Bu çalışmada evsel atıksulardan, elektrodializ yöntemi kullanılarak tuz giderimi sağlanacaktır. Değişen işletme koşullarında, nitrit, nitrat ve fosfatın giderilmesi ile birlikte geri kazanım potansiyelleri de araştırılacaktır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. Evsel Atıksu Arıtımı ve Yeniden Kullanımı

Atık su arıtımı ve yeniden kullanımı yeni bir uygulama değildir ve bu konudaki bilgiler insanlık tarihi boyunca gelişmiş ve ilerlemiştir. Daha spesifik olarak, arıtılmamış evsel atık suyun tekrar kullanılması gibi uygulamalar yüzyıllardır hem eski hem de yaygın bir uygulama olmuştur (Sonune ve Ghate) 2004). Örneğin, insan atığını kentsel yerleşim yerlerinin dışına çıkarmak amacıyla evsel atık suların arazi uygulamaları vb. Bu uygulama ve prosesler, arıtma teknolojisinin gelişmesi ve daha sonra bu atık suların yeniden kullanılması ile ilişkili riskler daha iyi anlaşılması nedeniyle su kalitesi standartlarının daha da artmasına yol açan farklı gelişim aşamalarından geçmiştir. (Angelakis ve Snyder 2015).

2.1.1. Evsel atık suyun yeniden kullanımı ile ilgili önem ve sorunlar

Evsel atıksu hem bir varlık hem de bir risk olma potansiyeline sahiptir. Arıtılmamış veya kötü yönetilmiş olması durumunda, arıtılmamış atık suların deşarj edildiğinde veya yeniden kullanıldığında, önemli sayıda çevresel ve sağlık riskine yol açan önemli etkileri olabilmektedir (Shakir, Zahraw ve Al-obaidy 2017), (Gül 2008). Öte yandan, evsel atık sular, nütrientler gibi önemli ve yararlı görülen önemli bileşenlere sahiptir.

2.1.1.1. Nütrientler

Yakın gelecekte tarım endüstrilerinde küresel üretim verimliliğinin, bugünkü orandan çok daha yüksek bir talep oranında olacağı tahmin edilmektedir. FAO, bu talebi 2050 yılına kadar karşılamak için yıllık hayvancılık ve mahsul üretiminde yıllık üretimin 2006 yılına göre % 60 oranında artması gerektiğini öngörmektedir. Tarımsal endüstriler bununla başa çıkabilmek için, talep artışındaki bu artışın hem kaynak hem de arazinin mevcut ve sınırlı bir miktarı ile uygun maliyetli bir şekilde karşılanması için sürdürülebilir ve üretken bir yol sağlayacak çözümler araştırarak araştırmalara teşvik etmektedir. Bu çözümlerden biri, evsel atık sulardan nütrientleri uzaklaştırmanın veya geri kazanmanın yollarını bulmak olabilecektir.

Normalde mahsuller, büyümeyi sürdürmek için 16 tip mineral besine ihtiyaç duymaktadır (Nutrients, n.d.). Bununla birlikte, endüstrilerin ilgilendiği ticari olarak önemli gübreler azot potasyum ve fosfordur çünkü bunlar büyük miktarlarda gereklidir. Bu gübreler, mahsul veriminin önemli ölçüde artmasının nedenidir ve dünya nüfusunu beslemek için yeterli miktarda yiyecek sağlamada gerekli olmaları nedeniyle tarımda en çok uygulanan

gübrelerdir. Evsel atık sular gübrelerin ana kaynağı olabilir ancak istenmeyen tuz seviyesi gibi diğer bileşenleri taşırlar, ancak bu atık suların tuzunun giderilmesiyle ele alınabilir.

2.2. Desalinasyon

Tuzlu suların ve atık suların tuzunun giderilmesi, mevcut doğal su kaynaklarının tüketimini veya kirlenmesini önlemek için önemli bir alternatif olarak işlev görmektedir. İsrail gibi bu geri kazanılmış olanlara bağımlı olan veya sulama gibi faaliyetler için atık suları tekrar kullanan ülkeleri gözlemlediğimizde bu durum daha da artmaktadır (Keremane 2006). Bununla birlikte, yüksek tuz seviyeleri nedeniyle düşük kaliteli sulama suyunun kullanılması, fazladan su eklenmesini gerektirmektedir. Toprakta, mahsullere zarar veren tuz birikimini azaltmak için gereken sulama suyu kalitesini hedefleyen sürdürülebilir bir teknolojiye sahip olmak için bir yol geliştirmek için esastır. Bu ayırma ve saflaştırma yoluyla membran prosesler getirilerek başarılabılır (Quist- Jensen, Macedonio ve Drioli 2015). Bu işlevsellik, nütrientleri tuzdan arındırabilen ve çıkarabilen ED ile elde edilebilir ve besin maddeleri gibi çıkarılan önemli bileşenlerin potansiyel bir geri kazanımını ilave etmek de mümkün olabilir (Quist-Jensen, Macedonio ve Drioli 2015). Genel olarak, suların ve atık suların tuzunun giderilmesi, çok sayıda diğer arıtma yöntemleri, teknikleri ve teknolojilerine tek bir yaklaşımdır. Bunun yanında, atık su arıtımı ile ilgili detaylar aşağıda kısaca ele alınmıştır.

2.3. Atıksu Arıtma Yöntemleri

Atık su arıtımı, katı maddelerin kısmen çıkarıldığı ve organik katı maddeler gibi karmaşık bir formdan minerallere kısmen ayrıldığı bir dizi farklı aşamadan oluşan bir işlemdir. Bir atıksu arıtma işleminde, birincil ve ikincil işlemlerden oluşan, ilk işlem adımlarının BOİ ve askıda katıların çoğunu gidermesine rağmen, artan sayıda vakalarda, bu arıtma seviyesinin alıcı suları korumak veya yeniden kullanılabilir su sağlamak için yetersiz olduğu ve bu nedenle ek adımlar eklendiği kanıtlanmıştır (Wintgens et al. 2005). İleri atık su arıtma teknolojisinin, atık su azaltma ve geri dönüşüm dinamizmi ile birleşimi, sınırlı miktarda mevcut olan su kaybını durdurmak için bir seçenek sunmaktadır. Aşağıdaki kısımlarda, konvansiyonel arıtma ve yeniden kullanım yöntemleri yanı sıra ileri atıksu arıtma yöntemlerinin membran teknolojisi gibi en önemli olan arıtma yöntemlerine de değinmektedir.

2.3.1. Fiziksel yöntemler

Fiziksel (mekanik) arıtma yaklaşımı, büyük parçacıkları atık sudan ayırmak için sedimentasyon tekniğini kullanmaktadır. Bu yaklaşım kullanılarak atıksu içerisindeki kirliliklerin sadece üçte birinin uzaklaştırılabileceği tahmin edilmektedir (Kurniawan ve ark. 2006). Bu nedenle, atık suyun uygun arıtma düzeylerinin karşılanması için mekanik arıtma yönteminin biyolojik veya kimyasal olarak ya da her ikisi ile desteklenmesi gerekmektedir.

2.3.2. Biyolojik yöntemler

Biyolojik arıtma, atık sudaki mikroorganizmayı besleyen organik maddeyi kullanmaktadır. Bu mikroorganizmalar substrat üzerinde beslenirken büyür ve fazlalık çamur olarak ayrılır. Biyolojik arıtma yöntemi hem katı hem de çözünmüş organik maddeleri gidermek için bir kapasiteye sahiptir (Türgay ve diğerleri 2011; Fakhru-Razi ve diğerleri 2009). Herhangi bir arıtma yönteminin seçimi; verimlilik, maliyet, yan ürün kullanımına ve atık suyun arıtılmasının ne kadar hızlı olduğuna bağlıdır. Biyolojik yöntem, sistemi işletmek için çok miktarda hava ve alana ihtiyaç duymaktadır. Havalandırma prosesi, biyolojik ayrışmanın sağlanması ve işletmesini karmaşık hale getirmektedir (Hosomi 2016).

2.3.3. Kimyasal yöntemler

Kimyasal arıtmada, çamur olarak ayrılan organik ve inorganik atıkları çökeltmek için pıhtılaştırıcıları (alum ve ferrik) kullanılır. Kimyasal yöntemler, belirli bir atık su hacmi için biyolojik arıtma ile kıyaslandığında daha az zaman alır, çünkü biyolojik işlem için mikroorganizmaların atık sulara adapte olması gerekir (Song vd. 2015; Bratby 2016; Kurniawan vd. 2006). Kimyasal işlemlerde, düşük enerji tüketiminde az miktarda pıhtılaşma, küçük bir hacimde etkili şekilde karıştırılmaktadır.

2.4. Membran Teknolojisi

Evsel atıksu ileri arıtımında en son yaygın gelişmelerden biri membran teknolojisinin kullanılmasıdır. Bu gelişmenin temel nedenleri, su kalitesi ve artan su talebiyle ilgili artan kaygıların yanı sıra kentleşme ve evsel ve endüstriyel sektörlerde küresel zorlukların ayak izleridir (Wintgens et al. 2005). Atık su arıtımına olan ilginin artması ve son on yılda atıksuyun tekrar kullanılması, membran bazlı teknolojiler gibi ileri atık su arıtma teknolojilerinin kullanılması, atık suların yüksek kalitede arıtılmasını sağlama konusunda

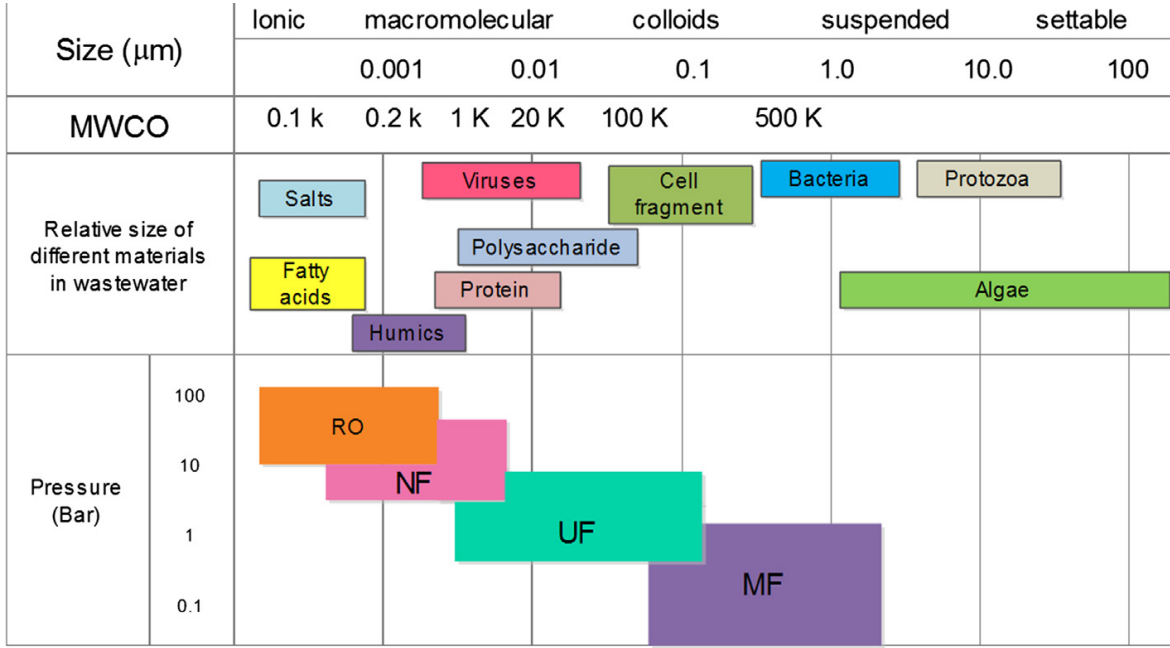
tercihini sağlamış ve böylece geniş çapta uygulanmasını sağlamıştır (Sadr, Saroj ve Krallık 2015).

Buna ek olarak, membran bazlı teknolojinin ve çeşitli atık su kalitesi membran teknolojisine bağlı olarak çeşitli membranlar süreçlerin önümüzdeki yıllarda atık su ıslahı için mevcut iyi temelli teknolojilerden biri olacağı tahmin edilmektedir (Shannon et.al 2008).

2.4.1. Membran bazlı prosesler ve teknolojiler

Bir membran, bazı maddelerin fiziksel veya kimyasal özelliklerine (Bruggen 2015) bağlı olarak daha serbest bir şekilde geçmelerini sağlayan bir bariyer olarak tanımlanabilir ve bu membranlar, örneğin, anyonlar, fakat katyonlara değil veya tam tersi; ve daha genel olarak, bunlar belirli moleküllere veya iyonlara seçici olarak geçirgindir.

Su ve atık su arıtma alanlarında en çok tanınan veya kabul edilen membran sınıflandırmaları MF, UF, Nano filtrasyon ve Ters osmoz (RO) 'dır (Sadr, Saroj ve Kingdom 2015). Büyük gözenekli membranlar düşük basınç altında çalıştırılır (0.1-5 bar) ve MBR sistemleri, MF gibi sistemlerde kullanılırlar ve bakteri, patojen ve büyük virüs fraksiyonlarını tutabilirler; en seçici veya en küçük gözeneklere sahip olanlar, RO'dakiler gibi zarlardır ve NF işlemleri, daha yüksek basınçlarda ve daha küçük gözeneklerde (3-100 bar) çalışır, çözünür organik bileşikleri, EDC'leri ve PhAC'leri reddedebilir. Aşağıda ilgili gözenek büyüklükleri ve belirli atık su bileşenlerini tutma kabiliyetleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 Basınçla çalışan Membran teknolojisi (Sadr, Saroj ve Kingdom 2015)

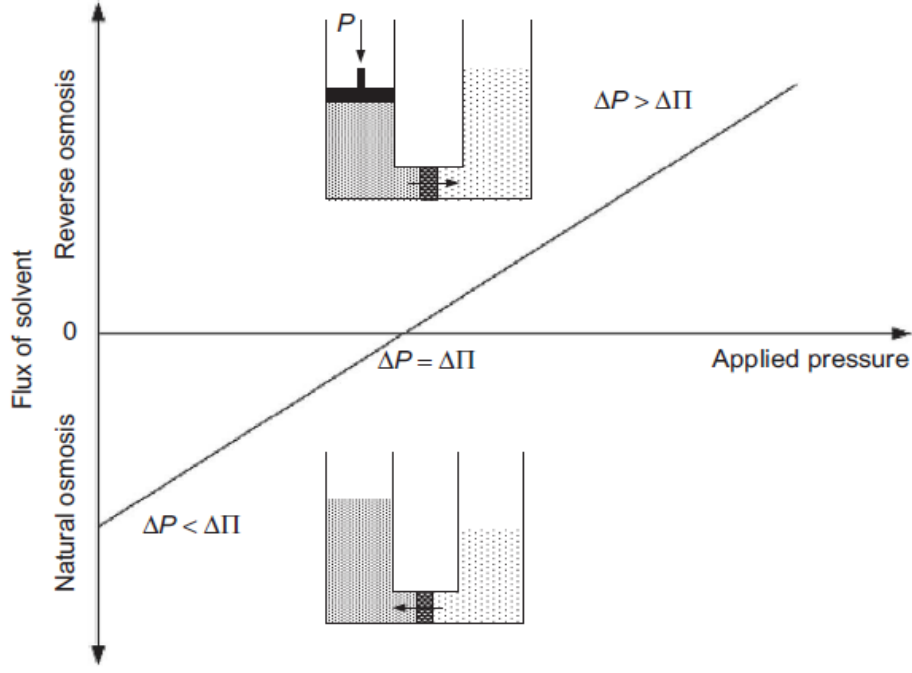
Atık su arıtma sistemlerinin tasarımında ve işletilmesinde kullanılacak farklı tipte membran işlem kapasitelerine rağmen, membranlar atık su arıtma ve eksikliklerinde bir takım sorunlardan muzdardır (Alzahrani ve Mohammad 2014). Bu eksikliklerden biri, tutulan bileşenlerin, zarların yüzeyinde birikme eğiliminde olmalarıdır; bu, farklı arızalara yol açar ve membran destekli teknolojilerin performanslarının düşmesine neden olur; bu sorunların bir örneği, verilen bir trans membran basıncında su akışındaki azalma veya belirli bir akıda TMP'de bir artıştır. Bu konular toplu olarak kirlenme adı verilen bir terime konur (Williams ve diğ., 2014). Membranların tıkanması, beslemedeki çeşitli kirletici bileşenler arasındaki ve bu bileşenler ve membran yüzeyi arasındaki karmaşık fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden kaynaklanmaktadır (Moura Bernardes ve Rodrigues 2014). Kirlenme derecesinde önemli rol oynayan belirleyiciler, membran malzemesi, atık su bileşimi ve zarın içinden akmasıdır. Bu etkilere rağmen, FO, MD ve ED gibi membran işlemleri, nütrient giderimi / geri kazanımı proseslerinde olduğu gibi atık sudaki zorlukların üstesinden gelmede büyük bir potansiyel sergileyen ve potansiyel olarak atık su içeriğinde bir paradigma değişikliğini temsil edebilen üç membran bazlı işlemdir (Xie et.al 2016).

2.4.2. Membran distilasyon

Membran damıtma (MD), ısının ayrılmayı sağlamak için kullanıldığı, böylece gaz fazında olmayan herhangi bir bileşenin, MD'nin uçucu olmayan bütün bileşenleri reddetmesine olanak tanıyan bir sistemdir (Alkudhiri, Darwish ve Hilal 2012). Besleme ozmotik basıncı su buharı taşınımını etkilemez, yani MD teknolojisi FO ve RO'dan farklı olarak etkilenmez ve bu nedenle yüksek su geri kazanımına sahiptir, ancak nütrient geri kazanımında MD ile yaşanan zorluklar, uçucu yağ asitleri gibi uçucu yağ asitleri gibi uçucu organik bileşiklerin bulunduğu durumları içermektedir. Su ile karşılaştırılabilir veya sudan daha yüksek kısmi buhar basınçları uygular, MD membran boyunca su buharı ile taşınır, permeate akımının kirlenmesine neden olur ve geri kazanılan amonyağın kalitesini tehlikeye atar. Bu membran teknolojisindeki bir diğer sorun, yüzey aktif cisimlerinin, membran gözeneklerinin ıslanmasına neden olabileceği ve bunun sonucunda ıslak gözeneklerin içinden beslenmeden doğrudan sıvı akışıyla sonuçlanabileceğidir.

2.4.3. Ters osmoz

Osmoz, su gibi bir sıvının kendiliğinden bir zardan aktığı doğal olarak oluşan bir işlemdir. Bu membran, su gibi bazı moleküllerin geçmesine izin verirken, tuz gibi diğer moleküller kolayca geçemez. Böylece sıvı tuz konsantrasyonunu dengelemeye çalışır ve daha az konsantre bir çözeltiden bir zar boyunca daha konsantre olana geçer. RO'da, besleme suyu, tuzları sudan ayırarak, geçirgen membranlardan yüksek basınçta pompalanır (Lee, Arnot ve Mattia 2011). Besleme suyu, membranları tıkayacak parçacıkları gidermek için ön işlemden geçirilir. Üretilen suyun kalitesi, basınca, besleme suyundaki tuzların konsantrasyonuna ve membranların tuz geçirgenlik sabitine bağlıdır. Osmoz, yalnızca çözünen konsantrasyona bağlıdır ve türüne bağlı değildir.



Şekil 2. 2 Uygulanan hidrostatik basıncın bir fonksiyonu olarak ideal yarı geçirgen bir zar boyunca trans-zar çözücünün akışı

2.4.4. İleri osmoz

İleri osmoz, istisnai kütle transfer özelliklerine sahip olması nedeniyle struvit çökeltmesi yoluyla besin geri kazanımının iyileştirilmesinde potansiyel olduğunu göstermiştir. FO'dan farklı olarak FO, hidrolik konsantrasyon yerine ozmotik basınç farkı kullanır; burada yarı geçirgen bir zarla farklı konsantrasyondaki sıvılar arasına yerleştirilir.

Bu, ters osmoz gibi basınçla çalışan membran teknolojisi ile karşılaştırıldığında daha düşük bir kirlenme eğilimi ve daha iyi bir kirlenme tersine dönüşümü ile sonuçlanır. (Lee ve diğerleri, 2010; Mi ve Elimelech, 2010).

2.5. Elektrodializ

Elektrodializ (ED), son zamanlarda endüstrinin çeşitli dallarında artan bir ilgi gören modern ilerici bir elektromembran ayırma teknolojisini ifade etmektedir. Özellikle bu teknolojinin en büyük uygulamasını temsil eden acı su tuzunun giderilmesi alanında, ED, günümüzde geleneksel ters osmoz işlemiyle rekabet etmektedir (Němeček et al., 2017). Bilimsel ilgidaki bir değişim ve yalnızca tuzların uzaklaştırılmasını içermeyen gerekli bir ileri ayrılma, nihai üründen diğer kirlenme maddeleri ayırırken, besin maddelerinin uzaklaştırılması / geri

kazanılmasına odaklanmıştır (Pronk ve ark. 2006). Bunu başarmak için gereken kritik adım, her ne kadar bu yöndeki çabalar laboratuvar aşamasının ötesinde bu çaba içinde başarılı olsa da, gereklilikleri tam olarak karşılamak için bir çözüm kombinasyonu olabilir (Pronk et al. 2006). ED'nin atık su geri kazanımı ve proses akışlarının ilaç ve gıda endüstrisindeki tuzunun giderilmesi içindeki uygulanmasında da artan bir eğilim olabilir. Bunun nedeni elektromembran ayırma işlemi, pıhtılaştırıcı veya yenileyici ajanlar ilave edilerek, nihai ürünün sağlık ve besleyici özelliklerini tehlikeye atmaz (Nemecek ve diğerleri, 2013.).

2.5.1. Elektrodializ işlem çeşitleri

Elektrodializ işlemi altında yürütülen bir dizi işlem vardır ve birkaçı aşağıdaki sayfalarda kısaca açıklanmaktadır.

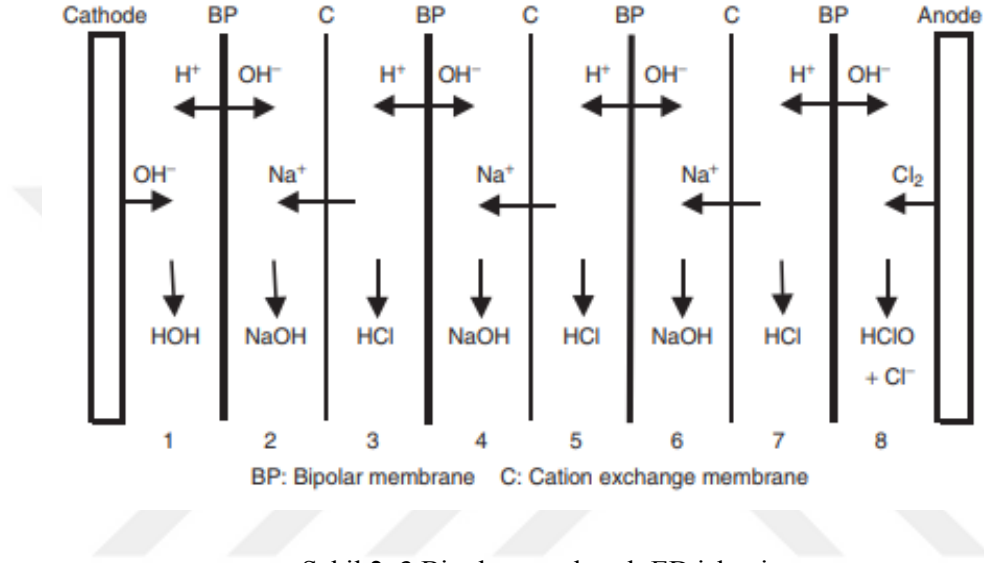
2.5.1.1. Ters elektrodializ

Ters elektrodializ (TED), farklı tuzluluktaki iki su akımının kontrollü olarak karıştırılmasından elde edilen elektriği yakalayan, membran bazlı bir teknolojidir (Mei ve Tang 2018). TED, endüstride, belediyede ve yeraltı suyu kaynaklarında olduğu gibi çok çeşitli uygulamalarda tuzdan arındırma için kullanılan olgun ve gelişmiş bir teknolojidir. Bu teknoloji aynı zamanda farmasötik olarak ve gıda üretiminde bileşenlerin ayrılması ve konsantrasyonuna yönelik bir yöntem olarak kullanılır.

Bu işlem, zaman zaman elektrodializin bazı özelliklerini bile aşan avantajlı özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden bazıları, konsantrasyon polarizasyonunu ve membranların kirlenmesini azaltmak için elektrot polaritesini ters çevirme kabiliyetini içerir. Bu, çok tercih edilen bir şeydir ve işlem tamamen 15 ila 30 dakika gibi kısa sürede gerçekleştiği için, çok uzun süre gerektirmez. Karbonatlar ve kalsiyum fosfatlar gibi biriktirilebilecek iyonik türlerin ölçeklenmesini kontrol altına aldıkları zaman, hem zarların üzerine yerleştirildiğinde, bu etkinin tersine çevrilmesi için pahalı temizleme yöntemleri gerekir. Ancak, etkisinin bir kısmını azaltma ve bir dereceye kadar geri alma yeteneğine rağmen, ölçekleme bileşikleri, membran tıkanması, TED'ta kalsiyum sülfat (CaSO_4), kalsiyum fosfat ($\text{Ca} + 3 (\text{PO}_4)^{3-}$) ve yüksek moleküler ağırlıklı yüklü organik moleküller gibi bileşiklerle esas olarak sorumlu olanlardır.

2.5.1.2. Bipolar membran elektrodializi

Bipolar membran, bir yüzey bir katyon değişim katmanı olacak şekilde yapılandırılmış bir tabakadır. Zıt yüzey ise bir anyon değişim katmanıdır. Bipolar membranın su bölme davranışı ilk önce Frilette (1956) tarafından Permutit 1373 katyon / 1374 anyon değiştirme membranları ile bir NaCl çözeltisi içinde bipolar membranları ile bütünleşmiş çoklu hücre kullanılarak kullanılmıştır.



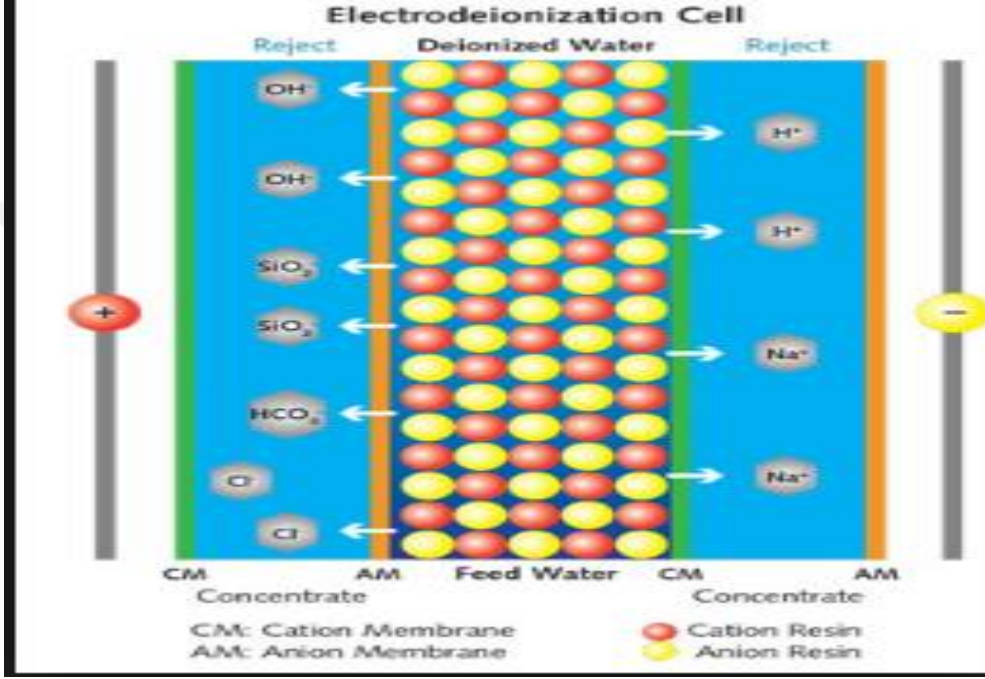
Şekil 2. 3 Bipolar membranlı ED işlemi

Elektro-diyalitik su ayrımı, tuzları asitlerine ve bazlarına dönüştürmek için enerji tasarruflu bir araçtır. Teknoloji iyonları çözeltide yoğunlaştırmak için iyon değiştirme membranlarını kullanır ve elektriksel bir potansiyel tarafından tahrik edilir ve bu açıdan elektro-diyalitik konsantrasyonla yakından ilgilidir (Teknoloji 1956).

2.5.1.3. Elektrodeiyonizasyon

Sürekli deiyonizasyon (CDI) olarak da bilinen Elektrodeiyonizasyon (EDI), iyon değiştirici reçineleri bir birimde iyon değiştirici membranlarla birleştiren yeni bir hibrid ayırma işlemidir. EDI işlemi, 1950'lerde bir laboratuvarda keşfedildi ve yüksek saflıkta su üretimi için ilk ticari aparat 1987'de üretildi. Prensip şeması Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Seyreltme bölmesi karma yataklı iyon değişimi ile dolduruldu. Doğru bir akım kuvveti altında zarlara taşınmayı artıran reçineler iyon taşınımı iyon değiştirme reçineleri boyunca neredeyse tamamlanmıştır ve sudan etkilenmez. Belirli koşullar altında, seyreltilmiş odada bir su-

bölünme reaksiyonu meydana gelir ve daha sonra nispeten yüksek H^+ ve OH^- konsantrasyonları reçineleri sürekli olarak yenileyebilir. Benzersiz "elektro-rejenerasyon" ile EDI birimi, sürekli rejenerasyona sahip bir karma yataklı iyon değişim kolonu olarak kabul edilebilir ve bu nedenle derin deiyonizasyon yeteneğine sahiptir. Sırasıyla, elektrodializ ve iyon değişimi ile karşılaştırıldığında, EDI suyun tuzdan arındırılmasında üstün sonuçlar elde etmiştir ("S0011916400001715,").



Şekil 2. 4 Elektrodializasyon hücresi

2.5.2. Elektrodializ Uygulamaları

Elektrodializ ağırlıklı olarak halen tuzdan arındırmada kullanılır, çünkü iyi kurulur ve göreceli kolaylıkla uygulanabilir (Strathmann 2010b). Son zamanlarda ortaya çıkan diğer uygulama alternatif besleme suları için elektrodializ kullanımı, iyon fraksiyonlama ve çok çeşitli üretim veya dönüşüm süreçlerinde bipolar membran kullanımınıdır (Strathmann 2010a). Belirli iyonların uzaklaştırılması, örneğin, arsenik'in seçici olarak uzaklaştırılması için monovalent selektif membranların kullanılması ((Banasiak 2009)). örneğin, bir monovalent perm selektif anyon değişim membranının, di veya multivalent anyonlar yerine monovalent anyonların uzaklaştırılmasında yüksek seçicilik potansiyeline sahip olduğu ve bu tip membranlarda, monovalent iyonlarda% 70'lik bir ayrılma elde edebileceği bildirilmiştir. İki

değerli iyonlardaki % 50'lik bir temizleme oranına göre, temizleme veya geri kazanma işleminde ihtiyaç duyulan veya tercih edilen besin türünü optimize edebildiği için besinlerin çıkarılmasında çok faydalı olabilir (Zhang ve diğ. 2012). Elektrodializ, 5 yıldan beri devam eden bir teknoloji olmuştur, ancak teknoloji çok çeşitli farklı uygulamalar için kullanılmamıştır ve acı suların tuzunun giderilmesinde ağırlıklı olarak kullanılmıştır ve bu amaç için uygulama bir artış gösterse de değişmeyecektir. Uygulamada, membran distilasyonu ve RO (Bruggen 2015) gibi diğer membran bazlı teknolojilerin ekonomik açıdan daha uygun maliyetli olması nedeniyle de akıllıca beklenmemektedir. Monovalent veya çok değerlikli iyonların seçici olarak uzaklaştırılması kapasitesi, daha iyi membranların kullanılması durumunda çok çekici olabilir. örneğin seçicilik nitratlar veya fosfor seçilir veya iyonların parçalanmasını sağlayan istiflere bipolar membran uygulaması eklendiğinde, sonuçta asit baz bölme etkisinden dolayı kapıları birleştirilmiş reaksiyon ve saflaştırma ile ilgili yeni uygulama aralığına açacaktır (Strathmann 2010a).

Çok çeşitli farklı uygulamalar sadece bipolar membranların mevcudiyetini ve bunun ardından akıllıca uygulama üzerinde olumlu bir etkiye neden olan bu özelliği temel alabilir. Bu teknolojiye zarar veren tek tartışma, elektriğe dayalı olması nedeniyle yeşil bir teknoloji olup olmadığına dair tartışma ve bunun akıllıca olduğu tartışılabilir. Bu nedenle, bunun üstesinden gelmek için yenilenebilir enerji bazlı sistemler ile birleştirmenin kritik önemde olduğu söylenebilir. Elektrodializin uzak uygulamalara ulaşan bir teknoloji olmasına izin verecek eleştiriler mevcuttur (Quist-Jensen, Macedonio ve Drioli 2015).

2.5.3. Elektrodializin avantajları ve sakıncaları

Gübre üretimindeki yüksek enerji tüketimi ve çevresel ayak izi ve bu besin maddelerinin atık sudan beslenmesi, gübre üretiminin gıda güvenliği açısından sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Sonuç olarak, atık su besin geri kazanımının gübre ve gıda üretimini sürdürmek için umut verici bir strateji olacağı ve aynı zamanda atık su arıtma tesislerine potansiyel olarak fayda sağlayacağı öngörülmektedir. Şu anda, zorlu atık su akıntılarında besin geri kazanımı için sağlam ayırma işlemlerine kritik bir ihtiyaç vardır. Struvite ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) yağışları, atık su besin geri kazanımında en umut verici teknoloji olarak kabul edilir ve besin geri kazanımı için ticari uygulama seviyesine ulaşmış olmasına rağmen, struvit yağışları sınırlıdır, yani fosfor konsantrasyonundan etkilenir ancak Zehirli ağır metal iyonlarının ve atık suyun içinde ortaya çıkan organik kirleticilerin varlığını esasen struvite

saflığı ve güvenli tarımsal uygulamalardan taviz vermektedir (Pronk et al. 2006). Bu tür kirleticilerin struvit gübresindeki mevcudiyeti katı bir şekilde düzenlenir ve aşırı miktarlar gübrenin tarımsal uygulamalardan men edilmesine neden olabilir. Besin ürün kalitesini arttırmak için daha iyi seçiciliğe sahip alternatif besin geri kazanma yaklaşımları göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, membran damıtma ile amonyum geri kazanılabilir ve fosfor, elektrodializ ile fosforik asit olarak ayrıştırılabilir. Belirli besin iyonlarını hedef alan bu besin geri kazanım teknolojileri, daha iyi seçicilik göstermiştir ve daha yüksek kalitede besin ürünleri ile sonuçlanmıştır. ED işleminin benzersiz iyon ayırma mekanizması, atık su besin geri kazanımı için seçici bir mekanizma sağlamaktadır.

ED işlemi ile elde edilen yüksek saflık ve çeşitli ürüne rağmen, atık su besin geri kazanımı sırasında membran kirlenmesine maruz kalmaktadır. Ancak ED membranının kirlenmesi, elektrotların polaritesini periyodik olarak tersine çevirerek, mevcut yoğunluğu azaltarak, istif bölmesindeki hidrolik koşullarını artırarak, periyodik olarak elde edilebilir akış hızı veya akış düzeninde conta ve asidik veya bazik çözeltiler ile yerinde temizlenebilmektedir (Williams ve diğ.).

2.6. Elektrodializin Kurulması ve İşletilmesi

ED, işlem uygulamasının tipine göre yapılan varsayım altında iki temel çerçevede çalışır ve işlem görmüş çözeltilerin hacmi bunlar a) kesikli veya süreksiz kurulum b) Akış veya sürekli kurulumdur. Önceki durumda, ürün akışı, yani, Seyreltik veya Konsantre (D veya C), gerekli tuz konsantrasyonuna (yüksek veya düşük konsantrasyon) kadar ayrıştırma sırasında geri dönüştürülür ve istenen ürün elde edildikten sonra işlem sonlandırılır. İkinci durumda, ürün çözeltisi (D veya C) her iki bölmedeki çözeltilerin değiştirilmeden ED ünitesi boyunca tekli akışı sırasında tuzdan arındırılır veya konsantre edilir. Bu iki rejim arasındaki temel fark, ED sürecinin akması durumunda, besi çözeltisinin sürekli tedarik edilmesidir (Nêmecek et al., N.d.).

ED ünitesinin sabit voltajdaki (potansiyostatik mod) çalışması, güvenlik nedenlerinden dolayı sabit akımdaki (galvanostatik mod) çalıştırmaya kıyasla tercih edilir. ED işlemi sırasında DC'deki çözeltinin konsantrasyonu ve sonuç olarak elektrik iletkenliği azalır ve ED ünitesinin elektrik direncinin artmasına neden olur. Galvanostatik çalışma modu durumunda, ED

ünitesine uygulanan gerilimin kontrolsüz bir şekilde artması ve elektrik akımı kaynağının potansiyel olarak çökmesi veya aşırı durumlarda, Joule ısıtmasından dolayı membran yığını artmaktadır (N resultsmeček ve diğ., N).

2.7. Gelecek Perspektifleri

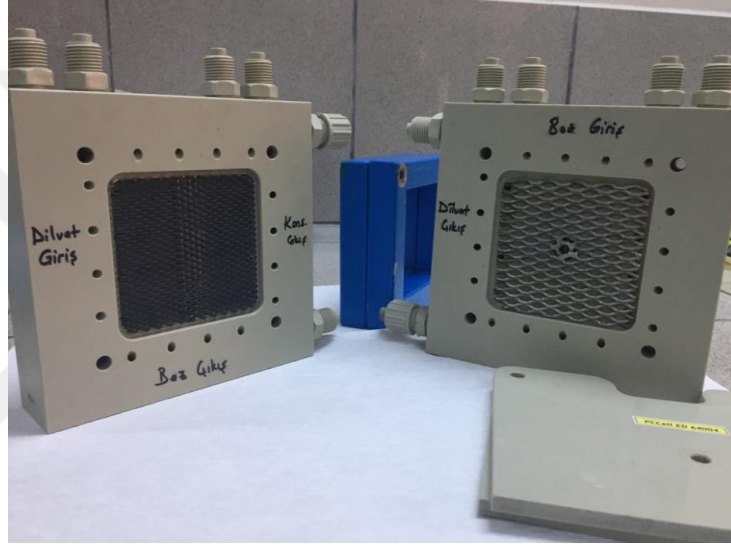
Elektrodiyaliz, acı suların tuzunun giderilmesi gibi sınırlı sayıda uygulama için de olsa, son 5 yılda ilgi çekici olmuştur (Strathmann 2010b). Bu, gelecek yıllarda büyük ölçüde değişmeyecek olsa da, RO ve membran damıtma (Bruggen 2015) gibi daha düşük maliyetli işlemlerle (daha yüksek tuz konsantrasyonlarında) rekabet nedeniyle bu uygulamalarda bir artış beklenmemektedir. Bununla birlikte, bir veya daha fazla iyonun seçici olarak uzaklaştırılmasıyla ilgili diğer uygulamalar, membran materyalleri daha iyi seçicilikle geliştirildiğinde (örneğin nitrat, spesifik peptitler veya fosfat için) veya bir fraksiyonlama etkisinin uygulandığı alternatif yığın konfigürasyonları uygulandığında çekici olabilir. Yüzyılın başından beri, bipolar membranlar giderek daha fazla çalışılmakta ve uygulanmaktadır. Bu, asit baz bölünme etkisinden dolayı, birleşik reaksiyon ve saflaştırma ile ilgili yeni bir uygulama aralığı açmaktadır.

Çok sayıda uygulama bu özelliğe dayanabilir ve daha birçokları gelecek yıllarda daha da geliştirilecek gündemdedir. Sistemin sürdürülebilirliği ile ilgili olan elektrodiyaliz için bir sorun mevcuttur. İşlemin yeşil bir teknoloji olduğu iddia edilmekle birlikte, özellikle gerekli elektrik enerjisinin eksegetik değeri dikkate alındığında, enerjik bir bakış açısıyla tartışılabilir. Bu nedenle, bu noktaya daha fazla dikkat etmek kritik öneme sahiptir. Yenilenebilir enerjiye dayalı kombine sistemler bu sorunun üstesinden gelebilir ve bu da örneğin elektrodiyalizin uzak uygulamalarına izin verir.

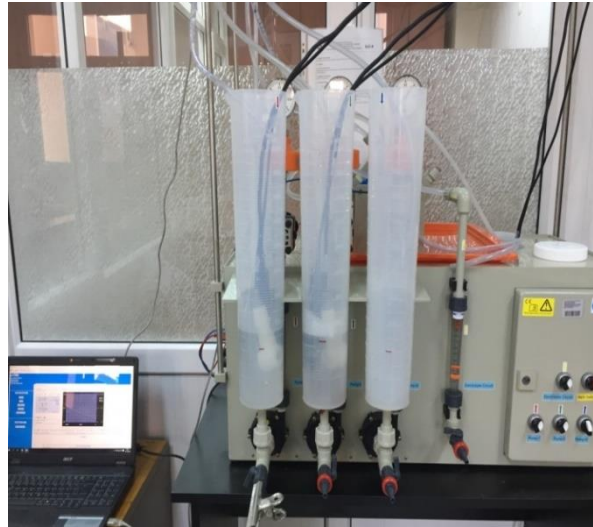
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Elektrodializ Ekipmanları

Deneyle, PCCell GmbH, Heusweiler, Almanya tarafından üretilen bir PCCell ED 64-004 hücresi ile gerçekleştirildi. membranları ve spacerları reaktör içinde bir arada tutmak için her köşesindeki bir civata kullanılır. Civatalar, 6 Nm Lik bir torx uygulayan bir tork anahtarı kullanılarak eşit şekilde sıkılır. Membran konfigürasyonu, 4 spacer ile ayrılmış 2 katyon değişim membranı 1 anyon değişim membranından oluşur. Tüm membranlar ve spacerler PCA (PolymerChemie Altmeier GmbH, Heusweiler, Almanya) tarafından tedarik edilmiştir.



Şekil 3. 1 ED Reaktör



Şekil 3. 2 ED Hücreleri

Tablo 3. 1 ED sisteminin genel özellikleri

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	
Cihaz	PC Cell 64 04
Membran Boyutları	110x110 mm
Aktif Membran Alanı	64 cm ²
Membran Kalınlığı	0,5 mm
İşletim Uzunluğu	80 mm
Hücre sayısı	20 en fazla
Elektrot membran aralığı	1 mm
Anot Elektrot	Pt/Ir kaplama Ti gergili metal
Hücre malzemesi	Polipropilen
Katot	Ti gergili metal
Tipik Konfigürasyon	
Standart anyon ve katyon değiştirici membran ile 10 hücre çifti	
Toplam membran alanı	0,25 m ²
Elektriksel Bağlantı Verileri	
Tipi	DC akım
Maksimum akım	5 A
Maksimum voltaj	2 V/hücre çifti 30 V/hücre
Hidrolik Bağlantı Verileri	
Tipi	8mm id hortum bağlantısı
Elektrot devresinin arasındaki debi	150 L/saat
Tek bir konsantre ve diluat hücresinden geçen nominal akım	4-8 L/saat
10 hücre çifti için konsantre ve diluat hücresinden geçen akım	40-80 L/saat
Maksimum basınç (Asla sadece bir diluat/konsantre hücresi tek başına çalıştırılmamalı)	Transmembran basıncı 0 olmalı
Hücre başına basınç düşüşü (maksimum)	0,5 bar

3.2. Deneysel Prosedürler

3.2.1. Ön arıtma

Bu çalışmada deneyler ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklandığı gibi yapıldı ve analiz edildi. Bu çalışmada iyon değişim kolonu, sertliği 5 mg / L'den (CaCO₃) daha düşük olan kabul edilen seviye aralığına indirmek için ön arıtma yöntemi olarak kullanılmıştır. İyon değiştirme reçineleri katyoniklerdir ve NaCl ile aktive edildi. Ek olarak, elektrodializ ile arıtılmadan önce, filtre kâğıtları askıda kalan katı maddelerin ve membranları tıkadığı düşünülen diğer malzemeleri gidermek için kullanılmıştır.

3.2.2. Analitik deneyler

3.2.2.1. Atık su karakterizasyonu

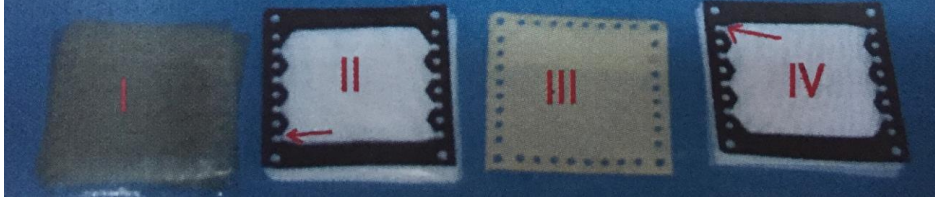
Ön arıtma işleminden sonra, atık su, üç kolondan ve bir elektrolit bölmesinden oluşan bir elektrodializ hücresine verilmiş olup, atık su kolonu, bu çalışmada diluat olarak ifade edilirken, ikinci kolonu konsantre olarak olarak belirtilmiştir.

Tablo 3. 2 Atıksu numunelerin parametreleri

Parameters	Concentration	Unit
pH	7.6	----
EC	1.56	mS/cm
COD	405	mg/L
NO₂⁻	0.201	mg/L
NO₃⁻	0.201	mg/L
TN	49.3	mg/L
PO₄³⁻	5	mg/L
TP	14	mg/L
SO₃⁻⁴	165.7	mg/L
TDS	312	mg/L

Başlangıçta üçüncü kolon üzerinde her hangi bir deneyler yapılmamıştır. Alternatif olarak kullanılan İyon değiştirici membranlar, anyon değiştirici membran ve katyon değiştirici membranlardır, bu membranlar, bir spacer ile bölünmüştür. Kullanılan membran konfigürasyonu ve reaktör içinde sırası aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

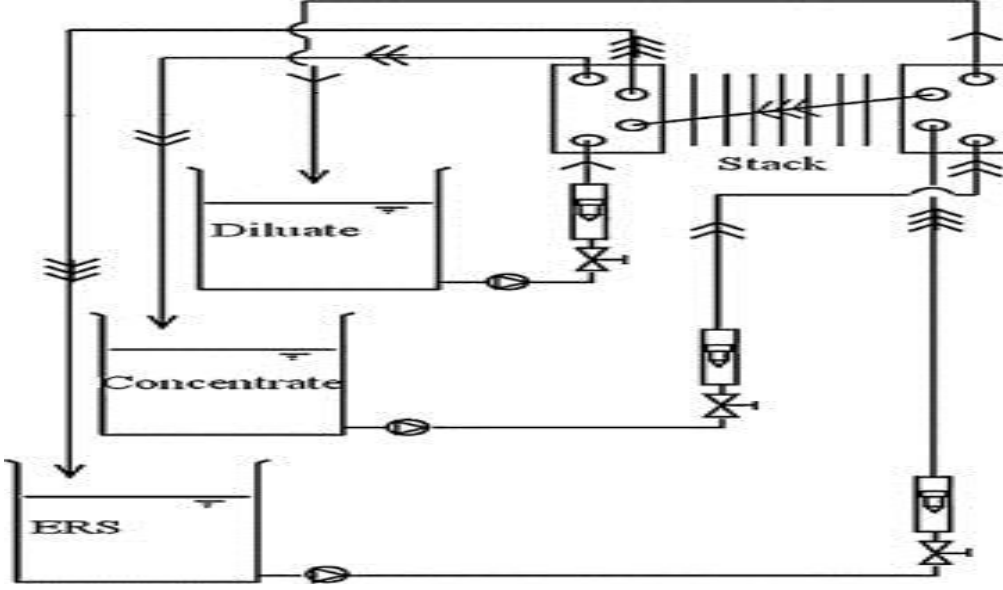
pH ve iletkenlik, Hach SC1000 bir cihaz üzerindeki deneyler boyunca izlendi ve veriler, uzamsal olarak bağı bir bilgisayarda kaydedilmiştir.



Şekil 3. 3 ED hücresi membran ve spacer sıralanışı

3.2.3. Desalinasyon ve pH etkisi deneyleri

Bu deneyler konvansiyonel ED'de gerçekleştirilmiş, istifte membranlar boyunca sabit bir potansiyel farkı itici güç olarak uygulanmıştır. İyonlar, göç ve difüzyona bağlı olarak iyon değişim membranlarında taşınacaktır. Deneyler, Şekil 3.4'de gösterilen geleneksel bir elektrodializ kurulumu kullanılarak gerçekleştirilir. Kurulum seyreltik, konsantre ve elektrot durulama çözeltileri için üç farklı bölme oluşur. Seyreltikteki hacim ve her deneydeki konsantre kabı başlangıçta 600 ml idi ve elektrot durulama çözeltilerinin hacmi ise 2 litre. Tüm deneyler toplu modda gerçekleştirilir. Tuzdan arındırma performanslarının kaydını tutmak için, iletkenlik (ve aynı zamanda pH) izlenmekte ve voltajın etkisini analiz etmek için Hach SC1000 kullanılarak değerinin kayıtları tutulmuştur ve ayrıca voltajın etkisinin analiz edilmesi için farklı deneyler uygulanmıştır. Voltaj, bir DC ayarlanabilir güç kaynağı (HCS3202) kullanılarak ayarlandı.



Şekil 3. 4 Conventional ED operation configuration

3.2.4. Nütrient analizi

Her iki bölmedeki nütrienlerin giderilmesi ve geri kazanılması, her deneyden sonra izlendi ve fosfat, nitrit ve nitrat gibi bazı nütrienlerinin konsantrasyonları, iyon kromatografisi ICS-1000 kullanılarak ölçüldü ve numuneler, iyon kromatografisine koyulmadan önce şırınga kullanılarak 45 mM delikli filtrelerle süzüldü. Toplanan veriler, Microsoft excel spread sheet ve Origin8 pro kullanılarak grafiklere ve tablolara bağlandı, analiz edildi ve raporlandı.

4. BULGULAR

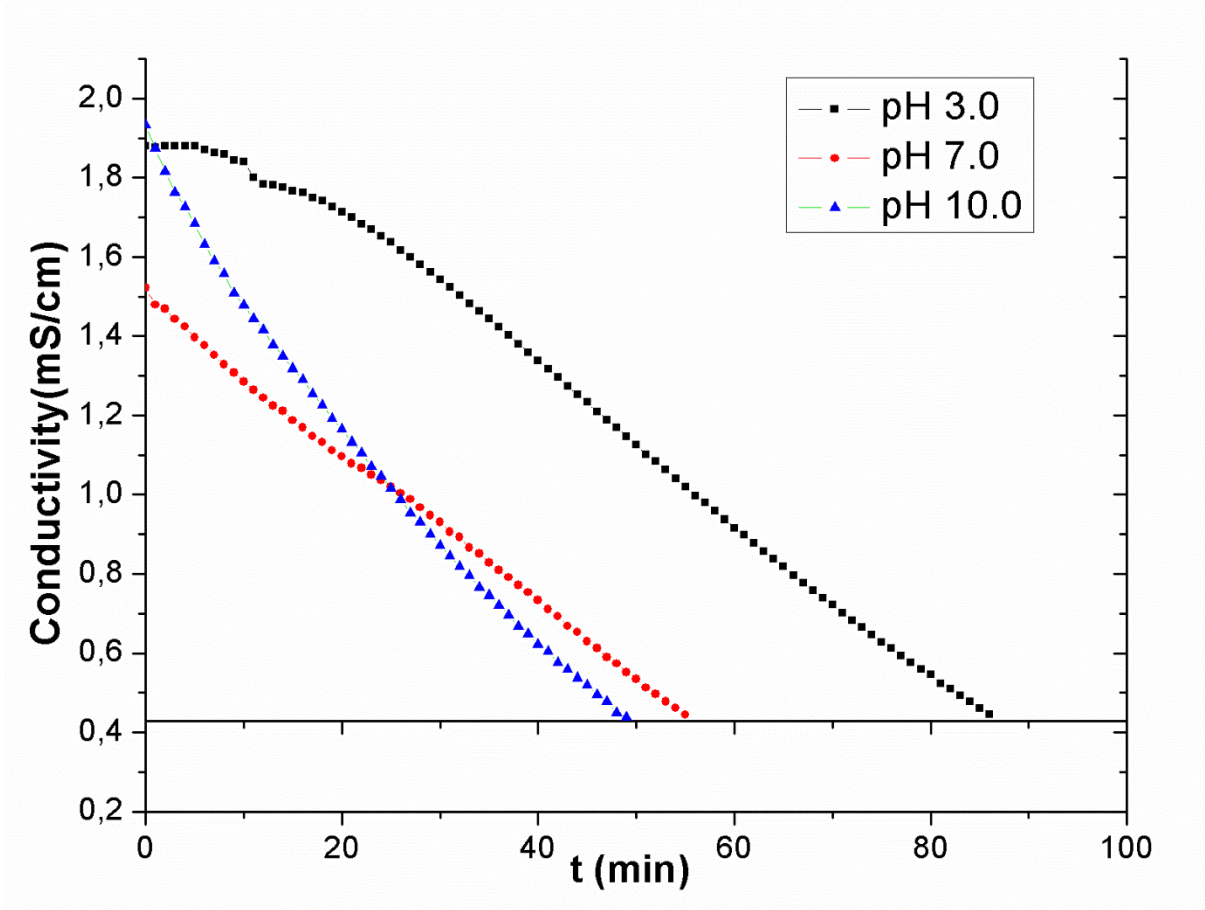
4.1. Evsel Atıksuyun Desalinasyonu

Evsel atıksulardan tuzluluğun giderilmesinde elektrodializ genel başarısını belirlemek için iletkenlik sürekli izlendi. Ayrıca, evsel atıksularından tuzluluk ve nütrientlerin giderilmesi açısından atık suların pH'ı ve sistemin voltajı gibi önemli faktörlerin etkisi belirlenerek, elektrodializ işlevselliği üzerindeki etkilerini kesin olarak belirlemek için dikkate alınmıştır. Bu parametreleri incelemenin arkasındaki amaç, sadece etkileri hakkındaki bilgiyi arttırmak değil, aynı zamanda evsel atıksularıyla çalışırken elektrodializ performansının hangi şartlarda tercih edildiğini veya engellendiğini tespit etmektedir. Bu parametrelerin etkileri SC1000 HACH kullanılarak izlendi.

Atık su numunelerinin elektrodialize verilmeden önce, ön arıtma işlemi (katyonik iyon değişimini reçine tanecikleri kullanılarak), sertliği kabul edilebilir seviyelere (5 mg / l'nin altında elde edildi) azaltmak için iyon değişimi kullanıldı. Deneyler yapıldıktan sonra, aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

4.1.1. ED Desalinasyon performansına pH'nın etkisi

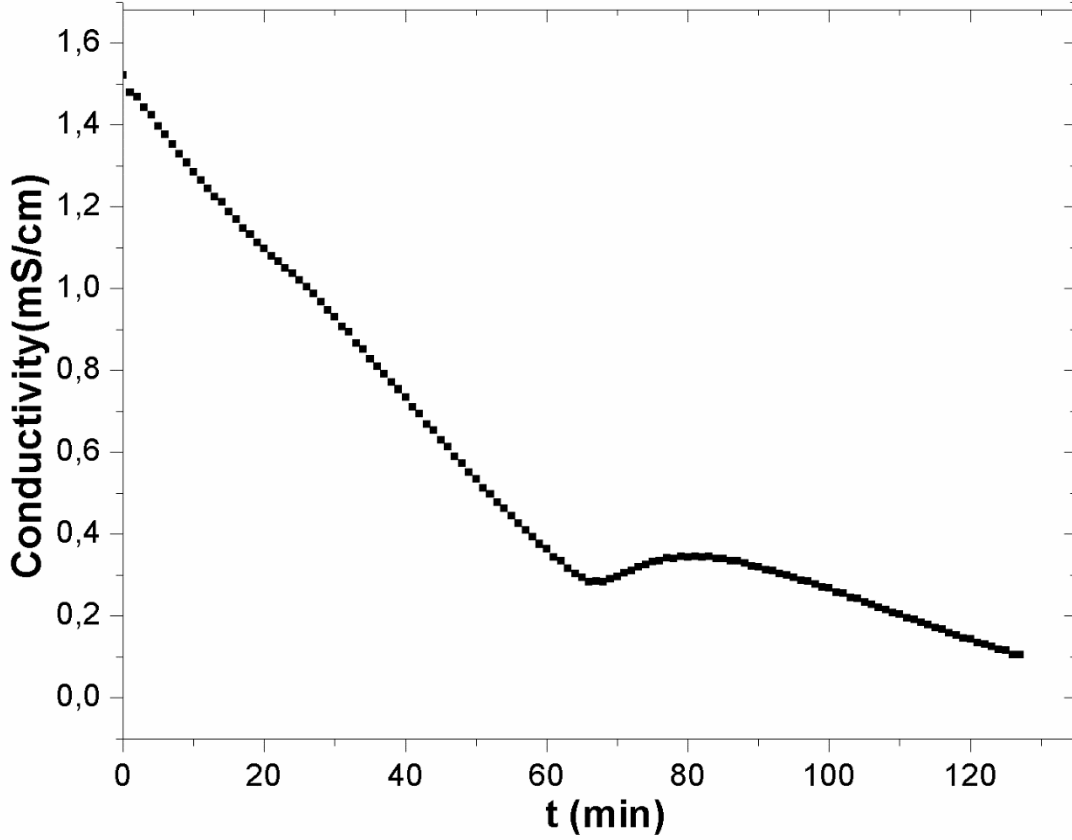
ED tuzdan arındırma performansı üzerindeki pH'nın etkisini değerlendirmek için ilk deneyler yapıldı. ED'ye vermek üzere üç atık su numunesi hazırlandı, ikisi pH'ı asidik (pH=3) ve alkalik (pH=10) artlarında değitirilirken, üçüncü numune normal atık su pH'ı (pH=7-8) oldu. Elektrodializ, her üç durumda da evsel atıksuları hedef seviyelerin altında tuzdan arındırdı ancak üç numunelerin tuzdan arındırma oranı farklıydı. En hızlı ED tuzdan arındırma performansı alkalik koşullar altında gözlenirken en yavaş ED tuzdan arındırma performansı asidik koşullar altında gözlendi. Beklenen evsel atıksu pH aralığına sahip ve değitirilmemi numunelerde, ED tuzdan arındırma performans sonuçları, alkalik artlardakine yakın tuzdan arındırma oranı değerlerine ulaştığını gösterdi (ekil 4.1).



Şekil 4.1. Seyreltik hücre; farklı pH altında tuzdan arındırma performansı

Arzu edilen tuzluluk seviyelerine ulaşmak ve her türlü mahsul türüne uygun sulama suları için, tuzluluk seviyesi olan bir 0.469 mS / cm'lik bir hedef belirlendi, böylece sistem pH=10, ve pH=7 için 49 dakika, 54 dakika ve pH=3 için de 85 dakika içinde 0.469 mS / cm'ye ulaştı.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ED sistemi, alkali ve normal atıksu pH koşulları altında çalıştırırken, alkali koşullar altındaki olan numuneleri biraz daha hızlıdır ama ikisinin tuzdan arındırılması sonuçları arasındaki fark çok azdır. Bununla beraber, bu çalışma kapsamında, sistemin pH'da herhangi bir değişiklik yapmadan normal atık su koşullarında (pH=7-8) çalıştırılacağını belirlenmiştir.

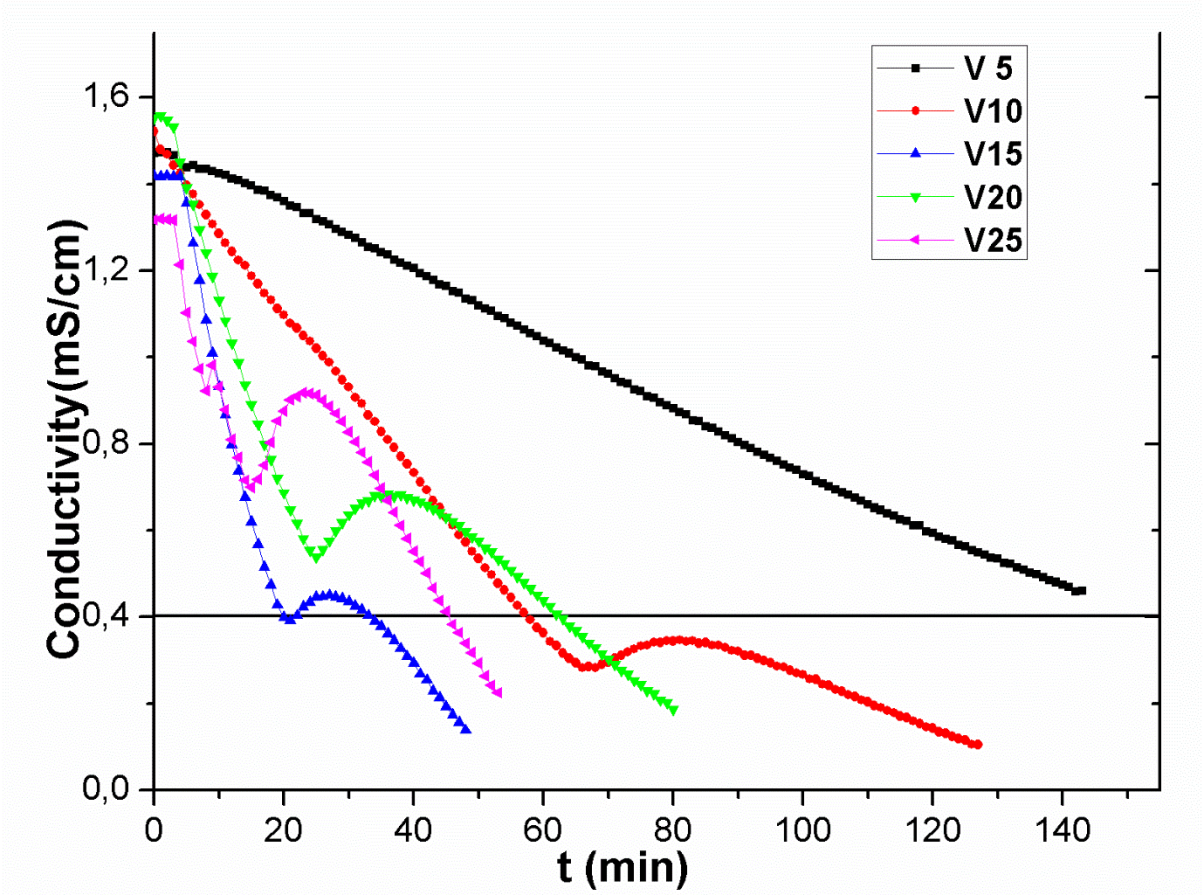


Şekil 4. 2 Seyreltik ve konsantr hücre; normal pH altında tuzdan arındırma performansı

Normal atıksu pH aralığının altındaki bir numunenin iletkenliği yukarıdaki şekilde gözlenebilir. Burada seyreltik bölmede bir iletkenlik düşüşü vardır ancak daha sonra hafifçe artar ve daha sonra azalmaya devam etmektedir. Bu dalgalanma olayları ağırlıklı olarak farklı voltajlar altında yapılan farklı deneyler boyunca gözlenir ve ED bölmelerinde zamanla iletkenlikte doğrusal bir düşüş olmadığını göstermektedir.

4.1.2. ED Desalinasyon performansına voltaj'ın etkisi

Farklı voltajlar düzeyinde çalışan ikinci deneyler yapıldı ve ED'in tuzdan arındırma performansı izlendi. Aşağıdaki şekilde gösterilen sonuçlar elde edildi.



Şekil 4. 3 Seyreltik hücre; farklı voltajlarda tuzdan arındırma performansı

5V, 10V, 15V, 20V ve 25V voltajlar altındaki ED sistem, tuzdan arındırma performansı analiz edildi ve 15V voltaj, ilk 20 dakika içinde gereken hedefe ulaşılarak en hızlı tuzdan arındırma performansına ulaştı. Yukarıda verilen şekilde görüleceği gibi, 15V Voltaj olan hedefimize ulaşmada daha iyi performans gösterdi.

4.2. Nütrientlerin Giderilmesinde ED Performansı

Daha önce belirtildiği gibi, ED'nin bir düzey farklı çalışma koşulunda evsel atık sularından tuzluluk giderimi kabiliyetini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu bölümde, çalışma sistemin nütrientleri giderme kapasitesini değerlendirmek için birkaç deney yapılmıştır. Bu çalışmada hedef nütrientler nitrit, nitrat ve fosfattır.

Ayrıca, bu bölümde tuzdan arındırma deneylerinde olduğu gibi, ED'nin genel çalışma performansını potansiyel olarak engelleyebilecek ya da artırabilecek bazı etkileycilerin etkisini, bu etkileycilerin, atık suların pH'ı ve ED bölmeleri arasında uygulanan potansiyel

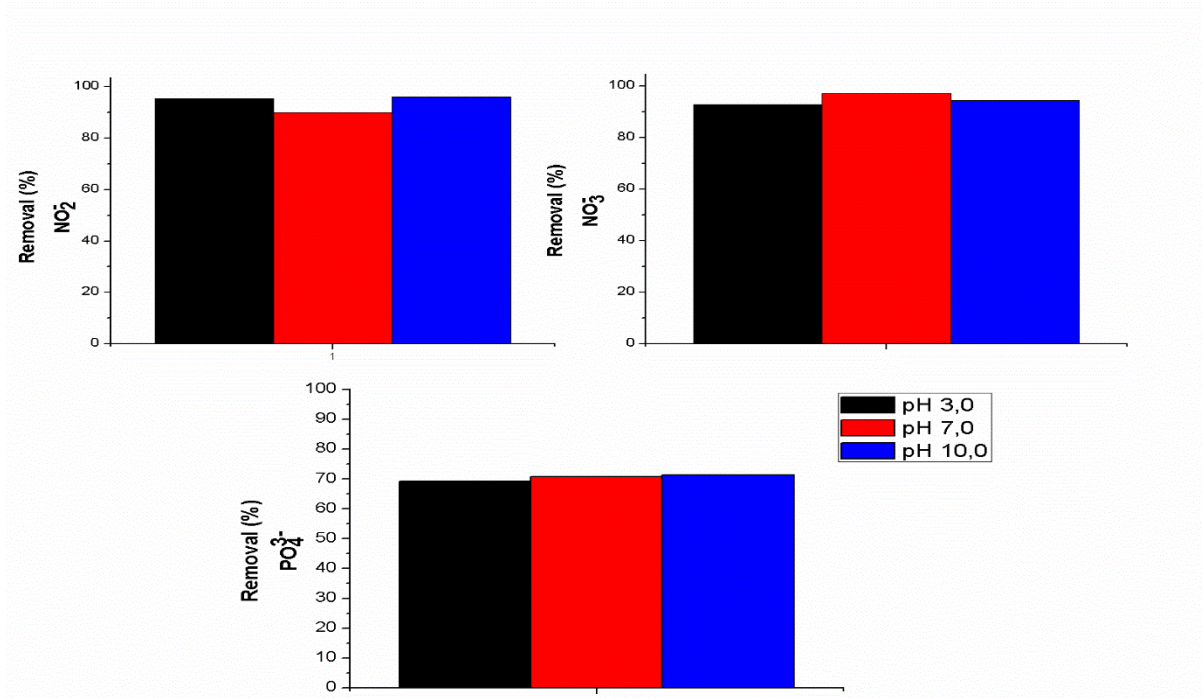
fark olduğunu düşünülmektedir. Aynı şekilde, ED performansı ve bu etkileycilerin nütrientlerin uzaklaştırılmasındaki etkisi de değerlendirme yapılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. ED ile nütireint gideriminde pH'nın etkisi

Farklı pH koşulları altında, sistem nispeten aynı performans seviyesini göstermektedir yani farklı pH aralıkları altında sistemin nütireint giderme kapasitesinde gözle görülür bir fark yoktur. Şekil 4.4, farklı pH'da (asidik, nötr ve bazık) uzaklaştırılan nütireintlerin oranını göstermektedir.

$$R = \frac{C_o - C_i}{C_o} * 100$$

Buradaki R, giderim oranı C_o ve C_i , sırasıyla ilk ve son konsantrasyondur, mg / l.



Şekil 4. 4 Farklı pH altında nütireint giderim oranı

4.2.2. ED ile nütireint gideriminde voltaj'ın etkisi

Bu deneylelerde, farklı bir voltaj seti seçildi ve 5V, 10V, 15V, 20V ve 25V elektrodialize atık su örnekleri verildi. Her deneyden sonra nitrit, nitrat ve fosfat giderim yüzdesi belirlenmiştir. Aşağıdaki farklı gerilim değerleri altında giderim yüzdeleri elde edildi.

Tablo 4. 1 Farklı voltajlar altında nütrientlerin giderim yüzdeleri

Nütriënt	Giderim Oranı (%)				
	5V	10V	15V	20V	25V
Nitrit	87,35	90,1	96,6	84,4	97,1
Nitrat	82,6	88,8	93,0	89,8	94,3
Fosfat	30,0	57,6	67,9	52,5	63,1

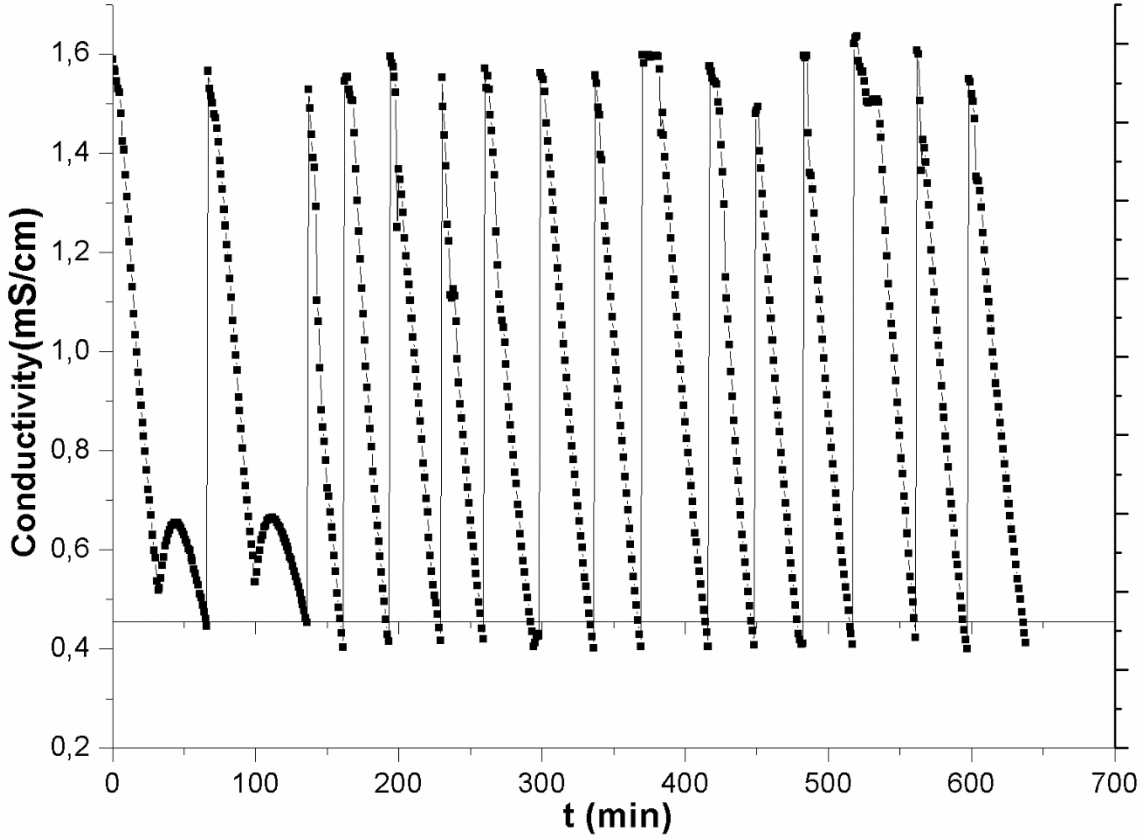
Yukarıdaki tabloda gösterildiği gibi, 15V ve 25V voltajının, hedef nütrientlerin çoğunun % 90'ının giderilmesinde elde edilen diğer voltajlara kıyasla daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, 15V voltajda en yüksek fosfat giderme oranı (% 67.9) elde edilmiştir.

4.3. Elektrodializ Prosesinin Sürekli Akışın Sağlanması

Son olarak, bu bölümde, ED'nin tuzluluk arındırmaya devam etmesinin kabiliyetini ne kadar olduğunu görmek için sistem devamlı koşullar altında maruz bırakılmıştır. Ayrıca membranların tıkanması gibi faktörler nedeniyle ED performansının engellenmesinden önce nütrientlerin geri kazanım ya da konsantrasyon edilmesi olasılığı araştırılmıştır. Bir deney üzerine yığılmış olan, aşağıda gösterilen sonuçları bulduk.

4.3.1. Sürekli ED deneylerinin tuzluluk giderme performansı

Elektrodializin sürdürülebilirliğini test edebilmek için, sistemin ömrünü ve verimliliğini izlemek amacıyla, atık su numunelerinin sisteme sürekli olarak verildi. Hedeflenen tuzdan arındırma seviyelerinin elde edilmesinden sonra artmış atık su elde edildikten sonra farklı akış ayarında çok sayıda deney yapıldı. Konsantrasyon bölmesi deney boyunca kalmaya devam ederken hücreden çıkarıldı, iletkenlik kaydedildi ve ayrıca her döngüden sonra her iki bölmeden bir örnek toplandı ve hedef nütrient geri kazanım hızını belirlemek için analiz edildi.

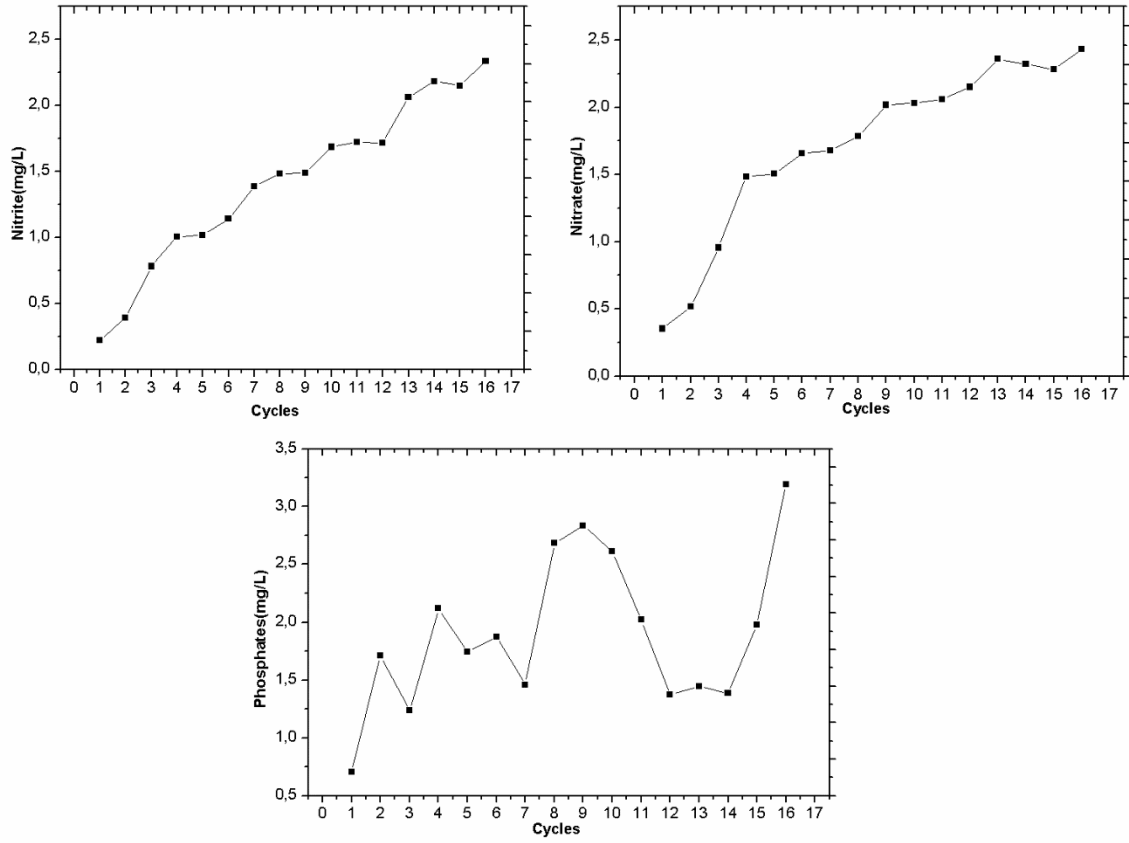


Şekil 4. 5 Seyreltik hücre; sürekli çalışma modunda tuzdan arındırma performansı

Yukarıdaki şekilde görüleceği gibi, ED'ye 1000 ml'lik bir evsel atık su numunesi verildi ve elektrodializinin tuzdan arındırma performansının tüm numuneler için hızlı olduğu gözlemlendi (ilk iki numune hariç) ve hedef tuzluluk seviyelerine ulaşılması yaklaşık 20 dakika sürdü.

4.3.2. Sürekli işletilen deneylerde nütrientlerin geri kazanımı

638 dakikalık bir çalışma süresi boyunca toplam 16 döngü yapıldı ve ED'nin devam eden deneyler altında ne kadar etkili olduğunu görmek için ED nütrient geri kazanımı değerlendirildi. Aşağıdaki rakamlar hedef nütrient geri kazanılmasında (nitritler, nitratlar, fosfatlar) fosfat dışındakilerin tüm konsantrasyonda doğrusal bir artış gösterir ve konsantre bölümünde tutulurlar. Şekil 4.6'da, tüm hedef nütrient konsantre haznesinde geri kazanıldığı ve konsantre edildiği gösterilmiştir; her döngüden sonra konsantre haznede başarılı bir şekilde geri kazanıldığını ve yine de giderme oranının azalmaya başladığını ve performansın farklı örnekler arasında engellendiğini göstermektedir.



Şekil 4. 6 Sürekli akışta nütrient geri kazanımı

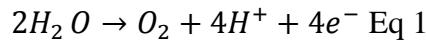
Ayrıca, fosfatlar ile ilgili, geri kazanım oranı, bazen yüksek ve bazen düşük olduğu ve herhangi bir patern göstermediği ve daha sonra geri kazanım oranının doğru bir şekilde belirlenemediği için geniş bir çeşitlilik aralığı gösterdiğini göstermiştir. Konsantre odalarından elde edilen sonuçlar yukarıdaki şekilde görülebilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrodiyalizin performansı ve evsel atıksu arıtımı için ED sisteminin bir seçenek olup olmadığı araştırılmış ve sistemin farklı şartlarda nütrient giderme ve tuzdan arındırma kapasiteleri değerlendirilmiştir. İletkenlik, pH ve voltaj gibi çeşitli faktörler sürekli izlenmiş ve bunların elektrodiyaliz üzerindeki etkileri sonuçlarda daha önce belirtildiği gibi değerlendirilmiştir.

5.1. Farklı pH'daki Numunelerde Desalinasyon ve Nütrient Giderim Performansı

pH tuzdan arındırma oranını etkilemekte ve alkali olan numuneler, asidik veya normal atıksu pH aralığındaki numunelere kıyasla ED'de tuzdan arınmayı hızlandırıyor gibi görünmektedir. Küçük iyonik yarıçapları nedeniyle, potansiyel fark (voltaj) uygulandığında ilk olarak taşınıyorlar, bu nedenle diğer küçük anyonların yanı sıra hidroksil iyonlarının büyük oranda göç etmesi seyreltik ve diluat iletkenliğindeki azalışlarda görüldüğü gibi daha hızlı bir tuzdan arındırmaya işaret etmektedir. Bu olayın başka bir açıklaması ise, seyreltik çözeltilerin elektrolizinde, katyonların ve iyonların nispi stabilitesinin, elektrotlarda boşaltılması tercih edildiğini, daha az kararlı olmasının, genellikle gaz şeklinde boşaltılmasının daha muhtemel olmasından kaynaklanabilir. ("Su Elektrolizi", örneğin, Cl^- ve OH^- gibi anyonların, hidroksil iyonlarının Oksijene oksidasyonuna yönelik bir tercih ürettiği anotlarda, denklem 1'de gösterilen şekilde aşağıdaki anodik reaksiyon gerçekleşir.)



Orijinal numunemiz konsantre olmadığından bu da bizim için geçerli olabilir, yani başlangıç iletkenliği ($EC = 1.54$) ilk reaksiyon tercih edilir ve bunun arkasındaki sebep alkali şartlar altında ($pH=10$) daha fazla hidroksil iyonu anlamına gelebilir. Denklem 2'de gösterildiği gibi bir elektron alıcısı (Denk. 3) olarak işlev gören ve bazı anyonların konsantre bölmesine daha sonra uzaklaştırılmasını kolaylaştıran oksijen oluşumuna katkıda bulunanlar mevcuttur.



Bununla birlikte, nütrientlerin uzaklaştırılması durumunda, numunedeki pH değışiklikleri nütrientlerin uzaklaştırılma oranını etkilemez ve bunlar sonuç bölümünde gösterilen grafikten açıkça görüldüğü gibi aynıdır.

Bu çalışmada istenen nütrienler nitrit nitrat ve fosfatların uzaklaştırılması için test yaptık ve deney üzerine, farklı pH altında alkali koşulların tuzdan arındırma performansını desteklediğini gördük; bununla birlikte, nütrient giderimi söz konusu olduğunda, çalışma, pH'ın nütrient giderimi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir ve bunun nedeni, atıksuların diluat kısmından konsantr kısına hızlı bir şekilde iyon göçleri nedeniyle diluat bölmedeki başlangıç pH'ının ne olduğuna bakılmaksızın olduğu varsayılmaktadır. Daha sonra, bu bölmede pH damlalarının kaçınılmaz olması bu dengeyi sağlar ve nütrient hareketinin hızı ne engellenir ne de iyileştirilir, aslında farklı pH örnekleri arasında hemen hemen aynıdır.

Bu nedenle, farklı pH koşullarında, çalışma sona erer; sistemin farklı pH aralıkları altında nütrient uzaklaştırma kapasitesinde gözle görülür bir fark yoktur.

5.2. Desalinasyon ve Nütrient Giderim Performansına Voltajın Etkisi

Farklı voltaj potansiyelleri altında çalışan sistemin tuzsuzlaştırma performansı izlendi ve 5V, 10V, 15V, 20V ve 25V volatajlerindeki ED tuzluluk giderme performansı analiz edildi ve 15V voltajda, ilk 20 dakika içinde gerekli olan hedefe ulaşarak en iyi tuz giderme performansını elde edildi.

5.2.1. ED kolonlar içinde desalinasyon sırasında iletkenlik dalgalanması

Sistemi potansiyostatik modda (sabit voltaj) çalıştırırken, başlangıçta seyreltik haznede tuzdan arındırma sırasında, potansiyel fark, uygulandığında diluat kısmındaki iletkenlik azalır ve belirli bir noktadan sonra iletkenlik artmaya başlar, ancak daha sonra tekrar azalmaya devam eder. Bu iletkenlikteki dalgalanmalar, bu bölmede sistem tarafından bu kurulum altında çalıştırılırken yapılan farklı deneyler boyunca azalmanın zaman içinde doğrusal bir düşüş olmadığı durumlarda gözlenmiştir. Bu olay, tuzdan arındırma oranını büyük ölçüde etkiler ve ED'nin performansını engeller.

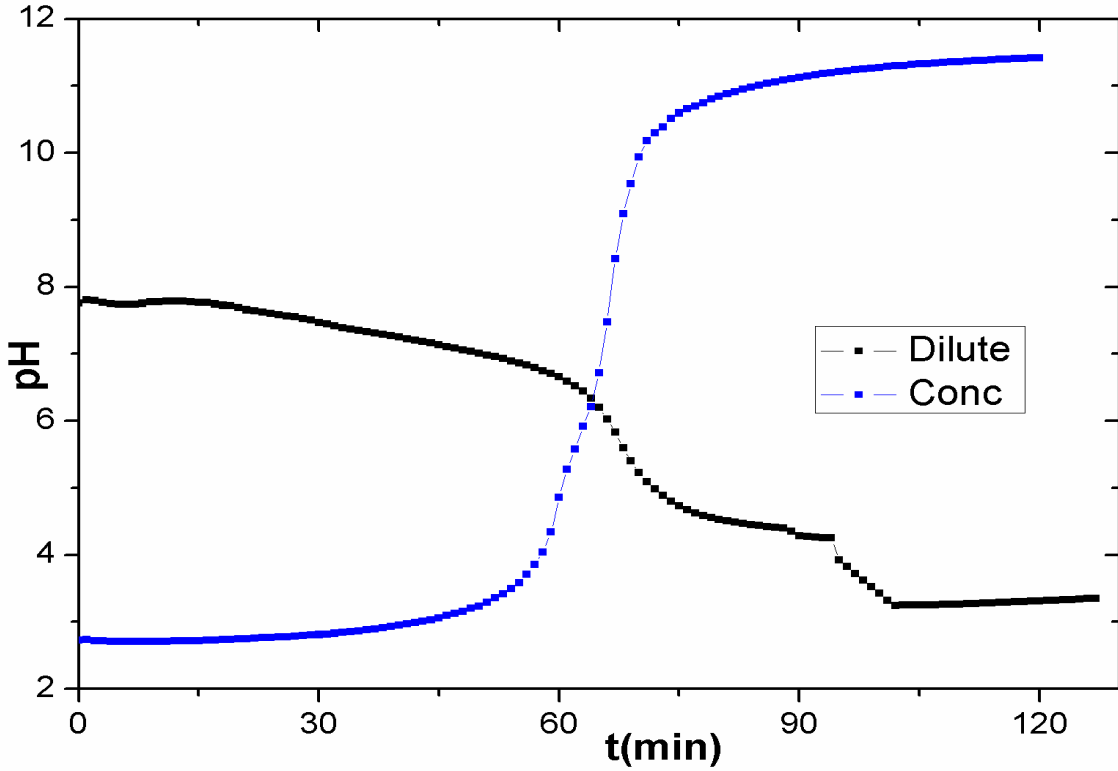
Grafiklerden ve tablolardan bulgular bölümünde gösterildiği gibi, evsel atıksu farklı voltaj potansiyel seti uygulanması, tuzdan arındırma ve nütrient giderimi performansı üzerinde değişken bir etki göstermektedir. Bununla birlikte, en iyi sonuçların hem tuzdan arındırmada hem de nütrientlerin uzaklaştırılmasında voltaj 15V altında olduğunu tespit edilmiştir.

Genel olarak literatürde bir ED işleminin etkinliğini yüzde ekstraksiyonu, akım verimi, membranların elektrokimyasal davranışı, akım yoğunluğunu sınırlandırma ve ayrıca uygulanan potansiyel gibi, bir süre parametre tarafından etkilenir. Örneğin akım yoğunluğunun sınırlandırılma dışındaki olan değerlerinde ED çalıştırılması ve dahada akım artması konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılan şeye yol açtığını ve bu da sırayla tuzdan arındırma oranı azalttığını bildirilmektedir (Scarazzato et.al 2015). Grafiklere (Şekil.4.6) bakıldığında, 15V'nin üstünde bir voltajın uygulanması istifte daha yüksek bir uygulamalı akımla sonuçlanmış olabilir ve diluat odasındaki iletkenliğin hedef tuzdan arındırma seviyelerine ulaşmadan önce çarpıcı biçimde arttığı görülmektedir. Bu oldukça istenmeyen bir durumdur ve bu çalışmada bu olayın sebebi konsantrasyon polarizasyonu denilen fenomenanın etkisinden kaynaklandığı varsayılmaktadır.

Konsantrasyon polarizasyonu, ED hücrenin akım yoğunluğunu sınırlarına bağlıdır ve kütle taşınımının sayısında farklılıklar olduğunda meydana gelir, bu işlem verimliliğine zarar verir. sınırlandırıcı akımden daha büyük bir akım bir hücreye uygulandığında ne olur? diluat arayüzdeki iyonların sayısı azalırken, karşı tarafta yük birikimi gözlemlenir (Nëmeçek et al., nd).

Bu, sistemin genel performansını engelleyen çok sayıda soruna yol açar örneğin diluat tarafta akım taşıyan iyonların sayısı azalır ve aşırı durumlarda, su ayrışması mümkündür. karşı taraftada, yükler karşı tarafta biriktiğinde, konsantre ürünlerdeki tuz konsantrasyonunun çözünürlük ürününü geçmesine neden olur ve sonuçta membranların tıkanmasına neden olan çöktellerin oluşmasına ve sistem direncinin artmasına neden olur (Scarazzato ve ark. 2015). Sınırlayıcı akım yoğunluğunu (current limiting density) belirleme teknikleri arasında, üç ayrı bölge ile karakterize edilen bir polarizasyon eğrisinin grafik yapısından oluşan akım-gerilim eğrisi (CVC) yöntemidir, ancak bunun için sınır akım yoğunluğu değerinin belirlenmesi bu çalışma bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

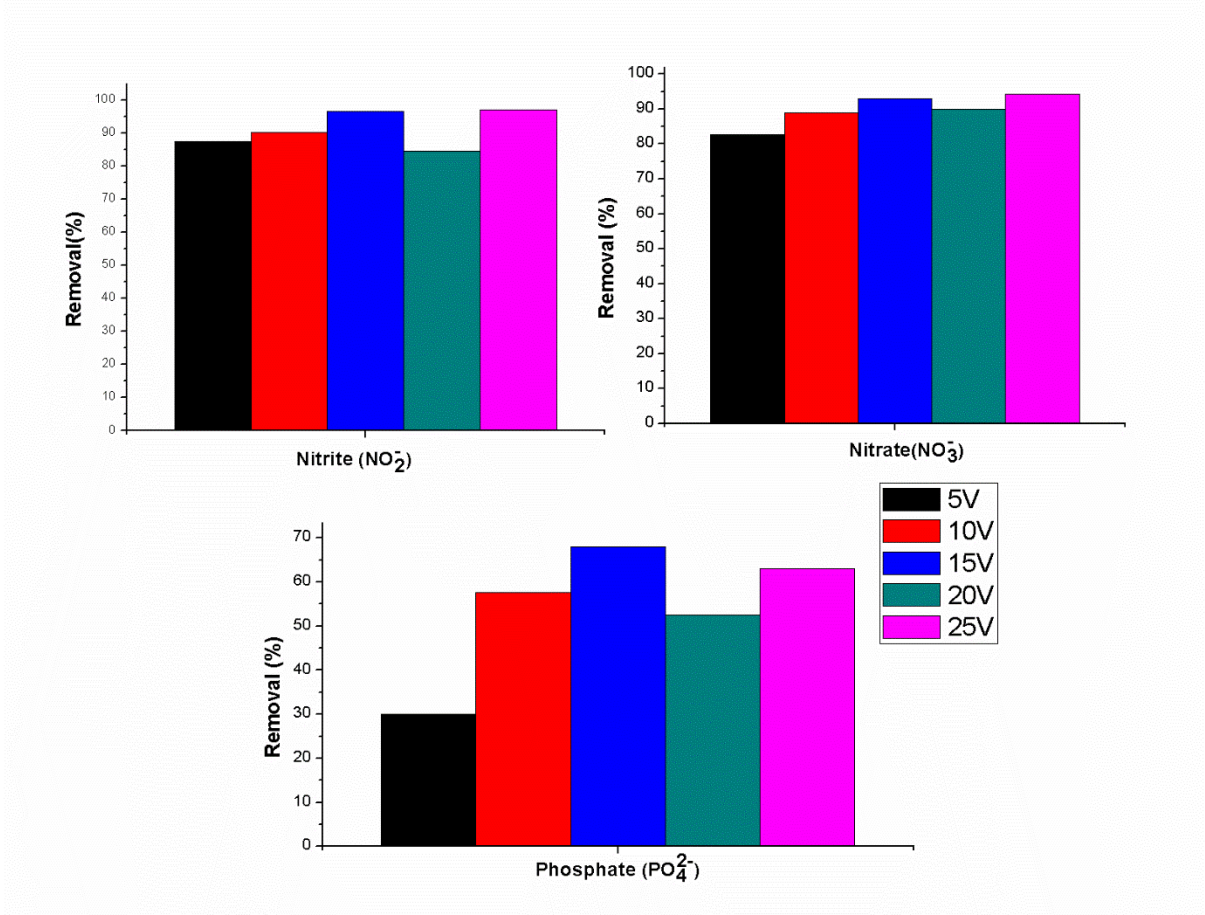
Asıl CVC grafiğinin ve teorik hesaplamının belirlenmesinin bu çalışmaya dahil edilmemesine rağmen, bu çalışmanın voltaj 15V'in ötesini aşmasının sınır akım akımının aşılmasına neden olacağı varsayımını destekleyen yeterli kanıt vardır. Tuzdan arındırma deneyleri sırasında gözlenenlerden ve karşılık gelen pH grafiğine bakıldığında birlikte, diluat bölmede pH'ın başlangıçta sistemin kararlı bir koşul altında çalıştığını gösteren başlangıçta göreceli olarak kararlı olduğu ve birisinin oranının uygun olduğunu iddia ettiği görülmektedir. kütle transferinin yarıya eşit olmasına rağmen, daha fazla iyon, çözültiden taşındığından daha hızlı bir hızda gerçekleşmeye başladıkça, iyonların tükenen bir sınır tabakasının oluşumu meydana gelir ve böylece su ayrılmasına ve OH^- ve H^+ oluşumuna ulaşılır ve seyreltikte pH'ın keskin bir şekilde düşmesinden ve konsantrasyondaki keskin bir pH artışından görüldüğü gibi, bu, belki de üretilen H^+ iyonlarının içinden geçen membranlarda su ayrılma etkisinden kaynaklandığını gösterir. Katyon değişim membranı ve seyreltilmiş bölmeye taşınır, iletkenlikte bir artışa ve pH'da düşüğe neden olur. Yığın içinde üretilen ilgili odacıklarda, konsantre odasına taşınırken, konsantre odadaki pH artışı, meydana gelen şeydir. Bu gözlem, aşağıda gösterilen şekillerde gösterildiği gibi her iki bölüm için (konsantrasyon ve diluat) pH değerindeki değişikliklere bakılarak gerekçelendirilebilir.



Şekil 5. 1 Konsantre ve diluat pH değerindeki değişim

Bu nedenle, çalışma seyreltik pH'da doğrusal bir düşüş gözlemlendiğinde deneyde bir durma önerir. Ayrıca, ED'nin deneylerden önce farklı voltajlar altında besin uzaklaştırması performansına geldiğimizde, voltajın arttırılmasının, üssel olarak besin uzaklaştırması için daha iyi sonuçlar vereceği varsayılmıştır, ancak, aşağıdaki veriler ve rakamların, muamele performansında bir seviyeye kadar doğrusal bir artış olduğunu göstermiştir. belirli bir nokta yani sistemin optimum koşulları sağladığı görülüyor. Bu çalışmada, 15V'luk bir voltajın besinlerin çıkarılması için en uygun koşul olduğu ve geçmişin aşılmasının gerçekte performansta bir düşüş gösteren (20V'luk voltajın sonuçlarına bakınız) gerçekte 25V'ye yükselterek hafif iyileşmeler göstermeye başladığı görülmüştür. gerilim 20V'den daha iyi sonuçlar vermiştir ve yine de daha iyi sonuçlar vermiştir, bununla birlikte performanstaki artış, aslında, 15V fosfat gerilimi 15V'den daha düşük bir performansa sahip olan bazı besinler için aslında genel muamele işleminde büyük bir fark yaratmamıştır.

Voltaj 15V, hedefimize ulaşmada daha iyi performans gösterdi ve bunun nedeni, sistemin sınırlayıcı akım yoğunluğunun ötesinde çalışırken yığına etki eden direnç nedeniyle olabilir. ED performansı aşağıdaki grafikte görüldüğü gibidir.



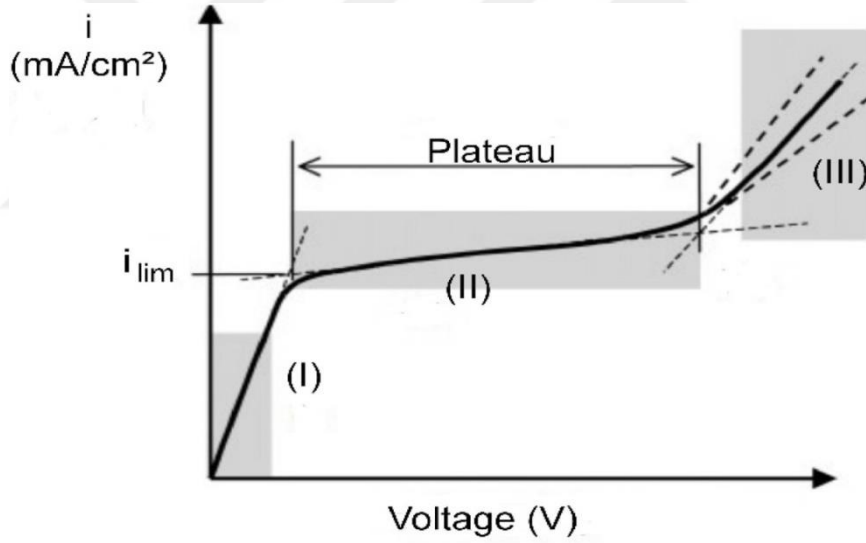
Şekil 5. 2 Farklı voltajlar altında hedef besinleri çıkarma etkinliği

Nütrientlerin farklı voltajlar altında elde edilen sonuçları açıklamak için, bu sonuçları elde etmemizin sebebinin, farklı voltajlardaki direncin etkilerinden kaynaklandığına, şimdi literatürde iki türün olduğu açıklanmıştır. ED ile uğraşırken direnç, bu ikisi a) membran direnci ve b) difüzyon sınır tabakası direncidir (Strathmann 2010a).

Difüzyon sınır tabakası direnci (membran-çözelti arayüzündeki direnç), ayrıca konsantrasyon polarizasyonu tarafından yönetilir, önceki çalışmalar, çözeltinin tuz konsantrasyonu yüksek olmadığı zaman, en yüksek etkiye sahip olan direnç türünün, difüzyon tabakası ve membranın direnci, kıyaslandığında önemsizdir, ancak tuzların konsantrasyonu yüksek olduğunda, bunun membran direnci tarafından yönetilirken, diğerinin etkisi çok az değildir (Długolecki ve ark. 2010).

Bu çalışmada, tuzun konsantrasyonu düşüktü, bu nedenle bu çalışma altında etkisi olan direnç difüzyon katmanından kaynaklanan dirençti. Çalışmalar, bu direncin konsantrasyon

polarizasyonu yönetildiğini gösterdi, bu nedenle neden olduğunu belirledik. Sistem, voltaj 15V'den sonra tuzdan arındırma deneyleri sırasında dalgalanmalar sergiledi, konsantrasyon polarizasyon etkilerinden kaynaklanıyordu; bu bölümde ayrıca, besin sökme deney sonuçlarından, 15V geçişi nedeniyle oluşan konsantrasyon polarizasyonundan dolayı difüzyon tabakasında dirence neden olduğunu görüyoruz. büyük olması ve daha sonra besinlerin kütle taşınımını etkilemesi ve 20V'den elde edilen sonuçlardan gözlemlendiği gibi bunların çıkarılma performansını engellemesi (bakınız şekil 5.1). Gerilimi arttıran deneyler boyunca, 5V'luk bir voltajdan sonra 10V'luk ve 15V'a kadar olan voltajlardan daha iyi temizleme sonuçları vermiş gibi gözükse de, 20V'lık bir voltaj değerine yükseldiğinde, ED'nin voltajın 10V ve 15V'ye kıyasla daha düşük performans gösterdiğini 25V ED Gerilimi, sistemin aşırı sınırlayıcı koşullarda çalışması ve fosfor hariç hedefimize ulaşma konusunda iyileştirmeler göstermeye başlaması ve diğer çalışmalardan elde edilen CVC grafiğine göre, bölge olarak nitelendirilen üçüncü bölgeyi akımda başka bir artış olduğunda kapsamaktadır.



Şekil 5. 3 Tipik akım voltaj eğrisi

Genel olarak, ilk lineer bölge Ohm'un elektrolit ve membran direnci konusundaki yasasına tabidir. İkinci bölge, zar yüzeyine bitişik katmandaki iyon sayısının azaltılmasından kaynaklanan bir plato ile karakterize edilir. Üçüncü bölgede, bu kez sınır akımın üstünde akımda bir başka doğrusal artış gözlenir. Bu bölüm, 5V, 10V, ve 15V gerilim altında, ohm yasasıyla yönetilen bölge altında faaliyet gösterdiğimizi, ikinci bölgeyi yani 20V geriliminde ikinci platoyu işaretlediğimizi gördüğümüz için besinlerin çıkarılmasından elde edilen sonuçlar için geçerlidir. İşaretleme iyon sayısında düşüşe neden olur. Bununla birlikte,

çalışma, daha iyi bir performans elde etmenin nedenini etkileyen olası faktörler olan çözelti konsantrasyonu, sıcaklık vb. Gibi olası diğer etkileyicilere daha fazla bakılmasını önermektedir. ED'nin, bu parametrelerin sürecin genel performansı üzerindeki gerçek etkilerini tam olarak anlamak için daha derin bir dikkat ve daha fazla deneyime ihtiyacı var.

5.3. Sürekli Sistem Deneyleri

5.3.1. Desalinasyon ve Nutrient Geri Kazanımı

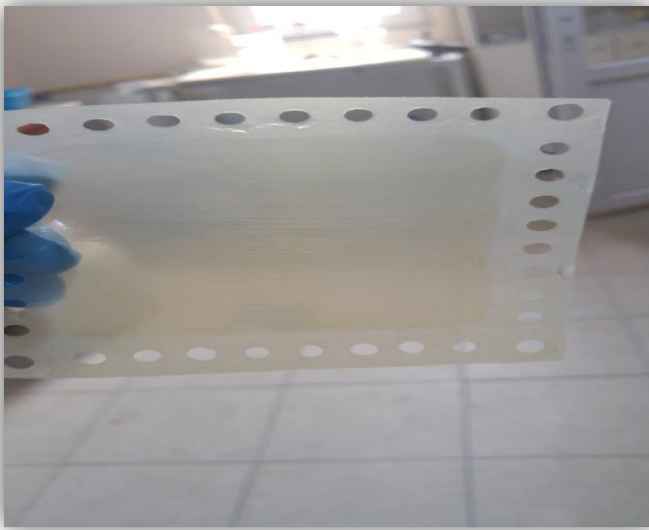
Son olarak, bu bölümde, membranların tıkanması veya ölçeklenmesi gibi faktörler nedeniyle performansının engellenmesinden önce ED'nin tuzdan arındırmaya devam etmesinin yanı sıra besinleri geri kazanma kapasitesini ve kapasitesini görmek için sürekli bir deney yaptık. Devam eden deneyler için hem tuzdan arındırma hem de besin geri kazanımı izlendi. Tuzdan arındırma açısından, sürekli deney, sistemin daha önce de hızlı bir şekilde tuzdan arındırıldığı ve voltajın 15V olduğu ve voltajın 15V olduğu, optimum potansiyel olduğu tespit edilen bir deney altında yapıldı ve bu örnek altında tuzdan arındırma gerçekleştirildiğinde meydana gelen konsantrasyon polarizasyonu yoktu ve her numunenin aldığı 16 numune boyunca daha uzun zaman alan ilk 2 numune dışında hedef tuzluluk seviyesine ulaşmak için yaklaşık 20 dakika, bu iki numunenin konsantrasyon polarizasyon etkileri gösterdiği, böylece tuzdan arındırma işleminin uzamış olması, bunun nedeni, aynı zamanda bir başka akım sınırlayıcı akım yoğunluğunun ortaya çıkması nedeniyle olabilir. Ancak diğer çalışmalarda gözlemlenen, bu doğrulanamayan bir varsayımdır ve çalışma bu noktada daha fazla çalışılmasını önermektedir. Dahası, bu kurulum altında ED'yi hala çalıştırırken, numuneler konsantre bölmelerden çekiliyordu ve hedef besinlerin geri kazanımı fosfatlar hariç tümü ölçülüyordu (PO_4^{3-}) örnekler arasında bir artış olduğunu gösteriyor ve başarılı bir şekilde konsantre edildi ve içinde tutuldu. Konsantre haznesi ancak fosfatlar için durum böyle değildir ve geri kazanımın kapsamı artmaz ve her numunede kayıplar vardır, bu her numuneden sonra konsantrasyondaki kaçınılmaz pH değişikliklerinden dolayı meydana gelen çökeltilere atfedilir.

5.3.2. Fosfat geri kazanma performansı

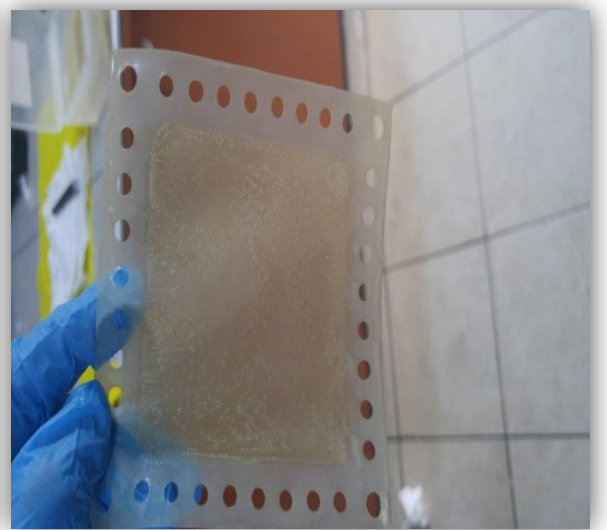
Fosfat, diğer besinler kadar başarılı bir şekilde konsantre edilememiştir ve her deneyden sonra hedef tuzluluk değerine ulaşılan numuneler, konsantre odasında daha önce olduğu gibi yaptığı gibi, konsantre odasındaki kayıpları gösteriyor gibi görünmektedir (Antonius ve diğerleri, 2011). örneğin odalarda pH değişimlerinin olduğu durumlar Çalışmada (Rotta ve

ark. 2017) devam eden bir deney sırasında, fosfat iyonlarındaki ve sudaki ayrılma etkisindeki azalmalar ve H^+ ve OH^- üretimi nedeniyle, diluat bölmedeki fosfat iyonlarının HPO_4^{2-} ye geri dönebileceği görülmüştür. Bunun için bir çözelti seyreltilmiş bölmeyi değiştiriyor olabilir. Çalışmamızda dilüsyon uzaklaştırıldı ve taze numune dilüsyona beslendi, ancak bunu yaparak fosfat geri kazanım hızı, meydana gelen pH değişikliklerinden dolayı optimize edilemedi. Bu mod altında deneyler yürütülürken, konsantrasyon polarizasyonunun etkilerinin gözlemlenmesi muhtemeldir, bunun nedeni, bunun bir sonucu olarak, konsantre içindeki diğer tuzlarla birlikte biriken fosfatların, çözünürlük sınırını aştığını ve çökeltildiğini, ayrıca, konsantre odasının alkali hale getirdiğidir ve bu sırayla fosfatların daha fazla çökmesine neden olduğu varsayılmaktadır, çünkü çözünürlük yasalarından fosfatlar gibi iyonların alkali koşullar altında çökeltildiğini biliyoruz (Mekmene ve ark. 2009) (Antony ve ark. 2011).

Bu teoriyi ortaya koyan diğer kanıtlar, deneyler tamamlandıktan sonra anyon membranında bulunan beyaz çökeltilerdir; bu, anyon membranlarının yüzeyini ölçeklendiren bu beyaz çökeltiler, fosfatın pH değeri arttıkça, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir gittikçe çözülmez. Bu çalışmada, ilk numunelerdeki konsantrasyon polarizasyonunun nedeni tespit edilememiştir. Çalışma, daha optimize edilmiş ve verimli bir sistem elde edebilmek için ayar yoluyla devamlı çalışma altında daha fazla çalışma yaparak olası etkileycilere daha fazla bakılmasını önermektedir



Deneyden önce



Deneyden sonra

Şekil 5. 4 iyon değişim membranı deneyinden önce ve sonra

5.4. SONUÇ

Bu çalışmaların amacı, belediye atık sularında ileri bir arıtım için seçenek olarak membran teknolojisine ışık tutmak ve araştırmaktır ve buradaki mevcut seçenekler hakkında kısa bir ayrıntı vermemize rağmen, bu çalışmada, elektrodializ temel odak noktasıydı. belediye atık sularının daha fazla arıtılması için bir yöntem olarak seçildi, örnekler üzerinde test edilip denendikçe, bu teknolojinin tuzdan arındırmadaki performansı, arıtma tesisinden toplanan belediye atık sularındaki besin giderimi ve geri kazanımı değerlendirildi. Dahası, çalışma ayrıca, ED sisteminin genel performansının belirleyicileri olarak besinlerin de tuzdan arındırılması, uzaklaştırılması ve geri kazanılması için voltaj ve pH gibi bazı parametrelerin etkisine bakmaktadır.

pH, farklı numuneler arasında değiştirildi ve tuzdan arındırma performansının alkali şartlar altında biraz daha uygun olduğunu gördük, ancak normal pH atık su aralığında yapılan deneyler o kadar uzak değildi ve alkali şartlar altında bulunan numunelere yakın bir şekilde tuzdan arındırma performansı elde etti. normal atık su pH aralığında daha başka deneyler yapıldı. Dahası, ED'nin besin uzaklaştırıcı kapasitesi de bu çalışmanın odak noktasıydı; çoğunlukla nitrit, nitrat ve fosfat. Her deney bittikten sonra seviyeleri ölçülmüştür. PH'ı manipüle etmek ve asidik nötr ve alkali şartlar altında numunelerle deneyler yapmak, besinlerin çıkarılması performansı üzerinde belirtmeye degecek bir etkiye sahip değildi, ancak voltajın artırılması, hem tuzluluk hem de besinlerin çıkarılması için bazı farklı sonuçlar verdi.

Tuzdan arındırma açısından iletkenlik, optimal noktadan geçinceye kadar voltaj artışıyla daha hızlı bir şekilde düşmüştür ve bu nokta, voltajın 15V'den 20V'a yükseldiği, aslında tuzdan arındırmada olduğu gibi, besinlerin çıkarılmasında da, bunun yanı sıra besin uzaklaştırılmasında düşük performans gösterdiğini belirlemiştir. Uygulanan potansiyeldeki artışlar, ED'nin nitratların çıkarılması için performansında hafif bir artış gösterir, ancak tercih edilen en uygun koşulların, 15V uygulanan potansiyel farkı olan optimum koşullarda daha fazla çalışma yapmak olduğu tespit edilmiştir.

Sistemin bu şekilde davranmasının nedenlerinden biri, güç, sonuçta ortaya çıkan optimum noktadan sonra güç arttığında performansı olumsuz yönde etkileyen konsantrasyon

kutuplaşma etkilerinden ve atık suların tuzdan arındırma işleminde düşük performanstan kaynaklanıyor olabilir. yanı sıra besinlerin çıkarılmasında.

Çalışma aynı zamanda, belediye atık su arıtma teknolojisinin geleceğinde bir yöntem olarak kullanılabilmesini veya bir teknoloji seçeneği olup olmadığını belirlemek için sistemin sürdürülebilirliğini değerlendirmeye yönelik deneyler yapmıştır. Deney devam eder ve örnekler muameleden sonra ED seyreltilmiş odadan boşaltılır, ancak konsantre oda kaldı; Ne kadar besin maddesinin konsantre edilip tutulabildiğini ve sistem bozulmadan ve artık atıksu arıtmadan önce kaç numunenin tuzdan arındırılabilmesini görmek için. Tuzdan arındırma sürekli olarak izlendi ve işlem boyunca sistem 16 numuneden 20 dakika sonra kısa işlem süresi olarak hızlı bir hızla tuzdan arındı, ilk iki numune hariç sistem tuzdan arındırma kapasitesinde herhangi bir bozulma göstermedi, ancak besin uzaklaştırma kapasitesi belirli ölçeklendirme bileşenlerinin zar üzerine birikmesinden dolayı her numuneden sonra hafifçe engellenmesine rağmen, yine de besin geri kazanım hızı, nitrit nitratların yanı sıra sülfat tuzlarının geri kazanılmasında ve tutulmasında da sürekli bir artış göstermiştir, ancak fosfatlar için, bu oran tam olarak doğru olamaz. Konsantre bölmesindeki pH değişikliklerinden dolayı, alkali şartlar altında çökeltme eğiliminin çöktüğü varsayıldığı tespit edilen bu iddiayı destekleyen kanıt, tüm deneylerin bitiminden sonra zarların yakından gözlemlendiği ve iyon değiştirme zarı beyaz çökeltici bırakıldı.

Genel olarak, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ED'nin, belediye atık sularındaki besinlerin tuzunun giderilmesi ve uzaklaştırılması veya geri kazanılması için uygun ve sürdürülebilir bir seçim yönünde bir adımda bir seçenek olabileceğini göstermektedir. Elektrik enerjisini bir itici güç olarak kullanması, bir eksiklik olabilir ve temel olarak tedaviye yönelik pahalı olmayan bir yaklaşım olarak görüldü, ancak ED, hidrojen gazı üretme yeteneğine sahiptir, bu çalışmada, eğer bir kaynaktan daha fazla kaynak kullanılacaksa, Bu hidrojeni yakalamak için ED'yi atıklardan enerji üretebilecek bir teknoloji yapabilir ve böylece ED'yi yeşil teknoloji alanında güçlü bir rakip haline getirebilir.

REFERANSLAR

- Alkudhiri, Abdullah, Naif Darwish, and Nidal Hilal. 2012. "Membrane Distillation: A Comprehensive Review." *Desalination* 287 (January). Elsevier B.V.: 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.027>.
- Alzahrani, Salem, and Abdul Wahab Mohammad. 2014. "Challenges and Trends in Membrane Technology Implementation for Produced Water Treatment: A Review." *Journal of Water Process Engineering* 4 (C). Elsevier Ltd: 107–33. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.09.007>.
- Angelakis, Andreas, and Shane Snyder. 2015. "Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future." *Water* 7 (9): 4887–95. <https://doi.org/10.3390/w7094887>.
- Antony, Alice, Jor How, Stephen Gray, Amy E Childress, Pierre Le-clech, and Greg Leslie. 2011. "Scale Formation and Control in High Pressure Membrane Water Treatment Systems: A Review." *Journal of Membrane Science* 383 (1–2). Elsevier B.V.: 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.08.054>.
- Ayala-Bribiesca, Erik, Monica Araya-Farias, Gérald Pourcelly, and Laurent Bazinet. 2006. "Effect of Concentrate Solution PH and Mineral Composition of a Whey Protein Diluate Solution on Membrane Fouling Formation during Conventional Electrodialysis." *Journal of Membrane Science* 280 (1–2): 790–801. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.02.036>.
- Banasiak, Laura Joan. 2009. "Removal of Inorganic and Trace Organic Contaminants by Electrodialysis," no. August.
- Bratby, John. 2016. "Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment." *Water* 2nd (1): 538. <https://doi.org/10.2166/9781780402321>.
- Bruggen, Van Der. 2015. "Advances in Electrodialysis for Water Treatment."
- Collins, Robert, Peter Kristensen, and Niels Thyssen. 2009. *Water Resources across Europe — Confronting Water Scarcity and Drought*. EEA Report 2/2009. Eea. <https://doi.org/10.2800/16803>.
- Displacements, Drought. 2017. "739,000," no. May: 1–2.
- Długolecki, Piotr, Benoît Anet, Sybrand J. Metz, Kitty Nijmeijer, and Matthias Wessling.

2010. "Transport Limitations in Ion Exchange Membranes at Low Salt Concentrations." *Journal of Membrane Science* 346 (1): 163–71. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.09.033>.
- Du, Lu, Qianru Chen, Panpan Liu, Xia Zhang, Huihui Wang, Qiaohong Zhou, Dong Xu, and Zhenbin Wu. 2017. "Phosphorus Removal Performance and Biological Dephosphorization Process in Treating Reclaimed Water by Integrated Vertical-Flow Constructed Wetlands (IVCWs)." *Bioresource Technology* 243: 204–11. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.092>.
- Elser, James, and Elena Bennett. 2011. "Phosphorus Cycle: A Broken Biogeochemical Cycle." *Nature*. <https://doi.org/10.1038/478029a>.
- Fakhru'l-Razi, Ahmadun, Alireza Pendashteh, Luqman Chuah Abdullah, Dayang Radiah Awang Biak, Sayed Siavash Madaeni, and Zurina Zainal Abidin. 2009. "Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment." *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044>.
- Hosomi, Masaaki. 2016. "New Challenges on Wastewater Treatment." *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1131-1>.
- Huang, Chuanhui, Tongwen Xu, Yaping Zhang, Yanhong Xue, and Guangwen Chen. 2007. "Application of Electrodialysis to the Production of Organic Acids: State-of-the-Art and Recent Developments." *Journal of Membrane Science* 288 (1–2): 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.11.026>.
- Kajjumba, George William, Serdar Aydın, and Sinan Güneysu. 2018. "Adsorption Isotherms and Kinetics of Vanadium by Shale and Coal Waste." *Adsorption Science & Technology* 36 (3–4): 936–952. <https://doi.org/10.1177/0263617417733586>.
- Keremane, G. 2006. "Urban Wastewater Reuse — A Common Reality." <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55056-5>.
- Kurniawan, Tonni Agustiono, Gilbert Y.S. Chan, Wai Hung Lo, and Sandhya Babel. 2006. "Physico-Chemical Treatment Techniques for Wastewater Laden with Heavy Metals." *Chemical Engineering Journal* 118 (1–2): 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.01.015>.
- Lee, Kah Peng, Tom C. Arnot, and Davide Mattia. 2011. "A Review of Reverse Osmosis

- Membrane Materials for Desalination-Development to Date and Future Potential.” *Journal of Membrane Science* 370 (1–2). Elsevier B.V.: 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.12.036>.
- Mei, Ying, and Chuyang Y. Tang. 2018. “Recent Developments and Future Perspectives of Reverse Electrodialysis Technology: A Review.” *Desalination* 425 (September 2017). Elsevier: 156–74. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.021>.
- Mekmene, Omar, Sophie Quillard, Thierry Rouillon, Jean-Michel Bouler, Michel Piot, and Frédéric Gaucheron. 2009. “Effects of PH and Ca/P Molar Ratio on the Quantity and Crystalline Structure of Calcium Phosphates Obtained from Aqueous Solutions.” *Dairy Science and Technology* 89 (3–4): 301–16. <https://doi.org/10.1051/dst/2009019>.
- Moura Bernardes, Andréa, and Marco A.S. Rodrigues. 2014. *Electrodialysis in Water Treatment. Electrodialysis and Water Reuse: Novel Approaches*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40249-4_6.
- Němeček, M, J Kratochvíla, R Kodým, and D Šnita. n.d. “Electrodialysis,” 1–17.
- Network, Artificial Neural. 2001. : “: Theory and Applications.” *Network* 2 (May 1998): 1067–73.
- Nutrients, Essential Plant. n.d. “Crop Nutrition and Fertilizer Requirements Essential Plant Nutrients.”
- Pronk, Wouter, Helena Palmquist, Martin Biebow, and Markus Boller. 2006. “Nanofiltration for the Separation of Pharmaceuticals from Nutrients in Source-Separated Urine” 40: 1405–12. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.038>.
- Quist-Jensen, C. A., F. Macedonio, and E. Drioli. 2015. “Membrane Technology for Water Production in Agriculture: Desalination and Wastewater Reuse.” *Desalination* 364. Elsevier B.V.: 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.001>.
- Rose, White. 2008. “Universities of Leeds , Sheffield and York.”
- Rotta, E H, C S Bitencourt, L Marder, and A M Bernardes. 2017. “Evaluation of the {Electrodialysis} {Process} in the {Treatment} of {Phosphate} {Containing} {Solution}.” Gianetti, {B}. {F}.; {Almeida}, {C}. {M}. {V}. {B}.; {Agostinho}, {F}. (Editors): {Advances} in {Cleaner} {Production}, {Proceedings} of the 6th {International} {Workshop}.

“S0011916400001715.” n.d.

Sadr, Seyed M K, Devendra P Saroj, and United Kingdom. 2015. “Membrane Technologies for Municipal Wastewater Treatment 14.”

Scarazzato, T., D. C. Buzzi, A. M. Bernardes, J. A S Ten??rio, and D. C R Espinosa. 2015. “Current-Voltage Curves for Treating Effluent Containing HEDP: Determination of the Limiting Current.” *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 32 (4): 831–36. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150324s00003511>.

Shakir, Eman, Zahraa Zahraw, and Abdul Hameed M J Al-obaidy. 2017. “Environmental and Health Risks Associated with Reuse of Wastewater for Irrigation.” *Egyptian Journal of Petroleum* 26 (1). Egyptian Petroleum Research Institute: 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>.

Shannon, Mark A, Paul W Bohn, Menachem Elimelech, John G Georgiadis, Benito J Marin, and Anne M Mayes. 2008. “Science and Technology for Water Purification in the Coming Decades” 452 (March): 301–10. <https://doi.org/10.1038/nature06599>.

Song, Yali, Bingzhi Dong, Naiyun Gao, and Yang Deng. 2015. “Comparative Evaluation of Aluminum Sulfate and Ferric Sulfate-Induced Coagulations as Pretreatment of Microfiltration for Treatment of Surface Water.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (6): 6700–6709. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606700>.

Sonune, Amit, and Rupali Ghate. 2004. “Developments in Wastewater Treatment Methods.” *Desalination* 167 (1–3): 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113>.

Strathmann, H. 2010a. Chapter 6 Ion-Exchange Membrane Processes in Water Treatment. *Sustainability Science and Engineering*. Vol. 2. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00206-2](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00206-2).

———. 2010b. “Electrodialysis, a Mature Technology with a Multitude of New Applications.” *Desalination* 264 (3). Elsevier B.V.: 268–88. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.069>.

Technology, Overview O F. 1956. “Bipolar Membrane Electrodialysis” 5193 (07). [https://doi.org/10.1016/S0927-5193\(07\)12017-9](https://doi.org/10.1016/S0927-5193(07)12017-9).

Türgay, Orun, Gülin Ersöz, Süheyda Atalay, Jörgen Forss, and Ulrika Welander. 2011. “The

Treatment of Azo Dyes Found in Textile Industry Wastewater by Anaerobic Biological Method and Chemical Oxidation.” *Separation and Purification Technology* 79 (1): 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.03.007>.

“Water Electrolysis.” n.d.

Watkins, E James, and Peter H Pfromm. 1999. “Capacitance Spectroscopy to Characterize Organic Fouling of Electrodialysis Membranes” 162: 213–18.

Williams, By Ceri, Process Engineering, Richard Waheman, and Chemical Engineering. n.d. “Membrane Fouling and Alternative Techniques for Its Alleviation,” no. 124.

Wintgens, T, T Melin, A Schiller, S Khan, M Muston, and D Bixio. 2005. “The Role of Membrane Processes in Municipal Wastewater Reclamation and Reuse” 178 (November 2004): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.12.014>.

Xie, Ming, Ho Kyong Shon, Stephen R. Gray, and Menachem Elimelech. 2016. “Membrane-Based Processes for Wastewater Nutrient Recovery: Technology, Challenges, and Future Direction.” *Water Research* 89. Elsevier Ltd: 210–21. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.045>.

Zhang, Yang, Simon Paepen, Luc Pinoy, Boudewijn Meesschaert, and Bart Van Der Bruggen. 2012. “Selectrodialysis: Fractionation of Divalent Ions from Monovalent Ions in a Novel Electrodialysis Stack.” *Separation and Purification Technology* 88. Elsevier B.V.: 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.12.017>.