
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 07.04.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 09.06.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.304492	

Elektrodiyaliz proseslerinden kaynaklanan konsantre akımın minimizasyonu ve yeniden kullanılabilirliğinin incelenmesi: Tekstil atıksuyu örneği

Fatih İLHAN*¹

ÖZ

Membran prosesler hem içme suyu arıtımında hem de atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu arıtım yöntemi en genel anlamda arıtmadan ziyade bir ayırma prosesidir. Yalnız bu arada da konsantre oluşumunun önüne geçmek mümkün olmamaktadır. Bu nedenden ötürü en büyük problem olarak membran proseslerden kaynaklanan konsantre kısmın arıtımı için de ekstra çaba sarf edilmektedir. Bu durumda yeni membran proseslerin kullanımına ve yeni çalışma metodlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ilk olarak klasik elektrodiyaliz (KED) prosesi ile çalışılmıştır. Bu proseste oluşan konsantre akım oranı %10 (1L atıksu /0,1 L konsantre kısım), konsantre akım tekrar tekrar kullanılarak 15 L atıksu arıtımı gerçekleştirilmiş ve konsantre akım %0,67 oranına kadar indirgenebilmiştir. Benzer şekilde bipolar membranlı elektrodiyaliz (BMED) prosesinde de anolit ve katolit olarak 0,1L başlangıç çözeltisi konulduğunda tekrarlı arıtım sonucunda konsantre akım(20 L atıksu, 0,1 L anolit,0,1 L katolit olup) %1 seviyelerine kadar indirgenebilmiştir. Bu çalışmada konsantre akımın elektrodiyaliz proseslerinde tekrar tekrar kullanılabilirliği ve minimize edilebileceği görülmüştür. Aynı zamanda BMED prosesi ile PH değeri 0,32 M H⁺ ve 0,38 M OH⁻ değerine sahip karışık asidik ve alkali çözeltiler elde edilmiştir. Başlangıç değerlerine bakıldığında 47,5 kat (0,38/0,008) ve (0,32/0,009) 35,6 kat daha yoğun alkali ve asidik çözeltiler elde edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Membran Prosesler, elektrodiyaliz, konsantre akım, bipolar membran elektrodiyaliz, ast-baz ger, kazanımı

Investigation of minimization and reusability of the reject from electrodiyalisis processes: an example textile wastewater

ABSTRACT

Membrane processes are widely used in both drinking water treatment and wastewater treatment. This method is separation process, in the most general sense, rather than treatment. In the meantime, it is not possible to avoid reject formation. For this reason, the biggest problem is the extra effort required to remove the reject from the membrane processes. In this case, the use of new membrane processes and new operation methods are needed. For this reason, at the first stage, textile wastewater were treated by classical electrodiyalisis (CED) process. 10% (1 L wastewater / 0.1 L rejected portion) of the concentrate stream was generated from this process. Utilizing the reject, 15 L of wastewater treatment was realized. At this point, the concentrate stream can be reduced to 0.67%. Likewise, in the bipolar membrane electrodiyalisis (BMED) process, when the initial solution of anolite and catholyte was placed as a 0.1L initial solution, the reject flow (20 L wastewater, 0.1 L anolite, 0.1 L catholyte) could be reduced to 1%. In this study, it was observed that the reject stream could be used repeatedly and minimized in the electrodiyalisis processes. At the same time, mixed acidic and alkaline solutions with pH value of 0,32 M H⁺ and 0,38 M OH⁻ value were obtained by BMED process. According to the initial values, 47.5 times (0.38 / 0.008) and (0.32 / 0.009) 35.6 times more concentrated alkaine and acidic solutions were obtained

Keywords: Membrane processes, electrodiyalisis, reject, bipolar membrane electrodiyalisis, acid-base recovery

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul – filhan@yildiz.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su/Atıksu arıtımında en önemli husus arıtma verimi olarak görülmektedir Oysa bu arıtım sonrası oluşması muhtemel atıkların varlığı önemli bir sorundur. Her ne kadar kimyasal ve biyolojik arıtım ile ilgili çalışmalarda arıtım gerçekleşiyor olsa da özellikle son yıllarda önemli ölçüde kullanımı artan membran proseler yer almaktadır[1]. Membran proseler özellikle son 20 yıldır en popüler arıtma yöntemler arasında ilk sıralarda yer alır[2]. Bu prosenin birçok farklı alanda kullanılabilmesi en önemli avantajlarından[3-7]. Yalnız membran proseler arıtmadan ziyade bir ayırma prosesi olarak çalışmaktadır. Bu da kirleticileri ayrı bir haznede daha yoğun hale getirmektedir. Daha açık ifadeyle, kirleticilerin giderimi yerine farklı bir alanda biriktirilmesi genel prensibi ile çalışmaktadır. Öyle ki bu kirleticilerin yer aldığı konsantre kısım oldukça yoğun bir kirletici içeriğe sahip olduğu için giderim maliyeti de oldukça yüksek olmaktadır[8]. Eğer ki alıcı ortama düşük bir debide de olsa bu yoğun kirleticiler verilirse önemli derecede olumsuzluklar ile karşılaşılması olasıdır[9]. Bu nedenle çeşitli konfigürasyonlar ile membran biyoreaktör (MBR) arıtım prosesi geliştirilmiştir[10]. Yalnız bu çalışmalarda da konsantre kısım oluşumu engellenememiştir. Bu nedenle membran proselerin yanına bir de konsantre atıksu arıtma proseleri ilave edilmektedir. Nitekim genel debiye oranla daha düşük olsa da önemli ölçüde kirleticiye sahiptir. Bu konsantre akımın belirlendiği çalışmalar dikkate alındığında klasik membran proselerinde (Mikrofiltrasyon : MF, Ultrafiltrasyon : UF , Nanofiltrasyon : NF, Ters Osmoz : TO) %10-45 oranında bir konsantre akım oluştuğu görülmektedir[11-13].

Konsantre akımın yönetimi uzun yıllardır tekrar tesise verilmesi yoluyla gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır[14]. Bu durumda kirletici parametreler tesise giren atıksuda bulunan kirleticilerin tekrar sisteme verilmesi anlamını taşımaktadır. Bu da bir süre sonra tesisin tasarım parametresi üstünde kirletici gelmesine ve tesisin

giderek işlevini yitirmeye başlar hale gelmesine yol açmaktadır[15]. Bu nedenlerden ötürü ya konsantre akımın daha etkin bir biçimde yönetiminin sağlanması gerekliliği görülmüştür. Kısacası bu konsantre akım ya oldukça yoğun bir hale getirilmeli ya da yeniden kullanılabilir bazı yan ürünlere dönüştürülebilmesi gerekmektedir.

Membran konsantresinin yönetimi ve minimizasyonu ile ilgili çalışmalar özellikle son yıllarda büyük önem taşımaktadır[16]. Ülkemizde de bu alanda çalışmalar artmaktadır ve ülkemizde bu hususta 2017 yılında bir çalıştay da gerçekleştirilmiştir. Bu organizasyonda konsantre akımın membran proseler içinde en önemli sorunlardan biri olduğu vurgulanmıştır.[17]. Yalnız bu çalıştayda konsantre akımın yönetimi olarak minimizasyon değil arıtımı üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir [18-20

Tüm bu nedenlerden ötürü yeni membran proselerine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu nedenle özellikle son yıllarda kullanım alanı bulan ED (Elektrodializ) ve CDI (Kapasitif Deiyonizasyon) proseleri kullanılmaya başlanmıştır[21]. Nitekim bu proselerde de %10 mertebelerinde bir konsantre akım oluşumu gözlenmektedir[22]. Özellikle elektrodializ prosesi incelendiğinde klasik elektrodializ (KED) ve bipolar membranlı elektrodializ (BMED) prroselerinde diğer membran proselerden önemli bir fark olarak membran gözeneklerinden artılmış su değil, kirletici iyonların geçmesidir[23-24]. Bu sayede kirletici iyonlar konsantre diye nitelendirilen bir bölmede toplanır. Bu kirletici hacminin ne kadar küçük hacimde olması kullanıcı tarafından belirleniyor olması konsantre hacmin minimizasyonunu sağlamak açısından önemlidir. Ayrıca kesikli ya da sürekli arıtmada bu hacmin değişmeden kalması da önemi ölçüde minimizasyon sağlayacaktır.

Bu çalışmadaki temel amaç KED prosesinde konsantre hacmin başlangıçta %10 mertebelerinde sabit tutularak bu değer minimizasyondur. Aynı zamanda BMED prosesinde de benzer şekilde konsantre olarak görülen anolit ve katolitlerin de sabit tutularak hem konsantre minimizasyonu hem de elde edilmesi muhtemel asidik ve alkali çözeltilerin yoğunlaştırılmasıdır.

2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIAL AND METHODS)

2.1. Analizler (Analyses)

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar Merck marka olarak kullanılmıştır. Benzer şekilde tüm analizler de Standart Metotlara bağlı olarak gerçekleştirilmiştir[25]. Aynı zamanda tüm membran çalışmalarında atıksu olarak tekstil atıksuyu(TAS) (AKINAL TEKSTİL A.Ş) kullanılmıştır. 1 L olarak kullanılan numune hacmine ek olarak konsantrasyonunda iletkenliği sağlamak amacıyla KED prosesine 100 ml 2g/L'lik tuzlu su, BMED Prosesinde ise elde edilmesi muhtemel asidik ve alkali çözeltilerin daha saf olabilmesi için 100'er ml 0,009 M HCl ve 0,008 M NaOH ilavesi yapılmıştır.

2.2. Ekipmanlar (Equipments)

Çalışmada iletkenlik ve pH analizi için cihazı olarak HACH Lange marka bir çoklu ölçer kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada PC-Cell Marka ED-64-4 model bir elektrodializör kullanılmıştır. Söz konusu elektrodializör içerdiği membranlara göre klasik elektrodializör ve bipolar membranlı elektrodializör olarak tanımlanabilmektedir. Bu elektrodializörlere ilişkin ve kullanılan membranlara ilişkin temel bilgiler Tablo 1 ve 2'de, genel mekanizmalar ise Şekil 1 ve 2'de verilmektedir[26-27].

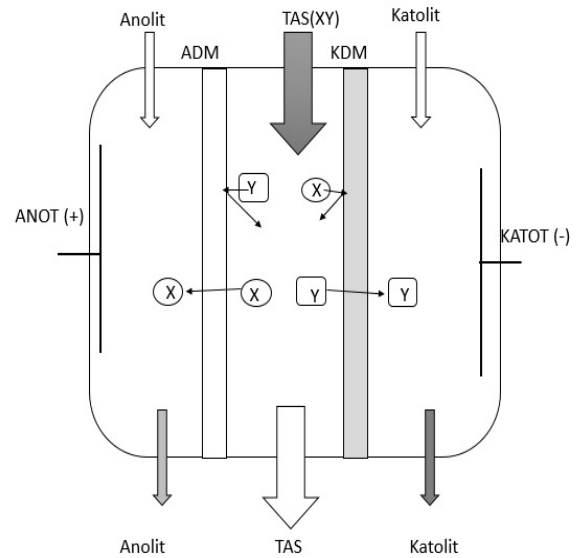
Tablo 1. Elektrodializörün ve besleme düzeneğinin temel özellikleri (General specification of electrolysers and pumping unit)

Özellikler	ED 64-4	BMED 1-3
		(Besleme düzeneği)
Membran ölçüleri (mm ²)	110 x 110	-
Etkin membran alanı (mm ²)	80 x 80	-
Hücre kalınlığı (mm)	0,5	-
Debi (L/sa)	4-8	Maks. 150
Maksimum elektriksel (V) gerilim	30	24
Boyut (mm ³)	165 x 150 x 190	825 x 380 x 419
Ağırlık (kg)	3	28

Tablo 1'de reaktörlere ilişkin fiziksel özellikler verilmiştir. Tabloda yer alan ED 64-4 elektrodializörü ifade ederken BMED 1-3 ise reaktörü besleme düzeneğine ilişkin bilgi vermektedir.

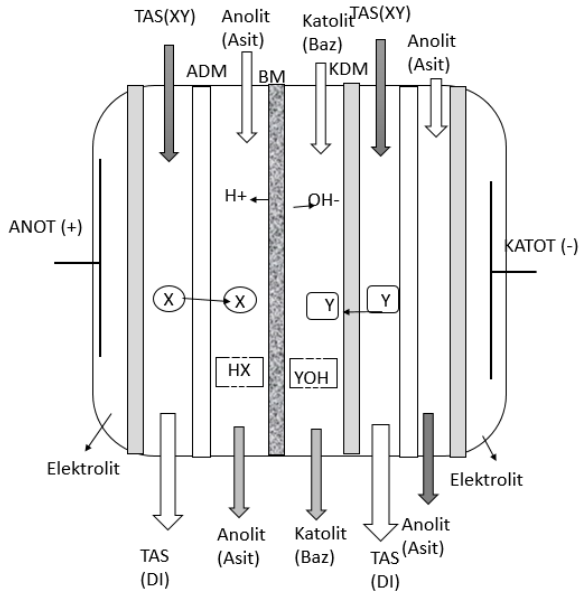
Tablo 2: Elektrodializörde kullanılan membranların temel özellikleri.(General specification of membranes used to electrolysers processes). Elektrodializörün temel özellikleri (General specification of electrolysers)

Özellikler	ADM- KDM (Anyon-Katyon Değiştirici Membran)	BM (Bipolar Membran)
Kalınlık (µm)	160-220	180-220
Su ayırma verimliliği (%)	-	>95
Direnç (Ω.cm)	~1.8-2,5	~2
Su içeriği (%)	~9-14	~40
Maksimum İşletme sıcaklığı (C ⁰)	50-60	40



Şekil 1. Klasik elektrodializ prosesi genel mekanizması (General mechanism of Classical electrolysers processes), (ADM : Anyon değiştirici membran, KDM: Katyon değiştirici membran, TAS: Tekstil atıksuyu, X: Anyon, Y: Katyon) (ADM : Anion Exchange membrane, KDM: Cation Exchange Membrane, TAS: Textile wastewater, X: Anion, Y: Cation)

Şekil 1'de görüldüğü gibi anyon değiştirici ve katyon değiştirici membranların varlığında iyonik kirleticiler anot ve katoda doğru hareket ederken ilgili kısımda depolanırlar. Çalışmada bu konsantrasyon kısımlarının tekrar tekrar kullanılarak hacim minimizasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır.



Şekil 2. Bipolar membran elektrodializ prosesinin genel mekanizması (General mechanism of bipolar membrane electro dialysis processes),(ADM : Anyon değıştirici membran, KDM: Katyon değıştirici membran, TAS: Tekstil atıksuyu, X: Anyon, Y: Katyon, HX: Asit, YOH:Baz, DI: Deiyonize) (ADM : Anion Exchange membrane, KDM: Cation Exchange Membrane, TAS: Textile wastewater, X: Anion, Y: Cation, HX: Acid, YOH:Base, DI: Deionized).

Şekil 2’de de görüldüğü gibi bipolar membranlar vasıtasıyla konsantre akımın asidik ve alkali çözeltilere dönüşümü sağlanmaktadır. Bu amaçla KED çalışmasında olduğu gibi konsantre diye nitelendirilen asidik ve alkali çözeltilerin yoğunlaştırılması sağlanmış olmaktadır.

Çalışmada önemli işletme şartlarından biri olan akım değeri elektriksel gerilim ile iletkenlik parametresi ve membran yüzeyinde oluşması muhtemel kirliliklerin tespiti açısından önemlidir. Bu nedenle çalışmalarda elektriksel gerilim sabit tutulurken akım değeri ölçülmüştür. Bu değeri besleme düzeneğinin üst limiti olan 24 V olurken uygulanan akım değeri suyun iletkenliğine göre reaksiyon süresince değışim göstermektedir.

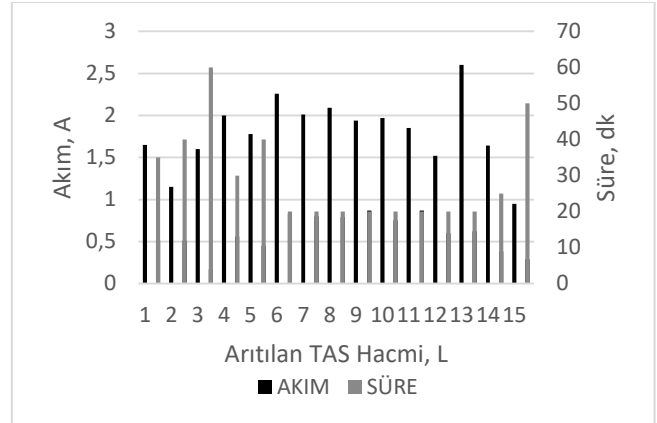
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmanın bu aşamasında iki farklı membran prosesi ayrı ayrı olarak incelenmiş ve konsantre atığın minimizasyonu araştırılmıştır.

3.1. KED prosesiyle tekstil atıksuyunun arıtımı (Textile wastewater treatment with CED)

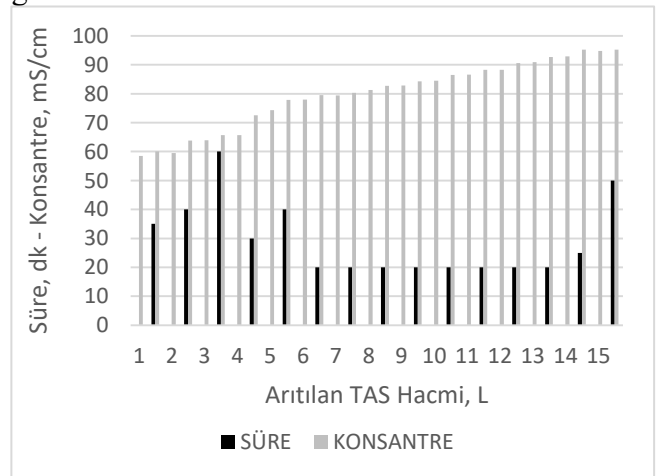
KED prosesi temel olarak iyonik türler üzerinde etkilidir. Genel mekanizma elektrik akımı vasıtasıyla iyonik türlerin taşınımı olduğu için giderim prosesi incelenirken öncelikle arıtılan su miktarına karşılık gelen akım değeri ve limit

olarak belirlenen 0,5 mS/cm’ye ulaşana kadar geçen süre incelenmiştir. İletkenlik parametresi açısından limit olarak bir değeri olması bu parametre vasıtasıyla oluşan sudaki iyonik faaliyetlerin yavaşlamasını engellemek amacıyla. Çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. KED prosesiyle arıtılan atıksu başına akım ve süre değışimi (Changes of current and time per treated wastewater with KED process).

Şekil 3 incelendiğinde akım değeri 13. L’ye kadar dalgalanma gösterirken daha sonra düşüş gösteriyor. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus eş zamanlı olarak sürenin artmasıdır. Bu esnadan sonra da arıtım gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Şekil 4’de ise arıtılan atıksuyun arıtma süresi ile konsantre akımda yer alan değışme görülmektedir.



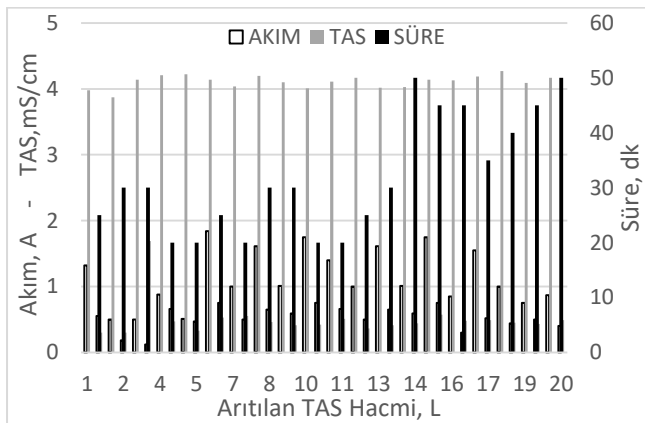
Şekil 4. KED prosesiyle arıtılan atıksu başına süre ve konsantre akım iletkenlik değışimi (Changes of reaction time and reject conductivity per treated wastewater with KED process).

Şekil 4 incelendiğinde ise artan zamana bağlı olarak konsantre akımda oluşan iletkenlik değışimi görülmektedir. Arıtma verimi %90’a ulaştığında çalışma sonlandırılmıştır. Görüleceği üzere 15 L’lik bir atıksuda yer alan kirlenmelerin %90’ı 0,1 L’lik bir konsantre akıma rahatlıkla aktarılabilir. Üstelik bu laboratuvar ortamında yapılmış bir çalışma olarak gerçekleştirilmiştir.

Gerçek ölçekli çalışmalarda bu %0,67'lik konsantrasyon bu oran daha düşük seviyelere indirgeneceği gibi verim artışı da sağlanabilir. Elektrokimyasal arıtım proselerine ekonomik olarak bakıldığında ilk sırada elektrik akımı maliyeti gelir. Bu maliyetin ED proselerinde toplam işletme maliyetine oranı %90 seviyelerinde olduğu bilinmektedir[28]. Bu açıdan bakıldığında bu çalışmada elektrodializ prosesiyle 15 L'lik arıtım sonucunda ≈ 35 kW-h/m³ atıksu seviyelerinde bir elektrik tüketimi olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında ülkemizde 2017 sanayi enerji değerlerine göre $\approx 10,15$ TL/m³ (2,56 €/m³ atıksu olan bir enerji tüketimi görülmektedir[29]. Nitekim bu değerler literatür verileri ile karşılaştırıldığında ortalama olarak 3 kat daha düşük olduğu görülmektedir[30].

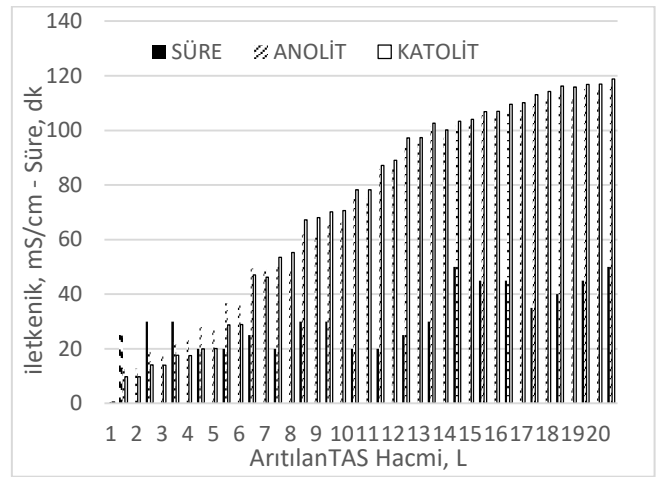
3.2. BMED prosesiyle tekstil atıksuyunun arıtımı (Textile wastewater treatment with BMED)

Çalışmanın bu aşamasında klasik elektrodialize ek olarak bipolar membran ilavesi yapılarak konsantrasyon atıktan asidik ve alkali çözelti oluşumu incelenmiştir. Öncelikle arıtılan atıksuya bağlı olarak TAS giriş iletkenlik değerleri ve akım ve iletkenlik değerleri incelenmiştir. Bununla ilgili veriler Şekil 5'de verilmektedir.



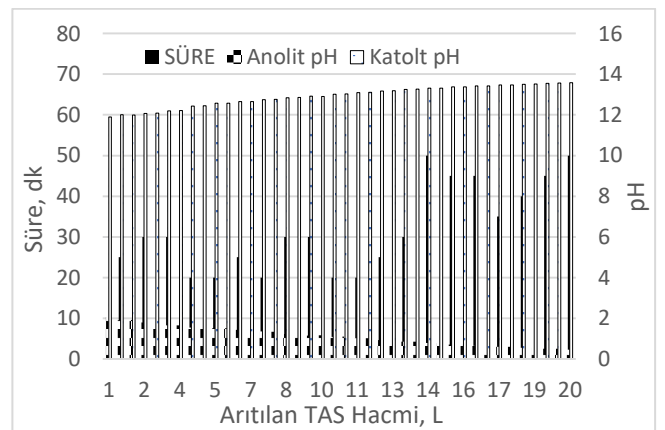
Şekil 5. BMED prosesiyle arıtılan atıksu başına süre, akım değişimi ve giriş TAS iletkenlik değerleri (Changes of reaction time, current and influent TAS concentrations conductivity per treated wastewater with BMED process).

Şekil 5 incelendiğinde arıtılan atıksu hacmine bağlı olarak akım ve süre değişimleri elde edilmektedir. Arıtma süresi 14. L'den sonra artsa da verim yine %90 mertebelerinde olduğu görülmektedir. Üstelik anolit ve katolit olarak adlandırılan kısımlardaki iletkenlik artışı devam etmektedir. Bu iletkenlik artışı Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 2. BMED prosesiyle arıtılan atıksu başına süre değişimi ve anolit - katolit iletkenlik değerleri (Changes of reaction time and anolyte - catholyte conductivity per treated wastewater with BMED process).

Şekil 6 incelendiğinde artan atıksu hacmine bağlı olarak arıtma süresi ve anolit-katolit iletkenlik değerleri verilmektedir. Bu veriler incelendiğinde konsantrasyon akım değerinin %1 seviyelerine düştüğü görülmektedir. Çalışma daha da fazla sürdürülebilir. Özellikle gerçek ölçekli çalışmalarda bu değerler daha da olumlu hale getirilebilir. BMED prosesi, genel mekanizma olarak konsantrasyon akımları (anolit ve katolit) içerikleri nedeniyle karışık asit ve karışık baz çözeltileri olarak da kabul edilebilir. Bu proses vasıtasıyla elde edilen karışık asit ve karışık baz çözeltilerine ilişkin veriler Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 3. BMED prosesiyle arıtılan atıksu başına süre ve anolit - katolit pH değişimi (Changes of reaction time and anolyte - catholyte pH values per treated wastewater with BMED process).

Şekil 7'de dikkat edilmesi gereken en önemli husus pH değerinin başlangıç değerleri 2 ve 12 mertebelerine yakındır. Bunun nedeni başlangıçta konsantrasyon akımlara iletkenlik oluşturacak bir madde ilavesinin gerekliliğidir. Elde edilen asidik ve alkali çözeltilerin safsızlığını önlemek için

sırasıyla anolit ve katolit 0,009 M HCl ve 0,008 M NaOH çözeltisi ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0,32 M H⁺ iyonu ve 0,38M OH⁻ iyonu eldesi sağlanabilmiştir. Bu değerler düşük gibi görünse de başlangıç değerlerine oranla asidik ve alkali çözeltiler sırasıyla (0,32/0,009) 35,6 kat ve (0,38/0,008) 47,5 kat daha yoğun olarak elde edilebilmiştir. BMED prosesinin direkt olarak tekstil atıksuyu ile uygulanmış bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Ters osmoz konsantresine uygulanmış bir çalışma mevcuttur. Bu çalışmada elde edilen verilere göre arıtım sonucunda 0,12M seviyelerinde bir karışık asit çözeltisi elde edilebilmiştir. Benzer şekilde aynı çalışmada 0,18 M'lık karışık baz çözeltisi elde edilmiştir [31]. Bu değerler incelendiğinde yaklaşık 2,1-2,6 kat daha yoğun asit ve baz eldesi sağlanabilmiştir.

3. DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

Çalışmada genel olarak membran proseslerin son dönemde giderek kullanımı artan elektrodializ proseslerinin (KED ver BMED) oluşturduğu konsantre akımın minimizasyonu için bu kısım sabit tutularak arıtımın gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Diğer membran proseslerde oluşan konsantre akımın sistemde geri devri gerçekleştirilmektedir. Fakat bu durumda konsantre akımın söz konusu membranlardan geçemeyerek tıkanma oluşturduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu konsantre akımın geri devri daha olumsuz sonuçlar alınmasına sebep olmaktadır. Oysa elektrodializ prosesinde oluşan konsantre akımın kendi içinde döngü halinde olması hem prosesin işleyişi bakımından hem de artan elektriksel gerilim ile daha olumlu sonuçlar elde edilmesine imkan tanımaktadır. Bu sayede sistemde oluşan iletkenlik artışı eşdeğer elektriksel gerilime bağlı olarak akım değerini arttıracaktır. Ardından akım ile gerçekleşen arıtım verimi artacaktır. Sonuç olarak KED prosesinde konsantre oranı %0.67 (0,1 L konsantre/ 15 L atıksu) ve BMED prosesiyle ise %1'lik (0,2 L kullanılabilir çözelti/20 L atıksu) olacak şekilde arıtım sağlanabilmiştir. Ekonomik açıdan değerlendirme yapılırsa literatür verilerine oranla yaklaşık 3 kat daha ekonomik olan bu yöntemle eş zamanlı olarak ED proseslerine oranla ortalama 10-15 kat daha düşük konsantre hacmi ile karşılaşmıştır. Aynı zamanda başlangıca oranla asidik ve alkali çözeltiler sırasıyla 35,6 ve 47,5 kat daha yoğun hale getirilebilmiştir. Bu açıdan bakıldığında her ne kadar çalışmalar 15 L (KED

Prosesi için) ve 20L (BMED) ile gerçekleştirilmiş olsa da gerçek ölçekli çalışmalarda hem daha düşük oranda bir konsantre oluşumu hem de daha yoğun oranda asidik ve alkali çözeltiler elde edilebileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazar bu çalışmaya proje olarak desteğinden ötürü Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimine teşekkür etmektedir (Proje Numarası: 2014-05-02-GEP02).

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Water Environment Federation, "1.Introduction", *Membrane Systems for Wastewater Treatment*, 1.st ed., New York.Mc.Graw-Hill, 1994, pp. 2-10
- [2] M.E. Malack, N.M. Rahman, "Treatment of refinery wastewater using membrane processes". Editors: K. Mohanty, K. Mihir, K Purkait, *Membrane Technologies and Applications*, 120-129, Boca Raton, New York, CRC Press, 2011, ch.7, pp-121-129.
- [3] Y. Shui, L. Yan, C.B. Xiang, L.J. Hong, "Treatment of oily wastewater by organic-inorganic composite tubular ultrafiltration (UF) membranes", *Desalination*, vol. 196, no. 1-3, pp. 76-83, 2006.
- [4] P. Banerjee, T.K. Dey, S. Sarkar, S. Swarnakar, A. Mukhopadhyay, S. Ghosh, "Treatment of cosmetic effluent in different configuration of ceramic UF membrane based bioreactor : Toxicity evaluation of the untreated and treated wastewater using catfish (*Heteroneuptes fossilis*)", *Chemosphere*, vol.146, pp. 133-144, 2016.
- [5] L. Andrade, A.O. Aguiar, W.L. Pires, L.B. Grossi, M.C.S. Amaral "Comprehensive bench and pilot scale investigation of NF for Gold mining effluent treatment: Membrane performance and fouling control strategies", *Separation and Purification Technologies*, vol. 174, pp. 44-56, 2017.
- [6] J. Escalona, J. Grooth, J. Font, K. Nijmeijer. "Removal of BPA by enzyme polymerization using NF membranes", *Journal of Membrane Sciences*, vol. 468, pp. 192-201, 2014.

- [7] Y. Song, X. Gao, T. Li, C. Gao, J. Zhou, "Improvement of overall water recovery by increasing RNF with recirculation in a NF-RO integrated membrane processes for seawater desalination", *Desalination*, vol. 361, pp. 95-104, 2015.
- [8] X. Ji, E. Curcio, S.A. Obadani, G.D. Profio, E. Fontananova, E. Drioli. "Membrane distillation- crystallization of seawater reverse osmosis brine", *Separation and Purification Technology*, v.71, pp.76-82,2010.
- [9] Guizi Chen, Yinghong Lu, William B. Krantz, Rong Wang, Anthony G. Fane. Optimization of operating conditions for a continuous membrane distillation crystallization process with zero salty water discharge", *Journal of Membrane Science*, vol. 450, pp. 1-11, 2014.
- [10] K. Kimura. H. Hara, Y. Watanabe, "Removal of pharmaceutical compounds by submerged membrane bioreactors (MBR's)", *Desalination*, vol. 178 (1-3),pp. 135-140, 2005.
- [11] W. Tang , N.G.H. Yong. "Concentration of brine by forward osmosis. Performance and influence of membrane structure", *Desalination*, vol 224, pp.143-153, 2008.
- [12] X.Ji, E. Curcio, S.A. Obadani, G.D. Profio, E. Fontananova Drioli E. "Membrane distillation- crystallization of seawater reverse osmosis brine", *Separation and Purification Technoogy*, vol.71, pp 76-82, 2010.
- [13] G. Qin, C.C.K. Liu, N.H. Richman, J.E.T. Moncur. "Agriculture wastewater treatment and reuse by wind-driven reverse osmosis membrane technology: a Pilot Study on CoconutIsland, Hawai." *Agriculture Engineering*, vol. 32, pp. 365-378, 2005.
- [14] C. Kappel, A.J.B. Kemerman, H. Temmink, A. Jwijnenburg, H.H.M. Rjnaarts, K. NJmeijer, "Impacts of NF concentrte recirculation on membrane performance in and integrated MBR and NF membraneprocesses for wastewater treatment", *Journal of Membranne Science*, vol.453, pp.359-368, 2014.
- [15] K.L.M. Soughton, X. Duan, E.M. Wender, "Federal Energy Management Programme, "Reverse Osmosis Optimization". Introduction the reverse osmosis, energy efficiency & renewable energy, pp.1-5,2013.
- [16] A. Giwa, V. Dufour, F. Al Marzooqi, M. Al Kaabi, S.W. Hasan, "Brine management methods : Recent innovations and current status", *Desalination*, vol.407, pp.1-23, 2017.
- [17] Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEMTEK), Endüstriyel atıksu membran teknolojileri ile su/ürün kazanımı ve konsantre yönetimi çalıştayı, 2017.
- [18] Balçık-Canbolat Ç, Ölmez-Hancı T, Şengezer Ç, Şakar H, Karagündüz A, Keskinler B. "Tekstil Endüstrisi Atıksularının NF/RO Hibrit Membran Sistemi ile Arıtımı Sonucu Oluşan NF ve RO Membran Konsantrelerinin Bertarafı", (*MEMTEK*) *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri Çalıştayı*, 2017.
- [19] İmer DY, Altınay AD, Koyucu İ. "Membran Konsantreleri İçin Arıtım Teknolojileri", (*MEMTEK*) *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri Çalıştayı*, 2017.
- [20] Altınay AD, Bitmez M, Aouni A, İmer DY, Hafiani A, Koyuncu İ. "Tekstil Atık Sularının Membran Teknolojiler İle Arıtımı Ve Geri Kullanımı Ve Membran Konsantrelerinin Fiziksel/Kimyasal Metotlar İle Uzaklaştırılması",(*MEMTEK*) *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri Çalıştayı*, 2017.
- [21] United States Environmental Protection Agency(USEPA), "Membrane Separation", *Drinking Water Database*, 2007.
- [22] Voltea, Membrane Capacitivedeionization (CapDI).[Online]. Available: http://voltea.com/wp-content/uploads/2016/03/402D002_Rev01_Tech-Bulletin Technology-Comparison-1.pdf [Accessed: 30.03.2017]
- [23] G. Qin, C.C.K. Liu, N.H. Richman, J.E.T. Moncur. "Agriculture wastewater treatment and reuse by wind-driven reverse osmosis membrane technology: a Pilot study on CoconutIsland, Hawai."

- Agriculture Engineering*, vol. 32, pp. 365-378, 2005.
- [24] F. Ilhan, H.A. Kabuk, Y. Avsar, M.T. Gonullu. "Recovery of mixed acid and base from wastewater with bipolar membrane electrodialysis – a case study", *Desalination and Water Treatment*, vol.57(11), pp. 5165-5173, 2016.
- [25] APHA (American Public Health Association), *Standart Methods for the examination of water&wastewater*, 21. Edition, 2005.
- [26] F. Ilhan, H.A. Kabuk U. Kurt, Y. Avsar, H. Sari, M.T. Gonullu. "Evaluation of treatment and recovery of leachate by bipolar membrane electrodialysis process". *Chemical Engineering and Processing*, vol.75, 67-74, 2014.
- [27] PCcell , PCA Ion Exchange Memb.: Technical Data Sheet, [Online]. Available: <http://www.pca-gmbh.com/publi/PCAMembranes.pdf> . [Accessed: 12.06.2017]
- [28] Malack ME, Rahman MM. Electrodialysis in the food industry. Editors: Peinemann KV, Nunes SP, Ciorno L, Membrane Technology, Volume 3, Membranes for Food Applications, 71-84, Weinheim, Germany, Wiley-VCH, 2010.
- [29] Enerji Enstitüsü, Güncel elektrik tarifesi, <http://enerjienstitusu.com/elektrik-fiyatlari/> (05.05.2017).
- [30] Karagiannis IC, Soldatos PG. "Water desalination cost literature :review and assesment", *Desalination*, 223, 448-456, 2008.
- [31] Yao J, Wen D, Shen J, Wang J. "Zero discharge process for dyeing wastewater treatment", *Journal of Membrane Science*, vol.11, 98-103, 2016.