



Elektrodiyaliz proseslerinden (KED/BMED) kaynaklanan konsantre akımın minimizasyonu ve yönetimi

Management and minimization of concentrated stream from electro dialysis processes (CED/BMED)

Fatih İLHAN^{1*}

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

Geliş Tarihi/Received: 20.03.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 14.06.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.45577

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Membran prosesler içerisinde en önemli dezavantajın konsantre akım olduğu kabul edilmektedir. Sürücü kuvvetin basınç olduğu klasik membran proseslerinde %10-35 boyutlarında bir konsantre akım oluşmaktadır. Benzer şekilde sürücü kuvvetin elektrik akımı olduğu elektrodeiyonizasyon proseslerinde de uygulamada %10 mertebelerinde bir konsantre akım olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada konsantre kısmın yeniden kullanımı üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu sayede klasik elektrodiyaliz ve bipolar membranlı elektrodiyaliz proseslerinde konsantre kısmın sırasıyla %0.5 ve %1 seviyelerine indirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bipolar membranlı elektrodiyaliz prosesinde konsantre akımın asidik ve alkali çözeltiler olduğu düşünülürse asidik ve alkali çözeltilerin yoğunlaştırılması sağlanmıştır. Sonuç olarak kirletici iyon 0.01 M H⁺ ve 0.01 M OH⁻ iyon konsantrasyonlarında yapılan asit yoğunlaştırma işlemi sonucunda yaklaşık 0.72 M H⁺ iyon konsantrasyonuna ulaşılabilmiştir. Benzer şekilde OH⁻ iyon konsantrasyonu da 0.5 M mertebelerine kadar ilerletilmiştir. Bu şekilde eş zamanlı olarak membran proseslerde karşılaşılan en önemli problemlerden olan konsantre kısmın minimizasyonu sağlanmıştır. Ayrıca eş zamanlı olarak oldukça yoğun asidik ve alkali çözeltiler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Konsantre akım, Konsantre minimizasyonu, Elektrodiyaliz, Bipolar membranlı elektrodiyaliz

Abstract

The most significant disadvantage of membrane processes is considered to be concentrated flow. In classical membrane processes where the driving force is pressure, a concentrated flow of 10-35% occurs. Similarly, in electrodeionization processes, where the driving force is electricity current, a concentrated flow of 10% is known to occur in practice. In this paper, studies were conducted on the reutilization of the concentrated part. Thus, the concentrated part was reduced to 0.5% and 1% in the classical electro dialysis and bipolar membrane electro dialysis processes, respectively. Furthermore, considering that the concentrated flow in the process is acidic and alkaline solutions, these solutions were concentrated. In consequence of the acid concentration process carried out in relation to the contaminant ion 0.01 M H⁺ and 0.01 M OH⁻ ion concentrations, an ion concentration of 0.72 M H⁺ could be achieved. Similarly, OH⁻ ion concentration rose to 0.5M. Thus, minimization of the concentrated part, one of the most important problems encountered in membrane processes, could be ensured simultaneously. Moreover, quite acidic and alkaline solutions were obtained simultaneously.

Keywords: Concentrated stream, Concentrated minimization, Electro dialysis, Bipolar membrane electro dialysis

1 Giriş

Membran prosesler geniş kullanım alanı ve etkin giderim verimleri nedeniyle özellikle son 10 yılda en çok kullanılan arıtım yöntemleri arasındadır ve giderek de popülaritesi artmaktadır [1]. Gerek içme suyu eldesi ve gerekse atıksu arıtımında günümüzde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir [2]-[7]. Önemli avantajlarına rağmen oluşturdukları konsantre akım bu prosesin en önemli dezavantajıdır. Sürücü kuvveti basınç olan klasik membran proseslerinde (mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (TO)) yaklaşık %10-45 oranında konsantre akım olduğu bilinmektedir [8]-[12]. Deniz suyu gibi yüksek iletkenlik içeren sulara bu akım seviyesi %45'lere kadar çıktığı bilinmektedir [13]. Özellikle yüksek debili tesislerde oluşan konsantre akımın bertarafı oldukça güç olmaktadır [14]. Nitekim yalnızca deniz suyu tuzsuzlaştırma işlemine baktığımızda 2011 yılında günde 7.5 milyon m³ deniz suyundan içme suyu eldesinde membran proseslerinin yer aldığı görülmektedir ve bu değer giderek artan bir grafiğe sahiptir [15]. Konsantre akım diye nitelendirilen kısımda kirleticilerin de yoğunlaştığı düşünüldüğünde bertaraf zorluğu görülmektedir [16],[17]. Membran konsantresinin

yönetiminde tercih edilen yöntemlerden biri de konsantre akımın tekrar girişe verilmesidir [18]. Bu durumda giderilmesi istenen parametreler artılmayıp, sürekli geri devir yapıldığında kısa süre sonra mevcut tesise gelen kirletici yük önemli ölçüde artmaktadır. Bu durumda da tesis kirletici yükü taşımakta zorluklar çekmektedir [19]. Bu nedenle konsantre akım minimizasyonu ve yönetimi oldukça büyük öneme sahiptir.

Membranların oluşturduğu konsantre minimizasyonu ve yönetimi ile ilgili son zamanlarda önem kazanmaktadır [20]. Öyle ki günümüzde bu konu hakkında ülkemizde bir çalıştay dahi düzenlenmiştir. Bu çalıştayda konsantre akım yönetiminin membran prosesler içinde en önemli sorun olduğu husus altı çizilmektedir [21]. Yine yapılan çalışmalar dikkate alındığında minimizasyondan çok arıtım üzerine çalışmalar gerçekleştirildiği görülmektedir [22]-[24].

Sürücü kuvvetin elektrik akımı olduğu membran proseslerde de (klasik elektrodiyaliz (KED), bipolar membran elektrodiyaliz (BMED) ve membran kapasitif deiyonizasyon (MKDI)) %10 mertebelerinde bir konsantre akım olduğu bilinmektedir [25]-[26].

Elektrodeiyonizasyon prosesini, diğer membran proseslerden ayıran en önemli faktör, membranlar içerisinde taşınan kısmın kirleticiler ortamda kalıp, membran gözeneginden suyun geçmesi beklenirken, bu proseste tam tersi işlem gerçekleşmektedir. Bu da, kirleticilerin yalnızca membrandan geçen iyonik türler olduğunu göstermektedir [28]. Membranın diğer tarafına konulan sıvının içerisine bu kirleticilerin geçişi sağlanır. İlave edilen sıvı çözeltinin hacminin düşürülmesi ile daha düşük bir konsantrasyona akım oluşumu beklenbilir. Elektrodiyaliz proseslerinde konsantrasyona akım için kullanılan sıvıların tekrar tekrar kullanımı ile konsantrasyonun minimizasyonu sağlanabilir. Bu durum, iki şekilde prosesi etkileyecektir. Bunlardan ilki negatif etki olup sürekli aynı sıvı kullanılarak içindeki kirleticilerin yoğunlaşmasıyla konsantrasyonun artması ve giriş çözeltisi arasındaki osmotik basınç farkıdır. Bu etkinin sonucunda giderek yoğunlaşan konsantrasyondan giriş çözeltisine geçiş baskısı oluşacaktır. İkinci etki ise pozitif bir katkı olarak artan iletkenlik değeri aynı elektriksel gerilime (V) karşılık akım (A) değeri artmasıdır. Bu sayede daha yoğun bir elektriksel kuvvet ortaya çıkmış olacaktır. Bu iki karşılıklı etkinin hangi noktaya kadar ne şekilde etki ettiğinin incelenmesi konsantrasyonun minimizasyonu ve yönetimi açısından önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada elektrodiyalize yönelik türlerin giderimi için tuzlu su çözeltisi hazırlanmıştır. Buna ilave olarak tuzlu su çözeltisinin deiyonizasyonu ile oluşan konsantrasyonun minimizasyonu hem de yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmadaki temel amaç membran proseslerin kullanımında ortaya çıkan yoğun konsantrasyonun tekrar tekrar kullanılarak minimize edilmesidir. Bilindiği üzere membran prosesleri kullanımı esnasında ortalama %10-35 mertebelerine yoğun bir kirlilik oluşmaktadır [8]. Bu rakam özellikle büyük ölçüde debi içeren suların membran prosesleri ile arıtımını oldukça zor hale getirmektedir.

2 Materyal ve metotlar

2.1 Analizler

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar Merck marka olarak kullanılmıştır. Benzer şekilde analizler de standart metotlara göre gerçekleştirilmiştir (SM 4500 H⁺, 2510 B) [29]. Besleme çözeltisi olarak Sigma Aldrich marka %99.5 safılıkta 2g/L'lik 1 L NaCl (tuzlu su) çözeltisi kullanılmıştır. Konsantrasyon kısma ise klasik elektrodiyaliz çalışmalarında giriş iletkenliğini sağlamak için yine aynı kimyasaldan hazırlanan 0.2 g/L'lik 0.1 L'lik bir NaCl çözeltisi eklenmiştir. Benzer şekilde BMED çözeltisine de girişte yine 2 gr/L'lik tuzlu su çözeltisi ilavesi ile çalışmalar sürdürülmüştür. Yalnız BMED prosesinde elde edilecek asidik ve alkali çözeltilerin yüksek kalitede olması için sırasıyla 0.01 M HCl ve 0.01 M NaOH ilave edilmiştir. Tüm bu ilavelerin nedeni elektrodiyaliz işleminin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan başlangıç iletkenliğinin sağlanmasıdır.

2.2 Kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Bu çalışmada analizler için Hach Lange marka HQ40D model bir multimetre kullanılmıştır. Ayrıca ED çalışmalar için ise PCCell Marka ED64-4 model bir elektrodiyalizör ve bir de yine PCCell marka BMED1-3 model bir besleme düzeneği kullanılmıştır. İlgili düzeneğe ve kullanılan membranlara ilişkin detaylı bilgiler ve şematik görünümlemleri sırasıyla Tablo 1, Tablo 2, Şekil 1 ve 2'de verilmiştir [30]-[31].

Klasik elektrodiyaliz prosesine ek olarak bipolar membranlar da ilave edildiğinde söz konusu suyun elektrolizi gerçekleştirilerek H⁺ ve OH⁻ iyonlarının oluşumu sağlanmaktadır [17]. Eş zamanlı olarak aynı bölmeye giren Cl⁻ ve Na⁺ iyonları ile de asidik ve alkali oluşumu gerçekleşmektedir. Bu prosese ilişkin şematik görünüm ise Şekil 2'de verilmektedir.

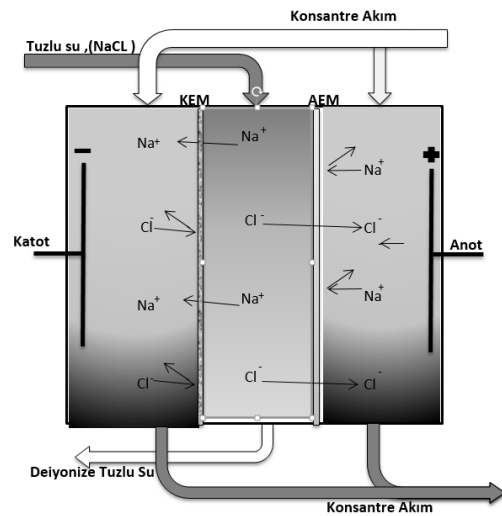
Tablo 1'de yer alan özelliklerde yer alan ED 64 e ilave edilen bipolar membranlar ile gerçekleştirilen çalışmalarda en önemli amaç konsantrasyonun asidik ve alkali çözeltilere dönüştürülmesidir. Öyle ki bu amaçla tuzlu suyun yoğun olarak bulunduğu dünyada içme suyu sağlamak için bile kullanılabilir. Bu amaçla elde edilen konsantrasyon ne kadar yoğun olursa o kadar yüksek konsantrasyonlara ulaşılabilir.

Tablo 1: Elektrodiyalizörün temel özellikleri.

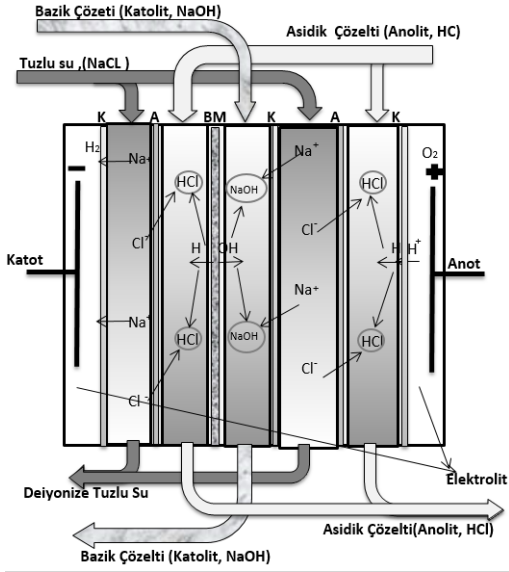
Özellik	ED-64-4	BMED 1-3
Membran ölçüleri	110 mm x 110 mm	-
Etkin Membran Alanı	64 mm (her membran)	-
Hücre Kalınlığı	0.5 mm	-
Debi	4-8 L/sa.	Maks.1500L/sa.
Maks. Elektriksel gerilim	30 V	24 V
Maks. Akım	5 A	5A
Cihaz malz.	PE	PP, PE
Maks. pompalama yük.	-	4.2 m
Boyut	165x150x190 mm ³	825x380x410 mm ³
Ağırlık	3 kg	28 kg

Tablo 2: Elektrodiyalizörde kullanılan membranların temel özellikleri.

Özellik	A-K (Anyon Katyon Seçici Membran)	BM(Bipolar Membran)
Transfer Numarası	> 0.95	> 0.91
Direnç (Ω.cm)	~1.8-2.5	~2
Su İçeriği (%)	~9-14	~40
Maks. İşletme Sıcaklığı (C°)	50-60	40
Kalınlık (µm)	160-220	180-220
Su ayırma verimi (%)	-	> 95



Şekil 1: KED prosesinin genel mekanizması.

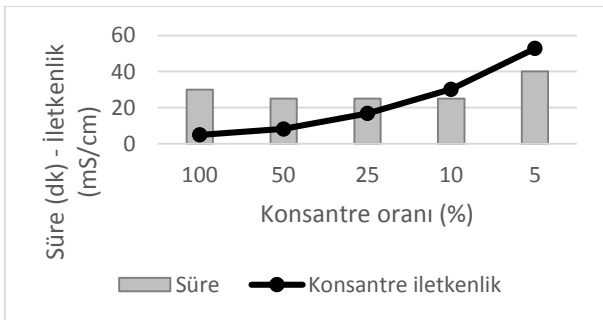


Şekil 2: BMED prosesinin genel mekanizması.

3 Sonuçlar ve tartışma

3.1 Hacim minimizasyonu

Elektrodiyaliz prosesi en genel tabirle, kirlenmiş iyonların taşınımı ile gideriminin sağlandığı bir prosedir. Kullanılan anot ve katot ile iyonların geçişi esnasında oluşan sirkülasyonundan etkilenmektedir. Bu nedenle arada anyon ve katyon seçici membranların kullanılmaktadır. Bu şekilde iyonların taşınımı ile giderim sağlanmaktadır [32]. Şekil 1'de görülen temel mekanizmada olduğu gibi iyonların farklı alanlara taşınımı ile deiyonize su eldesi sağlanabilmektedir. Yani arıtmadan ziyade kirlenmişlerin daha yoğun hale dönüşümü sağlanmaktadır. Bu amaçla çalışmada ilk olarak konsantre akımın minimizasyonu ile başlanmıştır. Şekil 1'de verilen klasik elektrodiyaliz prosesi ile yapılan çalışmada ilk olarak 1 L tuzlu suya 1 L konsantre akım oluşturacak sıvı ilavesi yapılmıştır. Akabinde hedef olarak belirlediğimiz 0.5 mS/cm değerine ulaşana kadar elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmektedir.



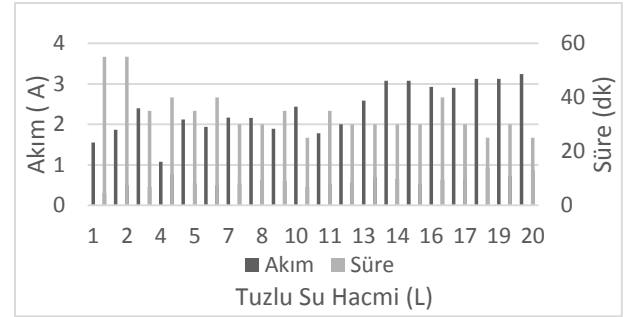
Şekil 3: KED prosesinde konsantre hacmin azaltılmasının konsantre iletkenliği ve sürenin değişimi üzerine olan etkisi.

Şekil 3'te verildiği gibi konsantre akım hacmi 1 L'lik tuzlu su için farklı oranlarda konsantre akım ilavesi yapılarak konsantre miktarının %5 seviyelerine kadar indirgenebileceği görülmüştür. Bu çalışmadaki temel amaç konsantre minimizasyonudur. Nitekim elde edilen sonuçlar incelendiğinde konsantre hacminin %5 (2 L Tuzlu su, 0.1 L konsantre akım) mertebelerine kadar azaltıldığı görülmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise bu konsantre

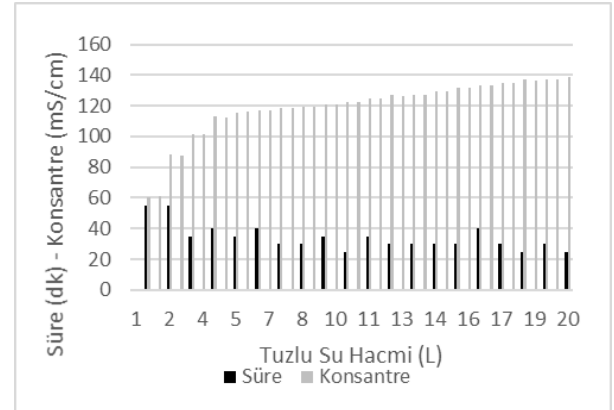
akımın tekrar tekrar kullanılarak yoğunlaştırılması amaçlanmıştır. Bu sayede konsantre akım oldukça minimize hale gelirken eş zamanlı olarak elektron taşınımını etkileyen iletkenlik parametresinin artışı da sürenin kısalmasını sağlamaktadır.

3.2 Sabit hacimle konsantre minimizasyonu

Çalışmanın bu aşamasında kullanılan konsantre akım sabit tutularak ne kadar fazla su arıtılabileceği ve bu sayede konsantre miktarının ne kadar azaltılabileceği anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu sayede söz konusu konsantre akımın bir hayli azaltılabileceği öngörülmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmaya ilişkin sonuçlar Şekil 4 ve 5'te verilmektedir.



Şekil 4: KED prosesinde hacim arttıkça akım ve süre değişimi.



Şekil 5: Tuzlu su hacmine bağlı olarak KED prosesinde arıtım süresi ve konsantre akım iletkenlik değişimi.

Şekil 4'te görüldüğü gibi tuzlu su hacmi arttıkça genel olarak akımda belli bir artış, arıtma süresinde ise belli bir azalma görülmektedir. Bu akım ve süre arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır. Daha da önemlisi 20L'lik bir tuzlu su yalnızca 0.1 L'lik konsantre ile arıtılabilmektedir. Yani temel olarak konsantre akım %0.5'in altına indirgenebileceği görülmektedir. Öyle ki bu çalışmada kullanılan laboratuvar ölçekli çalışmada kısıtlı bir güç kaynağı ile çalışılmıştır. Büyük ölçekli tesislerde daha iyi sonuçlar alınması mümkündür [33].

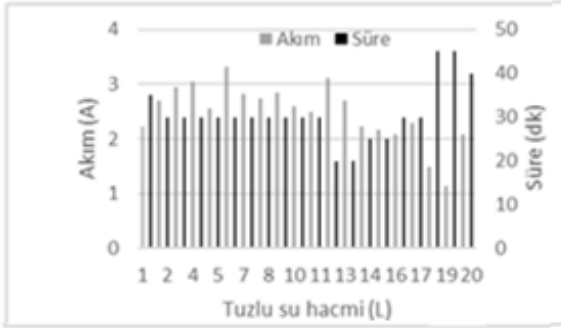
Şekil 5'te de görüldüğü gibi artan tuzlu su hacmine paralel olarak konsantre akım değeri yoğunlaşıyor. Yine artan iletkenliğe eş olarak arıtım süresinde giderek azalıyor.

Sonuç olarak elektrodiyaliz prosesi ile etkin bir biçimde iyon giderimi sağlanırken bir membran prosesi olmasına rağmen %0.5 mertebelerine kadar konsantre akım minimizasyonu sağlanabilmektedir. Bu değer klasik membran proseslerine oranla oldukça düşüktür (Ort. 20-50 kat) [8]-[12]. Benzer şekilde elektrodiyaliz prosesleri içinde oldukça düşüktür (Ort. 20 kat) [25],[26].

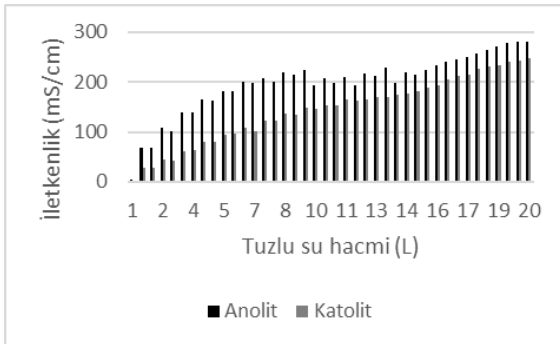
3.3 Bipolar membranlı elektrodializ prosesiyle asit-baz eldesinin yoğunlaştırılması

BMED prosesi giderim mekanizması gereği anot ve katot ile birlikte bir elektriksel transfer oluşturulmaktadır. Bu transferler iyonik türlerin anyon ve katyon seçici membranlar vasıtasıyla uygun kısma doğru hareketiyle sağlanmaktadır. Saf niteliğe sahip olduğu söylenebilen NaCl çözeltisinin asit/baz çözeltilerine dönüştürülebilmesi bu proses yardımıyla mümkün olabilmektedir [34]. Çalışmanın bu aşamasında da bir önceki çalışmaya paralel olarak yine artan tuzlu su hacmine karşılık sabit oranda anolit ve katolit ilavesi yapılmıştır. En önemli farklılık anolit ve katolit kısmına elde edilecek asit (HCl) ve bazın (NaOH) saf olması için ve anolit ve katolitin suda elektrik akımına katkı sağlaması için 0.01 M (HCl ve NaOH) ilave edilerek çalışma başlatılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler Şekil 6, 7 ve 8'de verilmektedir.

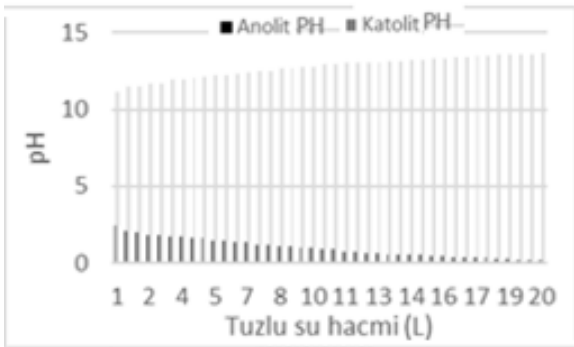
İlk olarak artan su hacmi ne bağlı olarak akım ve süre değişimine ilişkin veriler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Tuzlu su hacmine bağlı olarak BMED prosesinde arıtım süresi ve konsantrasyon akım değişimi.



Şekil 7: BMED ile yapılan çalışmada anolit ve katolit için iletkenlik değişimi.



Şekil 8: BMED ile arıtılan tuzlu suyun kirleticilerinden elde edilen asit ve baz değerleri.

Şekil 6'da dikkat edilecek olan husus zamana bağlı olarak akım değerlerinde artma eğilimi 12.L'den sonra kısmen azalma gösterirken eş zamanlı olarak arıtım süresindeki artıştır. Bunun temel nedeni arıtımın birinci dereceden akımla ilişkisi olduğudur. Her seferinde arıtım süresince membranlar sabit olduğu için bir tıkanma olma olayı muhtemeldir. Yalnız bu membranlar ile anolit ve katolit bölmesinde yer alan toplam %1'lik bir konsantrasyon kısmı elde edilmiştir. Bu değer hem klasik membran proseslere oranla hem de elektrodializ proseslerine oranla oldukça düşük seviyelerdedir (10-25 kat)[8]-[12], [25], [26]. Bu konsantrasyon asidik ve alkali çözeltiler olduğu unutulmamalıdır. Elde edilen asidik ve alkali çözeltilere ilişkin veriler de Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi ilk çalışmada başlangıç iletkenliğinin sağlanabilmesi için ve olası safsızlığı önlemek amacıyla çok düşük ölçekte bir asit-baz ilavesi yapılmıştır. Bu amaçla sırasıyla HCl (0.004 M) ve NaOH (0.002 M) ilavesi yapılmıştır. Bu nedene ilk çalışmanın başlangıç değeri oldukça düşüktür. Lâkin tuzlu su hacmi arttıkça anolit ve katolit değerlerini büyük ölçüde değiştirdiği görülmektedir. Bunun nedeni tuzlu su arttıkça içerdiği Na ve Cl tuzunun bipolar membran vasıtasıyla NaOH ve HCl'ye dönüşmüş olmasıdır. Elde edilen asidik ve alkali çözeltilerin pH değerleri ise Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde 0.5 M OH⁻, 0.69 M H⁺ iyonu elde edildiği görülmektedir. Nitekim başlangıç pH değerleri göz önüne alındığında sırasıyla 250 kat ve 172.5 kat yoğunlaştırılmıştır. Grafikte çok büyük değişiklikler olabileceği düşünülerek molar konsantrasyon olarak verilmeyip pH olarak verilmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus eş zamanlı olarak hem deiyonizasyon hem de %1 oranının da kullanılabilir konsantrasyon elde edilmesidir.

Elektrokimyasal arıtım ekonomik açıdan değerlendirildiğinde en önemli husus elektrik maliyetidir. Bu maliyetin ED prosesinde toplam maliyetine oranla %90'ın üstünde olduğu bilinmektedir [35]. Bu husus dikkate alındığında ilgili prosesin 20L'lik arıtım sonucunda yapılan değerlendirmeler neticesinde ≈21 kW-h/m³ su tüketimi olduğu görülmektedir. Bu da ülkemiz 2017 sanayi verileri dikkate alındığında ≈6.09 TL/m³ (1.58 €/m³ tuzlu su olarak karşımıza çıkmaktadır [36]. Bu değerler literatür verileri ile karşılaştırıldığında (ortalama 5 kat daha) düşüktür [37].

4 Değerlendirme ve yorum

Bu çalışma ile mevcut membran proseslerinin en büyük problemi olan konsantrasyon kısmının hem minimizasyonu hem de kullanılabilir yan ürünlere dönüştürülebilirliği incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında membran proseslerden olan elektrodializ prosesinde oluşan konsantrasyon hacminin minimizasyonu sağlanmıştır. Bu aşamadan konsantrasyon kısmı azaltılarak mevcut konsantrasyon kısmı %5'lere indirgenmiştir. Akabinde bu konsantrasyon kısmı tekrar tekrar kullanılarak konsantrasyon kısmı %0.5 mertebelerine kadar indirgenmiştir. Bu çalışma ile mevcut membran proseslerinin ortalama 40-50 kat daha düşük hacimlerde oluştuğu gözlerden kaçmamaktadır. Benzer şekilde bipolar membranlı elektrodializ prosesinde de deiyonizasyonu gerçekleştiren %0.5'lik anolit ve katolitler asidik ve alkali çözeltiler olarak faydalı bir ürüne dönüştürülmüştür. Nitekim başlangıç iletkenliğini sağlamak için ilave edilen asit ve baz yoğunlaştırılması sırasıyla 172.5 ve 250 kat olarak elde edilmiştir. Yani yaklaşık olarak 0.7 M'lık asit eldesi, 0.5 M'lık da baz eldesi sağlanması mümkündür. Bu çalışma daha uzun sürdürülebilir. Yalnız membran

yüzeylerinde oluşan kirliliğin temizlenmesi gerekir. Bu arada anolit ve katolit bölgesinde yer alan yüksek iletkenlik içeren sıvı olumsuz ve olumlu iki açıdan etkilidir. Olumsuz etki iyonların taşınımı esnasında oluşan ozmotik basınçtan kaynaklanan iyonların taşınım zorluğu iken olumlu etki ise eş zamanlı olarak anolit ve katolit bölgesinde oluşan iletkenlik artışı da ortamda yer alan elektron taşınımını artırmaktadır. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri arıtım süresinin gözle görünür bir şekilde artması sonrası membran temizliğini yapılması gerekliliğidir. Ayrıca bu değerler laboratuvar ortamında sınırlı akım ile çalışan bir elektrodializör ile gerçekleştirilmiştir. Büyük tesislerde daha yüksek akımlar ile çalışıldığında daha yüksek verimler elde edilmesi beklenmektedir.

5 Teşekkür

Yazar, bu çalışmaya proje olarak desteğinden ötürü Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü birimine teşekkür etmektedir (Proje No.lu: 2014-05-02-GEP02).

6 Kaynaklar

- [1] Malack ME, Rahman MM. *Treatment of Refinery Wastewater Using Membrane Processes*. Editors: Mohanty K, Mihir K, Purkait, Membrane Technologies and Applications, 120-129, Boca Raton, NY, USA, CRC Press, 2011.
- [2] Lipp P, Witter M, Baldauf G, Povorov AA, "Treatment of reservoir with a backwashable MF/UF spiral wound Membranes". *Desalination*, 179(1-3), 83-95, 2005.
- [3] Shui Y, Yan L, Xiang CB, Hong LJ, "Treatment of oily wastewater by organic-inorganic composite tubular ultrafiltration (UF) membranes". *Desalination*, 196(1-3), 76-83, 2006.
- [4] Banerjee P, Dey TK, Sarkar S, Swarnakar S, Mukhopadhyay A, Ghosh S. "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*, 146, 133-144, 2016.
- [5] Andrade L, Aguiar AO, Pires WL, Grossi LB, Amaral MCS. "Comprehensive bench and pilot scale investigation of NF for Gold mining effluent treatment: Membrane performance and fouling control strategies". *Separation and Purification Technologies*, 174, 44-56, 2017.
- [6] Escalona J, Grooth J, Font J, Nijmeijer K. "Removal of BPA by enzyme polymerization using NF membranes". *Journal of Membrane Sciences*, 468, 192-201, 2014.
- [7] Song Y, Gao X, Li T, Gao C, Zhou J. "Improvement of overall water recovery by increasing RNF with recirculation in a NF-RO integrated membrane processes for seawater desalination". *Desalination*, 361, 95-104, 2015.
- [8] Tang W, Yong NG H. "Concentration of brine by forward osmosis. Performance and influence of membrane structure". *Desalination*, 224, 143-153, 2008.
- [9] Australian Water Recycling Centre of Excellence. "Australian Meat Processor Corporation Reverse Osmosis Brine Management". http://www.australianwaterrecycling.com.au/literature_144753/RO_brine_management, (15.03.2017).
- [10] Ji X, Curcio E, Obadani SA, Profio GD, Fontananova E, Drioli E. "Membrane distillation-crystallization of seawater reverse osmosis brine". *Separation and Purification Technology*, 71, 76-82, 2010.
- [11] Qin G, Liu CCK, Richman NH, Moncur JET. "Agriculture wastewater treatment and Reuse by wind-driven reverse osmosis membrane technology: A Pilot Study on Coconut Island, Hawaii". *Agriculture Engineering*, 32, 365-378, 2005.
- [12] Eriksson P, Kyburz M, Pergande W. "NF Membrane characteristics and Evaluation for Seawater Applications" *Desalination*, 184, 281-294, 2005.
- [13] Ladewig B, Asquith B. *Characteristic of Membrane Concentrate*. Editors: Ladewig B, Asquith B. *Desalination Concentrate Management*, 5-15, Berlin, Germany, Springer, 2011
- [14] Water Reuse Association. "Seawater Concentrate Management". *Desalination Committee*. White paper, 1-38, 2011.
- [15] Voutchkov N, Seiat R. *Seawater Desalination*. Editors: Li NN, Fane AG, Ho WSW, Matsumoro T. *Advanced Membrane Technology and Applications*, 47-86, Wiley Online Library, 2008.
- [16] Gonzales AP, Urtega AM, Ibanez R, Ortiz I. "State of the art and review on the treatment technology of water reverse osmosis concentrate". *Water Research*, 46(2), 267-283, 2012.
- [17] Xu T, Huang C. "Electrodialysis-Based separation technologies: A critical review". *Separation and Purification Technology*, 54(12), 3147-3159, 2008.
- [18] Kappel C, Kemerman AJB, Temmink H, Jwijnenburg A, Rijnaarts HHM, Nijmeijer K. "Impacts of NF concentrate recirculation on membrane performance in an integrated MBR and NF membrane processes for wastewater treatment". *Journal of Membrane Science*, 453, 359-368, 2014.
- [19] Stoughton KLM, Duan X, Wender EM. "Reverse Osmosis Optimization". 1. Introduction the reverse osmosis, US Department of Energy, Washington, USA, PNNL-22682, 2013.
- [20] Giwa A, Dufour V, Al Marzooqi F, Al Kaabi M, Hasan SW. "Brine management methods: Recent innovations and current status". *Desalination*, 407, 1-23, 2017.
- [21] Unal S, Koyuncu I, "Önsöz", *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri İle Su/Ürün Kazanımı ve Konsantrasyon Yönetimi Çalıştayı*, (Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi) MEMTEK, İstanbul, Türkiye, 19 Nisan 2017.
- [22] 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 konsantrasyonlarının bertarafı". (*Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi*) MEMTEK, *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri ile Su/Ürün Kazanımı ve Konsantrasyon Yönetimi Çalıştayı*, İstanbul, Türkiye, 19 Nisan 2017.
- [23] İmer DY, Altınay AD, Koyucu İ. "Membran konsantrasyonları için arıtım teknolojileri". (*Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi*) MEMTEK, *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri ile Su/Ürün Kazanımı ve Konsantrasyon Yönetimi Çalıştayı*, İstanbul, Türkiye, 19 Nisan 2017.

- [24] Altınay AD, Bitmez M, Aouni A, İmer DY, Hafiani A, Koyuncu İ. "Tekstil atık sularının membran teknolojiler ile arıtımı ve geri kullanımı ve membran konsantrelerinin fiziksel/kimyasal metotlar ile uzaklaştırılması". (*Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi MEMTEK*), *Endüstriyel Atıksu Membran Teknolojileri ile Su/Ürün Kazanımı ve Konsantr Yönetimi Çalıştayı*, 19 Nisan 2017.
- [25] United States Environmental Protection Agency(USEPA), "Membrane Sepertion". Drinking Water Database, 2007.
- [26] Voltea. "Membrane Capacitivedeionization (CapDI)" http://voltea.com/wp-content/uploads/2016/03/402D002_Rev01_Tech-Bulletin_Technology-Comparison-1.pdf, (15.03.2017).
- [27] Ilhan F, Guvenc SY, Avsar Y, Kurt U, Gonullu MT. "Optimization of treatment leachates from young, middle aged and elderly landfils with bipolar membrane electro dialysis". *Environmental Technology*, 38(21), 2733-2742, 2017.
- [28] Ilhan F, Kabuk HA, Avsar Y, Gonullu MT. "Recovery of Mixed Acid and Base from Wastewater with bipolar Membrane Electrodialysis-a Case Study". *Desalination and Water Treatent*, 57(11), 5165-5173, 2016.
- [29] American Puplic Health Association. Standart Methods fort the examination of water&wastewater, 21. Ed. "SM-2510, Conductivity", Washington, USA, 2005.
- [30] Ilhan F, Kabuk H A, Kurt U, Avsar Y, Sari H, Gonullu MT. "Evaluation of treatment and recovery of leachate by bipolar membrane electro dialysis process". *Chemical Engineering and Processing*, 75, 67-74, 2014.
- [31] PCCell, "PCA Ion Exchange Memb.: Technical Data Sheet", <http://www.pca-gmbh.com/publi/PCAMembranes.pdf>. (02.05.2017)
- [32] AM Bernardes, MAS Rodrigues, JZ Ferreira. *General Aspects of Electrodialysis*. Editors: AM Bernardes, MAS Rodrigues, JZ Ferreira. *Electrodialysis and Water Reuse: Novel Aproache*, Chapter 3, 11-24, Germany, Springer, 2014.
- [33] Shen J, Huang J, Liu L, Ye W, Lin J, Bruggen VB. "The use of BMED for glyphosate from glyphosate neutralization liquor in view of zero discharge". *Journal of Hazardous Materials*, 260, 660-667, 2013.
- [34] Winniewska J, Winniewski, Winnicki T. "Aplication of bipolar eectrodialysis to the recovery of acids and bases from water solutions". *Desalination*, 169, 11-20, 2004.
- [35] 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.
- [36] Enerji Enstitüsü. "Güncel Elektrik Tarifesi". <http://enerjienstitusu.com/elektrik-fiyatlari/> (05.05.2017).
- [37] Karagiannis IC, Soldatos PG. "Water desalination cost literatüre: Review and assesment". *Desalination*, 223, 448-456, 2008.