



HALI BOYAMA ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLERİ İLE ARITIMI

Gökşen ÇAPAR¹, Ülkü YETİŞ¹ ve Levent YILMAZ²

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İnönü Bulvarı, 06531, Ankara

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İnönü Bulvarı, 06531, Ankara

E-posta: g.capar@imperial.ac.uk, uyetis@metu.edu.tr, lyilmaz@metu.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, bir halı fabrikasına ait baskı ve asit boyama atıksularının arıtımı ve geri kazanımına yönelik, en uygun membran proses süreçleri araştırılmıştır. Baskı boyama (BB) atıksuları, ilk olarak; ön-arıtmaya tabi tutulmuş, alum ile kimyasal çöktürme işlemi uygulanmıştır. Optimum doz olarak belirlenen 150 mg/l'de, % 91 oranında renk ve bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Daha sonra, bu atıksu için, nanofiltrasyon (NF) ve moleküler ağırlık ayırma sınırı (MAAS) 1000-50000 Da arasında değişen bir dizi ultrafiltrasyon (UF) membranı denenmiştir. Renk ve bulanıklıkta bütün membranlarla % 90'nın üzerinde giderim sağlanabilirken, benzer yüksek giderimler KOİ'de sağlanamamıştır. NF membranı ile, 490 kPa'lık basınç farkı altında % 99.5 oranında KOİ giderimi sağlanırken, UF membranları ile en çok % 25 giderime ulaşılabilmektedir. Akı azalmaları ise NF prosesinde % 23 iken, UF'te % 11-35 arasında değişmiştir. Diğer yandan, asit boyama (AB) atıksuları için en uygun ön-arıtma işleminin mikrofiltrasyon (MF) olduğu belirlenmiştir. Düz akış düzeninde gerçekleştirilen bu işlemde, % 82 renk ve % 77 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Daha sonra uygulanan NF prosesinde ise BB atıksuyu ile elde edilen yüksek giderimlere ulaşılamamıştır. Renk ve bulanıklık için sırasıyla, % 100 ve % 78 giderim sağlanmakla birlikte; KOİ giderimi % 59'da kalmıştır. Akı azalması ise % 19 olarak gözlenmiştir. Elde edilen süzüntü suyunun geri kazanım kriterlerini sağlamaması nedeniyle, ikinci ve üçüncü kademe NF işlemleri uygulanmış ve % 94 KOİ giderimi sağlanmıştır. Uygulama açısından daha pratik bir çözüm arayışı ile, AB boyama atıksularında pH ayarlamasına gidilmiş ve 4.73 olan atıksu pH'sı nötralize edildiğinde tek aşamalı NF prosesi ile % 97 KOİ giderimine ulaşılmıştır. Her iki atıksu için de nötr pH'da yüksek giderimlerin elde edilmesi, pH'nın NF için önemli bir proses parametresi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit boyama, atıksu, baskı, mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon

TREATMENT OF CARPET DYEING WASTEWATERS BY MEMBRANE PROCESSES

Abstract: In this study, the most appropriate membrane process trains were developed for the treatment and recovery of the print and acid dyeing wastewaters of a carpet manufacturing industry. The print dyeing wastewaters were first subjected to pre-treatment in order to avoid the clogging of the membranes and alum precipitation was applied. An optimum alum dose of 150 mg/l provided 91 % color and turbidity removals. Then, nanofiltration (NF) and ultrafiltration (UF) membranes with molecular weight cut off (MWCO) varying between 1000-50000 Da were tested. All the membranes provided color and turbidity removals higher than 90 %, however their performances differed for COD. NF membranes achieved a COD removal of 99.5 % at a pressure difference of 490 kPa, whereas the UF ones achieved only 25 % at most. The flux decline was 23 % for NF and varied between 11-35 % for UF. The best pre-treatment for acid dyeing wastewater was realized to be microfiltration (MF). Color and turbidity removals of 82 % and 77 % were provided by dead-end mode of filtration. The high removal efficiency obtained by NF for print dyeing wastewater could not be reached for the acid dyeing wastewater. Although color and turbidity removals were 100 % and 78 %, respectively; COD was only removed by 59 %, and the flux decline was 19 %. In order to meet the reuse criteria, second and third NF stages were applied, yielding a total COD removal of 94 %. In searching for a more practical solution, the pH adjustment was tested. When the original wastewater pH of 4.73 was neutralized, a COD removal efficiency of 97 % was obtained. As very high removal efficiencies were achieved for both types of wastewaters at neutral pH, it was concluded that pH was an important process parameter for NF.

Keywords: Acid dyeing, microfiltration, nanofiltration, print, ultrafiltration, wastewater

GİRİŞ

Tekstil endüstrisinde ortaya çıkan atıksuların büyük bir kısmı boyama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla tekstil atıksularında, kumaşa sabitlenmemiş boyalarla pek çoğu yüzey aktif madde sınıfında yer alan yardımcı kimyasallar bulunmaktadır. Bu kirleticiler, tekstil atıksularında yüksek renk ve organik madde içeriğine neden olmaktadır. Boyama işlemleri genel olarak asidik veya bazik pH'larda gerçekleştirildiğinden, ortaya çıkan atıksuların pH'sı da genelde nötr olmamakta ve ortaya karmaşık karakterde atıksular çıkmaktadır. Yeterli arıtma sağlanamaması durumunda, söz konusu atıksularda bulunan boyalar alıcı ortamlarda renk ve toksisiteye neden olmaktadır. Renk; ilk etapta estetik açıdan sorun teşkil etmesine rağmen, yüksek seviyelere ulaştığında, doğal sularda ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi engelleyebilmektedir. Tekstil atıksuları, kompleks yapılarının yanısıra yüksek hacimleri ile de problem yaratmaktadır. Su tüketimi açısından ilk sıralarda yer alan bu endüstri, dünyanın giderek azalan su kaynaklarının korunması amacıyla son yıllarda hız kazanan atıksu geri kazanımı çalışmalarına en fazla konu olan endüstrilerden birisidir. Tekstil endüstrisi ile ilgili diğer bir sorun da, pek çok alt dalı olması nedeniyle oldukça değişken yapı ve hacimlerde atıksu üretilmesidir. Bu da arıtma yöntemleri seçiminde herhangi bir genellemeyi oldukça zorlaştırmakta, dolayısıyla her üretim tesisinin ayrı bir örnek olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Tekstil atıksularının arıtımında uygulanan konvansiyonel yöntemler arasında; biyolojik arıtma, fiziksel-kimyasal prosesler, adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon yer almaktadır. En yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtmada genellikle boyaların aromatik yapıları ve toksisiteleri nedeniyle etkin bir renk giderimi sağlanamamaktadır (Marmagne ve Coste, 1996; Shu ve Huang, 1995). Fiziksel-kimyasal proseslerde yüksek kimyasal dozu ve çamur üretiminde artış; adsorpsiyonda sınırlı kapasite ve kimyasal oksidasyonda ise toksik ara-ürünlerin meydana çıkması gibi sorunlar bu yöntemlerin başlıca dezavantajlarıdır. Günümüzde mevcut yöntemlerin etkin bir arıtma sağlayamaması ve deşarj standartlarının giderek katılaşması nedeniyle ozonlama, fotokataliz ve membran prosesleri gibi ileri arıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Tang ve Chen, 2002). Bazı durumlarda ise, klasik yöntemlerin birden fazlası

birlikte kullanılmaktadır (Ahn ve diğ., 1999). Tek başına veya birlikte kullanılan konvansiyonel yöntemler temel olarak deşarj standartlarını sağlamaya yönelik olarak uygulanmaktadır. Membran prosesleri ise, buna ek olarak, atıksuda bulunan değerli maddelerin ve suyun geri kazanımı söz konusu olduğunda üstün ayırma performansları ile oldukça gelecek vaatetmektedir (Erswell ve diğ., 1988; Marcucci ve diğ., 2001). Nelson (1994)'un yürüttüğü bir çalışmada, membran prosesleri ile süzüntü suyunun % 97-99 oranında geri kazanıldığı ve boyaların % 99-100 oranında tutulduğu rapor edilmektedir.

Tekstil endüstrisinin bir alt dalı olan halı üretiminde çoğunlukla sentetik iplikten dokunan halılar boyanmaktadır. Boyama işleminde yüksek hacimlerde su gerektiğinden diğer bütün tekstil dallarında olduğu gibi halı üretiminde de atıksu üretimi yüksektir. Dokunan 1 m² halı başına ortaya çıkan atıksu miktarı yaklaşık 250 l olabilmektedir (Smith, 1986). Halı boyama işleminde yaygın olarak kullanılan asit boyalar % 90'a varan sabitlenme kapasitesine sahip olduğundan (EPA, 1995), ortaya çıkan atıksular da organik madde, renk ve bulanıklık içerikleri açısından yün ve pamuklu boyama atıksularına kıyasla genelde daha az kirlidir (BTTG, 1999). Literatürde asit boyaların arıtımı üzerine yapılmış çalışma sayısı sınırlıdır (Frag ve diğ., 1994; Shi ve Li, 1997; Walker ve Weatherley, 1998; 1999; 2001). Halı boyama atıksularının membran prosesleri ile geri kazanımı üzerine ise hemen hemen hiç bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, bir halı üretim endüstrisinde ortaya çıkan baskı boyama (BB) ve asit boyama (AB) atıksuları için membran esaslı bir arıtma ve geri kazanım stratejisi geliştirerek, ön-arıtma ve arıtma işlemlerini kapsayan en uygun proses sürecini belirlemektir.

MATERYAL VE METOD

Örnekleme

Çalışmada kullanılan atıksu örnekleri, bir halı fabrikasının BB işlemi sonrası oluşan yıkama sularından ve AB banyolarından alınmıştır. BB hattında, metal-kompleks asit boyalar ile reaktif boyalar; AB banyolarında ise, asit boyalar kullanılmaktadır. Her iki hattan farklı zamanlarda alınan atıksu örnekleri ile kompozit numuneler hazırlanmış (Tablo 1) ve bu örneklerle deneysel çalışmalar yürütülerek, atıksu özelliklerindeki değişkenlikler telafi edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 1. BB ve AB atıksularından oluşturulan kompozit karışımların özellikleri

Parametre	Birim	Değer	
		BB Atıksuyu	AB atıksuyu
KOİ	mg/l	391 ± 10	1462 ± 22
UVA ₁₉₅	-	3.12 ± 0	2.99 ± 0
Renk	Pt-Co	301 ± 3	8 ± 0
Bulanıklık	NTU	41 ± 1	1 ± 0
TKM	mg/l	603 ± 13	899 ± 4
TS	mg/l CaCO ₃	20 ± 0	44 ± 0
İletkenlik	µS/cm	700 ± 0	732
Klorür	mg/l	15 ± 0	13 ± 0
pH	-	7.60 ± 0	4.73 ± 0

Membran Temizliği

Filtrasyon deneylerinde kullanılan bütün membranlar, ilk kullanımdan önce gözenekleri açmak ve her deneyden sonra yüzeylerinde biriken organik ve inorganik kalıntıları gidermek amacıyla yıkanmıştır. Yıkama işlemi, membran modülünden birer saat süreyle nitrik asit (pH 3) ve ardından sodyum hidroksit (pH 9) solüsyonlarının sirküle edilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Deneyel Düzenek

Kimyasal Çöktürme

Çöktürme deneyleri için jar test aparatı kullanılmış, örnekler farklı dozlarda alum eklenerek 1 dakika hızlı (100 rpm) ve ardından 30 dakika yavaş (30 rpm) karıştırma uygulanarak yumak oluşumu sağlanmıştır. Oluşan yumaklar, 1 saatlik bekleme süresinde çöktürülmüş ve üstten alınan berrak su örneklerinde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), ultraviyole absorbanı (UVA₁₉₅), renk, bulanıklık, toplam sertlik (TS) ve toplam katı madde (TKM) analizleri yapılmıştır.

Mikrofiltrasyon

Atıksuların UF/NF sistemine beslenebilecek özelliklere kavuşması için ön-arıtma aşamalarında MF uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu aşamada, 550 mm Hg vakum sağlayan bir filtrasyon düzeneği (Millipore) kullanılarak konvansiyonel düz akış filtrasyonu yapılmıştır. Sistemde, özellikleri Tablo 2’de verilen filtreler denenmiştir. Filtreler önce 1 l saf su ile yıkanmış, ardından atıksu örnekleri süzülmüştür. Süzülen suda renk ve bulanıklık analizleri yapılmıştır.

Ultrafiltrasyon ve Nanofiltrasyon

UF ve NF deneyleri, laboratuvar ölçekli bir UF/NF sistemi ile (LabStak M20) yürütülmüştür. Bu sistemde kullanılan NF (NFT-50) ve UF

membranları; 20 cm çapında dairesel olarak kesilmiş, DSS Firması tarafından üretilmiş düz membranlardır. UF ve NF deneyleri çapraz akış düzeninde gerçekleştirilmiştir. Bu düzende; besleme suyunun tamamı değil, ayarlanan basınca göre belli bir kısmı membrandan süzülmekte, geri kalanı ise membran yüzeyine paralel akarak dışarı çıkmaktadır. Deneylerde; hem süzülen ve süzülmeyen suların besleme tankına geri döndürüldüğü ‘toplam geri döndürme’ düzeninde hem de süzüntü suyunun ayrı bir kaptaki toplandığı ‘konsantrasyon’ düzeninde çalışılmıştır. Giriş basıncı UF sisteminde 200-600 kPa, NF sisteminde ise 600 kPa olarak seçilmiş ve besleme hızı 6 l/dak olarak ayarlanmıştır. Kullanılan membranların özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Deneylerin bitiminde süzüntü suları toplanarak KOİ, UVA, renk, bulanıklık, TS ve TKM analizleri yapılmıştır.

Analitik Teknikler

Örneklerin KOİ değerleri HACH DR-2000 Model spektrofotometre ile USEPA onaylı HACH Metot 8000’e göre 620 nm (yüksek aralık) ve 420 nm (düşük aralık) dalga boylarında okunmuştur. Renk değerleri, aynı cihazla 455 nm’de Pt-Co cinsinden belirlenmiştir. UVA ölçümleri, Varian Cary 100 Model spektrofotometre ile 195-200 nm dalga boylarında yapılmıştır. Bulanıklık değerleri HACH Model 2100A cihazı ile ölçülmüş; örneklerin toplam katı içeriği ise gravimetrik analiz ile belirlenmiştir. Diğer tüm parametreler ise, Standart Metotlar (APHA, 1995)’daki yöntemler izlenerek saptanmıştır. Akı ölçümleri ise süzüntü suyunun belirli bir sürede mezürde toplanmasıyla gerçekleştirilmiş ve akı değerleri, toplanan hacmin zamana ve etkin membran alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Atıksu örneklerine, UF ve NF sistemlerine beslenmeden önce, tıkanmayı engellemek amacıyla ön-arıtma işlemleri uygulanmıştır. Her iki atıksu türü için ilk olarak en ekonomik membran prosesi olan MF denenmiştir. AB atıksuları için uygulanan MF işleminde gözenek büyüklüğü 0.2-2.5 µm arasında değişen ve özellikleri Tablo 2’de verilen filtreler kullanılmıştır. AB atıksuları ile, en iyi giderimler 1 µm’lik filtre ile elde edilmiştir. Bu MF işleminde Tablo 3’te görüldüğü üzere, % 83 renk ve % 77 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Bunun üzerine, halı fabrikasından alınmış olan AB atıksu örneğinin tamamı bu filtreden süzülmüştür (Yetiş ve diğ., 2003). BB atıksuyu ise; sırasıyla 11, 2.5 ve 1 µm gözenek büyüklüğüne sahip filtrelerden süzülme çalışılmış, ancak bütün filtrelerin yaklaşık

Tablo 2. Membran özellikleri

Atıksu	Filtre	Malzeme	Proses	Gözenek çapı (μm)/MAAS (Da)	Etkin membran alanı (m^2)
BB	Whatman 1	Selüloz		11 μm	0,0014
BB	Whatman 42	Selüloz		2.5 μm	0,0014
BB, AB	Whatman GF/B	Fiberglas	MF	1.0 μm	0,0014
AB	Millipore	Selüloz asetat		0.45 μm	0,0014
AB	Sartorius	Selüloz asetat		0.20 μm	0,0014
AB	Osmonics HZ 15	Polietersulfon		50000 Da	0,0155
BB	DSS GR 51 PP	Polietersulfon		50000 Da	0,0360
BB	DSS GR 61 PP	Polietersulfon	UF	20000 Da	0,0360
BB	DSS GR 95 PP	Polietersulfon		2000 Da	0,0360
BB	DSS ETNA 01PP	Kompozit floro polimer		1000 Da	0,0360
BB, AB	DSS NFT-50	Polyester üzerine ince film	NF	*	0,0360

* MgSO_4 tutma oranı \geq % 99

10 dakika içinde tıkanması nedeniyle BB atıksuyuna doğrudan MF işlemi uygulanamayacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle, kimyasal çöktürmenin daha uygun bir ön-arıtma yöntemi olabileceği düşünülmüş ve koagülan madde olarak seçilen alum ile jar-test düzeneğinde kimyasal çöktürme testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, optimum

alum dozu, 150 mg/l olarak bulunmuştur (Çapar ve diğ., 2003). Daha sonra, hazırlanmış olan tüm kompozit BB atıksu örneği bu dozda alum ile çöktürmeye tabi tutulmuş ve daha sonraki membran filtrasyon testlerinde bu atıksu kullanılmıştır. Elde edilen giderimler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Ön-arıtma performansları

Parametre	Birim	Baskı Boyama Atıksuyu		Asit Boyama Atıksuyu	
		Alum ile çöktürme		MF (1 μm)	
		Değer	Giderim (%)	Değer	Giderim (%)
KOİ	mg/l	301 \pm 15	23	1394 \pm 14	1
UVA ₁₉₅	-	2.42 \pm 0	22	2.95 \pm 0	4
Renk	Pt-Co	29 \pm 1	91	19 \pm 1	82
Bulanıklık	NTU	3.8 \pm 0	91	0.9 \pm 0	77
TKM	mg/l	575	5	909 \pm 4	5
TS	mg/l CaCO_3	18 \pm 0	9	44 \pm 0	0

Ön-arıtma işlemlerinin ardından, her iki atıksu için de membran proses süreçleri denenmiştir. BB atıksuyu ile, 90-490 kPa basınç farkı altında UF ve NF deneyleri gerçekleştirilmiştir. NF prosesinde % 90'ın üzerinde ultraviyole absorbans (UVA₁₉₅) ve bulanıklık giderimi sağlanmış, renk ve KOİ ise tamamen uzaklaştırılmıştır (Tablo 4). Atıksu akılarının saf su akılarına oranla en çok % 23 oranında azalması, NFT-50 membranında oluşan kirlenmenin ciddi bir boyutta olmadığını

göstermiştir. Ayrıca yıkama işlemi ile akıların geri kazanılabilir olduğu da gözlemlenmiştir (Çapar ve diğ., 2003). Bu da; kirlenmenin membran yüzeyinde meydana geldiğine işaret etmektedir. UF deneyleri ise; MAAS'ı 1000, 2000, 20000 ve 50000 Da olan membranlarla yürütülmüş, renk ve bulanıklık giderimleri NF'e benzer olarak % 90'ın üzerinde gerçekleşmesinde rağmen, KOİ ve UVA giderimleri sırasıyla % 8-25 ve % 0-13 düzeyinde seyretmiştir (Tablo 4). Bu sonuçlar, suda ağırlıklı

Halı Boyama Atıksularının Membran Prosesleri ile Arıtımı

Tablo 4. BB atıksuyu için NF ve UF proseslerinin performans karşılaştırması

Parametre	Giderim (%)				
	NF	UF			
	NFT-50	ETNA 01 PP (1000 Da)	GR 95 PP (2000 Da)	GR 61 PP (20000 Da)	GR 51 PP (50000 Da)
KOİ	99,5	25	25	8	11
UVA ₁₉₅	95	13	7	4	0,4
Renk	100	93	99	100	100
Bulanıklık	93	93	95	95	95
TKM	91	33	-	37	14
TS	61	2	7	13	10

olarak küçük molekül ağırlığına sahip organik maddelerin mevcut olduğunu düşündürmüştür. Zira, en küçük MAAS'a sahip olan UF membranı dahi organik maddenin en çok % 25'ini tutabilmiştir. KOİ ve UVA giderim oranlarının oldukça farklı olması ise, atıksuda absorbans veren, ancak organik olmayan maddelerin bulunması ile açıklanabilir. Testler sırasında atıksu akıları saf su akılarına oranla % 11-35 oranında azalma göstermiş ve beklendiği üzere, MAAS azaldıkça akı azalmasında artış olmuştur. Yıkama işlemi ile akılar çoğunlukla geri kazanılmıştır (Çapar ve diğ., 2003).

Uygulanan membranlı süreçlerle geri kazanılan BB atıksuyunun kalitesi, British Textile Technology Group (BTTG, 1999) tarafından sentetik iplik boyama işlemi için belirlenmiş olan ve burada karşılaştırma amacıyla örnek olarak dikkate alınan geri kazanım kriterleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 5). Bu karşılaştırmaya göre, BB atıksularından NF ve UF prosesleri ile elde edilen süzüntü sularının boyama işleminde yeniden kullanılabilir kalitede olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. BB ve AB atıksuları için elde edilen süzüntü suyu kalitesi ve BTTG geri kazanım kriterleri

Parametre	Birim	BTTG geri kazanım kriteri	BB süzüntü suyu		AB süzüntü suyu		
			Tek NF	Tek UF	Tek NF		Üçlü NF
					Asidik pH	Nötr pH	
Renk	AU*	5	0	0	0	0	0
Bulanıklık	FTU	15	0.3	0.2 – 0.3	0.2	0.2	0.1
Çözünmüş Katı	mg/l	500	54	365 - 494	514	60	277
Sertlik	mg/l	60	9	16 - 18	14	0	0

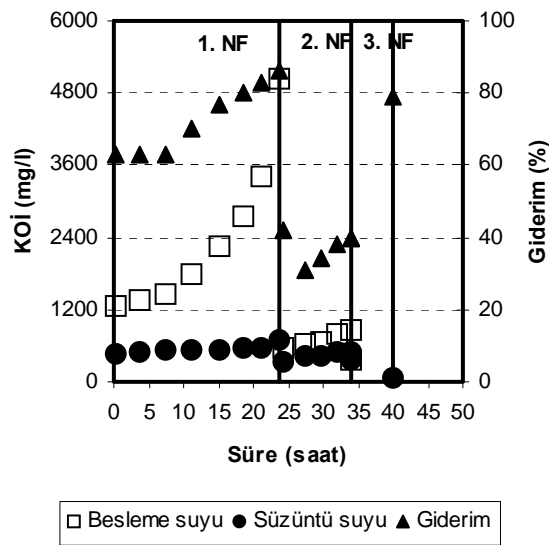
* 10 mm'lik küvette absorbans birimi

AB atıksularının geri kazanımı için NFT-50 membranları ile yürütülen deneylerde, BB atıksuyu için gözlenen yüksek giderimlere ulaşamamıştır. Renk ve bulanıklık için sırasıyla % 100 ve % 78 giderim sağlanmakla birlikte, KOİ giderimi % 59'da kalmıştır (Tablo 6). UVA gideriminin % 12 olarak gözlenmesi ise, AB atıksuyu için UVA ile KOİ arasında bir korelasyon olmadığını göstermiştir. Atıksu akısında, saf su akısına kıyasla % 19 kadar azalma gözlenmiştir. NF süzüntü suyu kalitesi, geri kazanım kriterleri ile karşılaştırıldığında (Tablo 5) çözünmüş katı madde içeriğinin yüksek

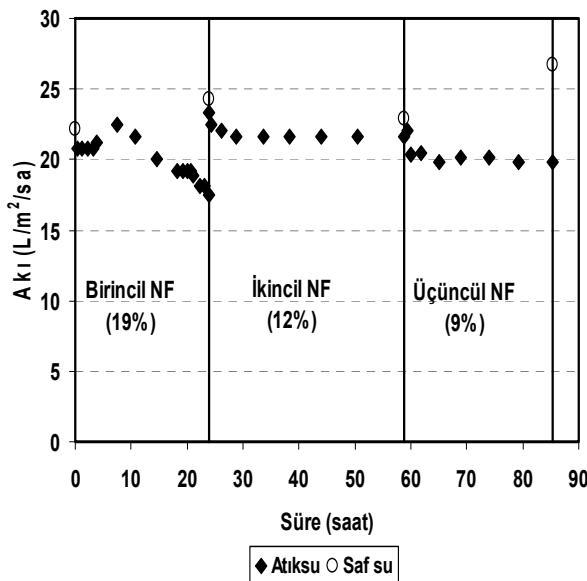
olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle AB atıksuyuna, seri düzende ikincil ve üçüncül NF prosesleri uygulanmış, izleyen her bir işlemde birincil NF'e ek olarak % 36 ve % 79 oranlarında KOİ giderimleri elde edilmiştir. Böylece, seri düzende uygulanmış olan üç aşamalı NF işleminden sonra toplam KOİ giderimi % 94'e ulaşmıştır (Şekil 1). Üçüncül NF çıkış suyu kalitesi BTTG kriterlerini sağlamaktadır. Birincil NF sonrasında % 19 olarak gözlenen atıksu akılarındaki azalma, ikincil NF sonrasında % 12'ye, üçüncül NF sonrasında ise % 9'a kadar düşmüştür (Şekil 2).

Tablo 6. AB atıksuyu için asidik ve nötr pH koşullarında NF prosesinin performansı

Parametre	Birim	Giderim (%)		
		Asidik pH		Nötr pH
		Tek NF	Üçlü NF	Tek NF
KOİ	mg/l	59	94	97
UVA ₁₉₅	-	12	77	49
Renk	Pt-Co	100	100	100
Bulanıklık	NTU	78	94	92
TKM	mg/l	44	70	94
TS	mg/l CaCO ₃	68	100	100



Şekil 1. AB atıksuyu için seri düzende uygulanan NF prosesinin KOİ artım performansı



Şekil 2. AB atıksuyu için seri düzende uygulanan NF prosesinde akı değişimleri

AB atıksuyunun geri kazanılabilmesi için geliştirilen üçlü NF serisinin gerçek uygulamada çok pratik bir çözüm olmayacağı düşüncesiyle, alternatif bir yöntem arayışına gidilmiştir. BB atıksuyunun nötr pH'ya sahip olması ve bu suda yüksek giderimler elde edilmiş olması noktasından hareketle; orijinal pH'sı 4.73 olan AB atıksuyunun pH'sı 7.20'ye ayarlanarak nötralize edilmiş ve bu atıksu ile yürütülen NF deneylerinde % 97 KOİ giderimi elde edilmiştir (Tablo 6). Diğer parametreler için elde edilen giderimlerde de yüksek artışlar gözlenmiştir. İçerdiği asetik asit nedeniyle asidik bir yapısı olan bu atıksu, pH ayarlaması sonrası tek aşamada geri kazanım kriterlerini sağlayacak seviyede artırılabilmiştir. Bu sırada, atıksu akıları saf su akılarına oranla sadece % 20 seviyesinde azalmış ve buradan da pH nötralizasyonunun atıksu akılarını olumsuz yönde etkilemediği anlaşılmıştır.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bir halı fabrikasına ait AB ve BB atıksuları; membran prosesleri ile, boyama işleminde yeniden kullanılacak kaliteye kadar artırılmıştır. BB atıksuları için, alüminyum ile kimyasal çöktürme işleminin ardından NF ve UF prosesleri denenmiş ve farklı kalitelere süzüntü suları elde edilmiştir. Üretilen bütün süzüntü suları BTTG geri kazanım kriterlerini sağlamakla birlikte, UF süzüntü sularındaki KOİ, TKM ve TS seviyelerinin NF süzüntü sularındaki değerlere oranla oldukça yüksek olması nedeniyle, UF süzüntü sularının yeniden kullanılma şansının, NF süzüntü sularından daha az olacağı öngörülmüştür.

AB atıksuları için, (1 µm) MF ön işleminin ardından uygulanan üç kademeli NF işlemi ile, geri kazanım kriterlerini sağlayan süzüntü suyu kalitesine ulaşılmıştır. Ancak, üç aşamalı membran filtrasyonun ekonomik açıdan pratik olmayabileceği düşünülmüş; alternatif bir işlem

olarak pH nötralizasyonu denenmiştir. Tek kademe NF prosesi ile asidik pH'da % 59 olarak gerçekleşen KOİ giderimi, nötr pH'da % 97'ye yükselmiştir. Bu veriler, boyama atıksularının membran filtrasyonunda; pH'nın, filtrasyon performansını etkileyen çok önemli bir proses parametresi olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Ahn, D.H., Chang, W.S. ve Yoon, T.I. (1999). Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, physical adsorption, and fixed bed biofilm processes, *Process Biochem.*, **34**, 429-439.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation (1995). Standart Methods for the Examination of Waster and Wastewater, 19. Baskı, Washington, USA.
- BTTG Report 5: Waste Minimization and Best Practice (1999). www.bttg.co.uk
- Çapar G., Yetiş Ü. ve Yılmaz L. (2003). Color Removal and Wastewater Reuse From Carpet Dyeing Effluents by Membrane Processes, Proceedings of 2nd National Symposium on Environmental Pollution Control, Middle East Technical University, 22-24 October, Ankara, Turkey.
- EPA (1995). *Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry*, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, U.S.A.
- Erswell, A., Brouckaert, C.J. ve Buckley, C.A. (1988). The reuse of reactive dye liquors using charged ultrafiltration membrane technology, *Desalination*, **70**, 157-167.
- Farag, S., Abo-Shosha, M.H ve Ibrahim, N.A. (1994). Removal of acid dye residues from wastewater using anion-exchange compounds of starch/methylenediacylamide/dimethylaminoethyl methacrylate, *Tinctoria*, **91**(10), 48-51.
- Marcucci, M., Nosenzo, G., Capannelli, G., Ciabatti, I., Corrieri, D. ve Ciardelli, G. (2001). Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies, *Desalination*, **138**, 75-82.
- Marmargne, O. ve Coste, C. (1996). Color removal from textile plant effluents, *American Dye Rep.*, 15-21.
- Nelson C.E. (1994). Recycling of Wastewaters from Textile Dyeing Using Crossflow Membrane Filtration. *Filtr. Sep.*, 593-595 (September/October).
- Shi, B. ve Li, H. (1997). Research on the decolorization of acid dyes wastewater treated with PVAf exchange fiber, *Quingdao Daxue Xuebao Gongcheng Jishuban*, **12**(4), 9-13.
- Shu, H. ve Huang, C. (1995). Degradation of commercial azo dyes in water using ozonation and UV enhanced ozonation process, *Chemosphere*, **31**, 3813-3825.
- Smith, B. (1986). Identification and reduction of pollution sources in textile wet processing. North Carolina Department of Natural Resources and Community Development, Pollution Prevention Pays Program, Raleigh, NC.
- Tang, C. ve Chen, V. (2002). Nanofiltration of textile wastewater for water reuse, *Desalination*, **143**, 11-20.
- Yetiş, Ü., Yılmaz, L. ve Çapar, G. (2003). Development of a membrane based treatment scheme for color removal and wastewater reuse from textile effluents, Research Project Progress Report, TÜBİTAK MİSAG 214.
- Walker G.M. ve Weatherley L.R. (1998). Fixed bed adsorption of acid dyes onto activated carbon, *Environ. Pollution.*, **99**, 133-136.
- Walker G.M. ve Weatherley L.R. (1999). Biological activated carbon treatment of industrial wastewater in stirred tank reactors, *Chemical Engineering J.*, **75**, 201-206.
- Walker G.M. ve Weatherley L.R. (2001). COD removal from textile industry effluent: pilot plant studies, *Chemical Engineering J.*, **84**, 125-131.