

# Tekstil endüstrisinde bütünleşik membran sistemi ile su geri kazanımı ve hibrit ileri oksidasyon/membran filtrasyonu ile konsantrelerin arıtımı ve yönetimi

## Water recovery with combined membrane system in textile industry, treatment and management of concentrates by hybrid advanced oxidation/membrane filtration

Berna KIRIL MERT<sup>1</sup>, Esra C. DOĞAN<sup>2</sup>, Esin BALCI<sup>3</sup>, Yasemin M. TILKI<sup>4</sup>, Şeyda AKSU<sup>5</sup>, Ayşegül Y. GÖREN<sup>6</sup>,  
Coşkun AYDINER<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.  
bkiril@sakarya.edu.tr

<sup>2</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye  
esracdogan@gmail.com

<sup>3,6</sup>Kimya Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye.  
esinbalci@iyte.edu.tr, yagmurgoren@iyte.edu.tr

<sup>4,5,7</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.  
yasemintilki@gtu.edu.tr, seyda.aksu90@gmail.com, aydiner@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 02.07.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 10.10.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.984474

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada, etkinliği bilinen UF/NFsıkı/TO membran kombinasyonu ile tekstil atıksularının arıtımının yanısıra %75-80 su geri kazanım oranı dahilinde oluşan membran konsantrelerinin, bütünleşik ileri oksidasyon prosesi (Fenton ve foto-Fenton (UVA-365-UVC-254))/batık UF sistemi ile daha önce belirlenen optimum işletme şartlarında oksidasyona tabi tutularak yönetimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, UF/NFsıkı/TO membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda oluşan konsantrere akımlarının Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve (UVC-254) prosesleri/batık UF sistemi ile oksidasyonu sonrası, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosesinin 9.88 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK ve 7.27 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> oranlarında, 44 L/m<sup>2</sup>.sa'lık süzünü akısında %86 KOİ giderimi ile KOİ değeri 167 mg/L'ye ve %74.2 TOK giderimi ile TOK değeri 104 mg/L'ye kadar düşürülerek en iyi performans gösteren yenilikçi proses olduğu sonucuna varılmıştır. Oluşan membran konsantrelerin oksidasyonu sonrasında kalan konsantrenin tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri değerlendirildiğinde tekstil endüstrisi atıksularının foto-Fenton (UVA-365) ile arıtımı sonucunda oluşan konsantrere haricinde diğer tüm konsantrelerin tehlikeli özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Konsantrelerin bertaraf/geri kazanım yöntemleri ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde, gerekli düzenlemeler (nem içeriği, susuzlaştırma, uygun debi ve/veya karışım oranları) yapıldığı takdirde bu konsantrelerin düzenli depolama, yakma ve merkezi atıksu arıtma sistemine verme gibi seçeneklerle bertaraf edilebileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Tekstil atıksuyu, Bütünleşik İOP/Membran sistemi, Su geri kazanımı, Konsantrere yönetimi

### Abstract

In this study, in addition to textile wastewater treatment by UF/NFtight/TO membrane combination of which efficiency is known, management has been performed for membrane concentrates generated with advanced oxidation combined process (Fenton and photo-Fenton (UVA-365-UVC-254))/submerged UF system of membrane concentrates generated within 75-80% water recovery ratio by oxidizing them in optimum operating conditions which were determined before. Ultimately in the studies, the conclusion has been reached that concentrate flows, generated as a result of the treatment with UF/NFtight/TO membrane configuration, were the highest performance innovative process by decreasing the sequential operated photo-Fenton (UVC-254)/UH050 hybrid process in ratios of 9.88 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK and 7.27 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>, in the filtration flux of 44 L/m<sup>2</sup>.h, COD value to 167 mg/L with 86% COD removal, and TOK value to 104 mg/L with 74.2% TOC removal, after the oxidation with Fenton, photo-Fenton (UVA-365) and (UVC-254)/ submerged UF system processes. When hazardous characteristics, removal/recovery methods and reuse alternatives of the concentrate remained after the oxidation of membrane concentrates generated were evaluated, it has been seen that all other concentrates of textile industry wastewater, except the concentrate generated by the treatment with photo-Fenton (UVA-365), had characteristics of hazardousness. When removal/recovery methods were evaluated in detail, the conclusion has been reached that these concentrates could be removed with alternative options such as regular storage, burning and canalizing to central wastewater treatment system as long as necessary arrangements (moisture content, dehydration, suitable flow and/or mixture ratios) are made.

**Keywords:** Textile wastewater, Combined AOP/Membrane system, Water recovery, Concentrate management

## 1 Giriş

Tekstil endüstrisi, dünyada en büyük su tüketimine sahip endüstrilerin başında gelmektedir ve buna bağlı olarak da üretim sonrasında oluşan atıksu miktarı oldukça yüksektir. Tekstil endüstrisinde üretim esnasında (özellikle boyama, ağartma, baskı ve tamamlama kısımlarında) yüksek miktarda

su kullanılmakta olup, literatürde verildiği şekliyle, 1 kg ürün başına 200-500 L arasında temiz suya ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşan atıksular, liflerin boyutlandırılması, temizleme, bedenlendirme, beyazlatma, yıkama, merserizasyon, boyama ve terbiye gibi tekstil üretim ve işleme aşamalarından kaynaklanmaktadır. Kalıntı boyalardan dolayı oluşan kuvvetli renk, yüksek tuz konsantrasyonları (sodyum klorür gibi),

içerdiği deterjan ve sabun kalıntıları, yağ-gres, sülfür ve gazlı soda bileşikleri bu atıksuların ana özellikleri arasında sıralanmaktadır [1],[2]. Tekstil boyama ve terbiye tesisleri tarafından üretilen endüstriyel atıksular boyaların çeşidine ve kullanılan kimyasallara bağlı olarak önemli miktarda renk, adsorbe organik halojenler (AOX), KOİ ve çözünmüş katılar içermektedir [3].

Günümüzde, tekstil endüstrisi atıksuları belediye kanalizasyon sistemlerine deşarj edilmeden önce ön eleme ve pH ayarlama adımları ile aktif çamur gibi biyolojik arıtma yöntemleri ya da fiziksel-kimyasal arıtım metotları (adsorbsiyon, koagülasyon-flokülasyon, çözünmüş hava flotasyonu) gibi klasik arıtma prosesleri ile arıtılmaktadır [1],[4]. Aktif çamur prosesi KOİ giderimi açısından yüksek verimlilik göstermekte olup, özellikle atıksuyun rengini ve iletkenliğini gidermede yetersiz kalmaktadır. Fiziksel-kimyasal arıtım yöntemlerinde ise; çözünmüş, askıda, kolloidal ve çökemeyen katı maddelerin sudan kimyasal koagülasyon ardından da çöktürme işlemi ile uzaklaştırılması mümkündür. Bu gibi yöntemler kullanılarak tekstil endüstrisi atıksularından renk de tamamen giderilmektedir. Ancak, bu arıtma prosesleri kullanıldığında ilave edilen kimyasalların maliyetli olmasının yanı sıra özellikle  $Fe^{+3}$  ve  $Al^{+3}$  kaynaklı yüksek miktarda metal içeriğine sahip olan fiziksel-kimyasal çamur oluşumu, çamur yönetimi ve düşük çözünür KOİ giderim verimleri gibi problemler ortaya çıkarmaktadır [3],[5]. Ayrıca bu atıksuların düşük biyolojik parçalanabilirlikleri, oluşan atıksuların farklı karakterizasyonlara sahip olması, toksik bileşikler içermesi gibi nedenler de bu atıksuların konvansiyonel biyolojik prosesler ile uygun deşarj standartlarında arıtılmasını mümkün kılmamaktadır [6].

Tekstil atıksularının arıtımında ileri oksidasyon prosesleri (İOP) uzun zamandır yaygın olarak kullanılmaktadır [1],[3], [6]-[9]. Yüksek oksidatif güce sahip ve seçici özelliği olmayan hidroksil radikalleri üretimine dayanan İOP'leri tekstil atıksuyunda bulunan boya ve taşıyıcı maddeler ile sürfektanlardan gelen dirençli organik maddelerin oksidasyonunda geleneksel arıtım yöntemleri yerine geçmiştir [10].

Günümüzde tekstil atıksularının arıtımında membran proseslerin uygulanması, bu proseslerin güvenilir ve ekonomik olmasının yanı sıra birçok teknolojik yeniliğe sahip olması ve elde edilen süzöntü akımı ile geliştirilmiş deşarj standartlarına ulaşılması nedeniyle diğer arıtma sistemlerine alternatif olmuştur [2],[5],[11]. Fakat basınç sürücülü membran proseslerin tek adımda işletildiği uygulamalarda, çıkış suyu eldesi bakımından arzu edilir kalitede mutlak bir başarı sağlanamamaktadır [12]. Buna karşın, bu proseslerle gerçekleştirilen iki ya da üç kademeli [13] filtrasyon ile kombine arıtma sistemleri [14]-[16] kullanılarak %80-90 oranında su geri kazanımı ile işletim sağlanabilmektedir. Ancak basınç sürücülü membran proseslerin su ve atıksu arıtımında ardışık iki ya da üç kademeli kombinasyonları şeklinde kullanımları neticesinde, yüksek hacim ve kirletici içeriklerinde ve zorunlu olarak bertaraf edilmesi gereken membran konsantreleri açığa çıkmaktadır. Uygulamalarda karşılaşılan bu durum, saha ölçeğindeki atıksulardan su ve ürün kazanımı odaklı membran proses uygulamalarında, membran kirlenmesi olayları ile birlikte konsantre atık yönetimi süreçlerinin başlıca teknik ve ekonomik kısıtlayıcı faktörler olarak öne çıkmasını beraberinde getirmektedir [12],[17],[18].

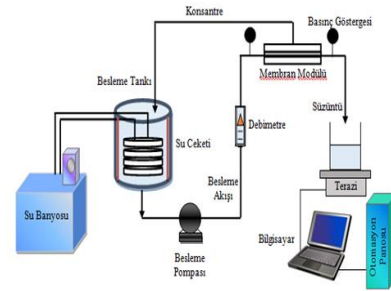
Yoğun su tüketilen endüstrilerde basınç sürücülü membran proseslerle yüksek miktarlarda ve iyi kalitede su geri kazanımı ve aşgari konsantre hacmi üretime dayalı çalışmaların, sıfır sıvı deşarjı yaklaşımının pratikte etkin olarak uygulanabilmesi ve yaygınlaştırılmasına hizmet edecek yenilikçi bir su yönetim yaklaşımını ortaya çıkaracağı kanaatine ulaşılmaktadır. Ancak bu yaklaşımın oluşturulabilmesi için, membran proseslere ilave bir konsantre arıtım prosesine ihtiyaç duyulacağı açıktır.

Bu çalışmada, su geri kazanım etkinlikleri literatürden bilinen, UF/NFsıkı/TO konfigürasyonu ile yüksek basınç filtrasyon sisteminde yürütülen sürekli denemelerde ardışık olarak %75-80 oranında su geri kazanımı amaçlanmış ve oluşan konsantrenin yenilikçi İOP/batık UF hibrit prosesi ile daha önceden tespit edilen optimum işletme şartlarında oksidasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede son yıllarda membran filtrasyon çalışmalarında önemli bir sorun teşkil eden membran konsantrelerinin minimizasyonu ile konsantre bertaraf maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

## 2 Materyal ve metot

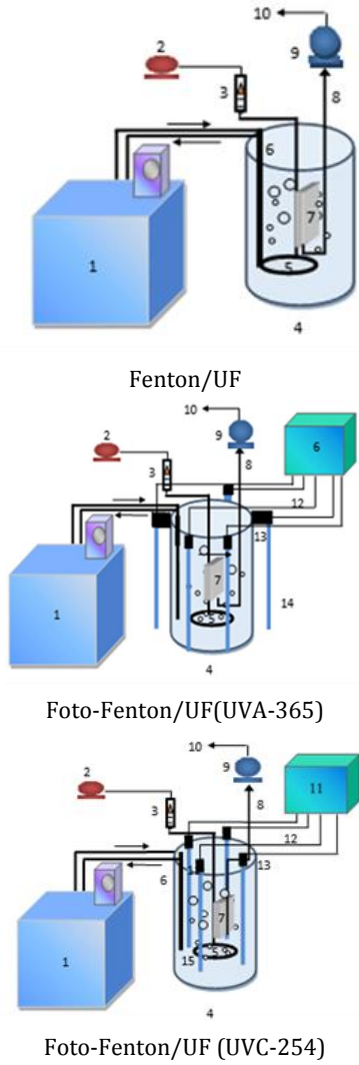
### 2.1 Etkinliği bilinen membran filtrasyon ve bütünlük İOP/Batık UF sistemleri

Şekil 1'de gösterilen yüksek basınç filtrasyon sistemi [19] ile UF/NFsıkı/TO ardışık seri membran proses kombinasyon deneyleri %75-80 su geri kazanım oranlarında işletilmiştir. Çalışmada deney düzeneği olarak 140 cm<sup>2</sup> efektif alana sahip düz plaka membran modülü içeren, su çekimine sahip besleme tankı, su banyosu (Jeio-Tech-RW-125G), pompa ve teçhizatı, elektromanyetik debimetre (Krohne), iletkenlik ve sıcaklık ölçer (Antech-Omnicon), hassas terazi (Shimadzu-TX4202L), bilgisayar, otomasyon panosu ve sistem şasesinden oluşan filtrasyon sistemi kullanılmıştır. Konsantrasyon modda işletilen sistemde istenen akış hızı ve basınç değişkenleri üniteye bağlı otomasyon panosu üzerinden ayarlanmıştır. Besleme tankı, sıcaklığın sabit tutulması için su banyosu ile irtibatlandırılmıştır. İşletme sırasında hassas terazi (AND EJ-6100) üzerindeki kapta biriktirilen süzöntü miktarı bilgisayarda RsKey Ver.1.34 (A&D Comp. Ltd. Japan) programı ile kaydedilmiş, daha sonra Excel programı ile süzöntü akıları hesaplanmıştır.



Şekil 1: Sürekli işletimli çapraz akış membran filtrasyonu [19].

Bertaraf zorunluluğu olan fakat yüksek hacim ve kirletici içerikleri sebebiyle bertarafı zor olan membran konsantreleri, %75-80 oranında su geri kazanımı olacak şekilde belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra Şekil 2'de gösterilen yenilikçi bütünlük İOP/batık UF sistemi ile oksidasyona tabi tutulmuştur. Daha önceden belirlenen optimum işletme şartlarında yürütülen oksidasyon deneylerinde asıl amaç membran konsantre yükünün azaltılmasıdır.



1: Su banyosu, 2: Hava pompası, 3: Debi ölçer, 4: İOP/UF hibrit reaktörü, 5: Difüzör, 6: Online sıcaklık ölçer, 7: Batık UF membran, 8: UF süzütü hattı, 9: Peristaltik pompa, 10: UF süzütüsü, 11: Güç paneli, 12: Elektrik hattı, 13: Lamba bağlantısı, 14: UVA lambası, 15: Kuvarz camla kaplı UVC lambası.

Şekil 2: Kesikli tezgâh-üstü ileri oksidasyon prosesi/batık ultrafiltrasyon (İOP/batık UF) hibrit reaktörü.

Deneysel çalışmaların farklı sıcaklıklarda yürütülebilmesi için 3 L kapasiteli borosilikat camdan üretilmiş olan tezgâh üstü İOP/batık UF hibrit reaktörüne su banyosu bağlantısı yapılmıştır. Reaktör ile birlikte kullanılan bütün metal parçalar paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Foto-Fenton prosesinde, UVC-254 ve UVA-365 olmak üzere iki ayrı lamba türü kullanılmıştır. Reaktör, içerisine monte edilip sökülüp takılabilir kuvars cam korumalı 4 adet 10 Watt (toplam 40 Watt) UVC-254 lamba sistemi ile simetrik yerleşimde donatılmış olup, her bir UVC lamba, harici bir enerji kaynağı kullanılarak ayrı ayrı devreye alınabilmektedir. Reaktör haznesi dışarıdan monte edilip sökülüp takılabilir, toplamda 8 Watt'lık (toplam 40 Watt) floresan ışık düzenekli 5 adet UVA-365 lambalar ile donatılmıştır. Batık membran filtrasyon sistemi 39.4 cm<sup>2</sup> (dikdörtgen ebatlı, 14.6 cm x 2.7 cm) aktif membran alanına sahip bir batık membran modül içermektedir. Membran modül, 3 L'lik İOP reaktörü içerisine yerleştirilerek UVC-254 lambalarıyla simetrik yerleşimli nitelikte tamamıyla suya batık işletilmiştir. Membran modülü Delrin® malzemeden imal edilmiş, batık İOP reaktör

sisteminde yer alan reaktör haznesi içerisine monte edilip, sökülüp takılabilir ve yüzeyde hava sıyırma amacıyla istenen açıda eğilendirilebilir şekilde imal edilmiştir. Membranın modül içerisinde sabitlenmesi, çalışma sırasında sızdırmazlık sağlamak amacı ile paslanmaz çelik malzemeden yapılmış modül üst bağlantı elemanı ile sağlanmıştır.

Batık membran filtrasyon sistemi, su akışının belirlenmesi amacıyla peristaltik pompa yardımı ile membrandan geçen su hacmini ölçen bir terazi ile donatılmış; bu sayede, bilgisayar ve otomasyona bağlı yazılım üzerinden membranın su akışı ölçülerek veriler eşzamanlı olarak izlenerek kaydedilmiştir. İOP/batık UF hibrit reaktörü; farklı sıcaklık, havalandırma hızı, UF membranlardan su çekim hızı, ışık şiddeti ve ışık türünde işletilebilir niteliktedir.

## 2.2 Tekstil endüstrisi atıksu karakterizasyonu

Bu çalışmada membran filtrasyonu ile bütünlük İOP (Fenton veya foto-Fenton)/batık UF sistemi ile yürütülen deneylerde kullanılan tekstil endüstrisi atıksuyu, tekstil ürünleri üretim faaliyetlerinde bulunan bir tekstil fabrikasının tekstil ürünleri yıkama ünitesinden alınmış gerçek atıksular olup, atıksuyun karakterizasyon sonuçları ortalama değerler olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Tekstil yıkama atıksuyu ortalama karakterizasyon sonuçları.

Parametre	Birim	Ölçüm Yöntemi	Ort.
pH	-	Multiparametre yöntemi	6.2
Ei	µS/cm	kullanılarak Hach HQ440d cihazı	706
TÇK	mg/L		345
TOK	mg/L	Yüksek sıcaklıkta (750 °C) katalitik oksitleme yöntemi	322
KOI	mg/L	5220 D: Kapalı reflux kalorimetrik yöntemi	1116
Renk	*λ <sub>ort.</sub>	HACH Lange DR5000	0.059
Cl <sup>-</sup>	mg/L	spektrofotometre ile Dr Lange	21.94
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	küvet testleri	434

\*λ<sub>ortalama</sub>: Her dalga boyunda ölçülen absorbanların kareleri toplamının absorbanların toplamına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama değerdir.

## 2.3 Membranlar

Sürekli işletimli çapraz akış membran filtrasyonunda kullanılan UF, NF ve TO membranları ile kesikli yenilikçi ileri oksidasyon prosesi/batık ultrafiltrasyon (İOP/batık UF) hibrit reaktöründe kullanılan UF membranlarının genel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

## 2.4 İOP/UF Membran sisteminde uygulanan optimum işletme şartları

Literatürde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında; tekstil endüstrisi atıksuları için etkinlikleri bilinen UF/NF/sıfık/TO sistemleri ile atıksuyun kendi pH'sın da, aynı sıcaklık (25 °C) ve basınç (sırasıyla 8, 12 ve 40 bar) değerlerinde büyük basınçlı sistemde 600 L/sa karıştırma hızında deneyler yürütülmüştür [21]. Elde edilen UF, NF ve TO konsantreleri belirlenen oranlarda karıştırılarak, Tablo 3'teki optimum işletme şartlarında İOP (Fenton ve foto-Fenton)/ UF membran sistemi ile arıtmaya tabi tutulmuştur. Böylece yoğun su tüketimi olan tekstil endüstrisi atıksularının geri kazanımı anında oluşan konsantr atık minimizasyonu da sağlanmıştır.

## 2.5 Analitik yöntemler

Kesikli ve sürekli deneylerde proses performansları; pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), renk, klorür ve sülfat gibi su kalite parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Tüm deneyler

Standart Metotlar APHA [22]'ya uygun olarak yapılmıştır. pH, iletkenlik ve TÇK parametrelerinin analizleri çoklu parametre ölçüm cihazı (Hach HQ440d-Hach-Lange GmbH) ile yerine getirilmiştir. TOK ölçümleri yüksek sıcaklıkta katalitik yakma yöntemi ile Teledyne Tekmar LOTIX karbon analiz cihazında yapılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 5220 D: Kapalı reflux kalorimetrik yöntemi ile yapılmıştır. Renk, klorür, sülfat, demir (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>) analizleri HACH Lange DR6000 spektrofotometre ile Lange küvet testleri kullanılarak yürütülmüştür. Analizlerde, kalıntı hidrojen peroksitten kaynaklanan KOİ girişimlerini belirlemek amacıyla, KOİ-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> düzeltme deneyleri yapılarak, elde edilen  $y=0.4054x$  denkleminde ([KOİ]=0.4054 x [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]) tüm deneyler için KOİ düzeltmeleri yapılmıştır.

## 2.6 Teknik performans

Besleme akımını konsantre etme şartlarında gerçekleştirilen kesikli deneysel çalışmalarda, NFgevşek ve NFsıkı deneyleri için "süzüntü akıları" Eşitlik (1)' e göre hesaplanmıştır;

$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; J-süzüntü akısı (L/m<sup>2</sup> sa.); A-etkili membran alanı (m<sup>2</sup>); V-toplam süzüntü hacmi (m<sup>3</sup>) ve t-filtrasyon süresini belirtmektedir.

Kesikli deneylerde "kirletici madde giderme performansları", membran süzüntü akımından alınan kompozit numunelerde yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Proseslerde membranların kirletici ayırma veya giderme verimleri, her bir parametre için Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_s}{C_k}\right) \times 100 \quad (2)$$

Bu eşitlikte, R-kirletici madde giderim performansını (%); C<sub>s</sub>-konsantre modunda deney sonunda süzüntüdeki kirletici

madde konsantrasyonunu (mg/L); C<sub>k</sub>-deney sonunda konsantredeki kirletici madde konsantrasyonunu (mg/L) vermektedir [19].

## 3 Sonuçlar ve tartışma

### 3.1 Etkinliği bilinen membran filtrasyonu ile arıtım

Tekstil atıksuyu için su geri kazanım etkinlikleri literatürden bilinen üç aşamalı UF/NFsıkı/TO ardışık seri membran kombinasyonu [21] dâhilinde basınçlı çapraz akış membran filtrasyon sistemi ile 25 °C sıcaklıkta ve sırasıyla 8, 12 ve 40 bar'lık trans membran basınçlarında 600 L/sa karıştırma hızında sürekli şartlarda su geri kazanımı sağlanmıştır. Daha önce yapılan deneysel çalışmalar sonucunda belirlenen en uygun membran konfigürasyonu UH050/NF270/LFC-3 [20] membranlar kullanılarak yapılan uzun süreli filtrasyon deneyleri sonucunda elde edilen UF, NFsıkı ve TO membran süzüntü akıları Şekil 3'te, konsantre ve süzüntü akımlarındaki su kalite parametre değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

Büyük basınçlı sistemde üç kademeli UH050/NF270/LFC-3 membran konfigürasyonu ile sürekli şartlarda ardışık olarak %75-80 su geri kazanım oranı dahilinde UF membran 5 gün, NFsıkı membran 4 gün, TO membran 2 gün işletilmiştir.

Etkinliği bilinen sürekli işletimli basınçlı sistemlerle yürütülen deneysel çalışmaların sonunda, ham tekstil atıksuyunun 3 kademeli membran filtrasyonu sonucunda, UH050 membranda 5. gün sonunda 50 L/m<sup>2</sup>.sa'lik süzüntü akısında %91.6 KOİ, %90.5 TOK, NF270 membran ile 4. gün sonunda 60 L/m<sup>2</sup>.sa'lik süzüntü akısında, %96.7 KOİ, %95.5 TOK giderimi elde edilirken, son olarak elde edilen süzüntünün LFC-3 TO membrandan geçirilmesi sırasında 80 L/m<sup>2</sup>.sa'lik süzüntü akısında, %98.8 KOİ giderimi ile KOİ değeri 4 mg/L'ye, %96.8 TOK giderimi ile TOK değeri 1.7 mg/L'ye kadar düşmüştür.

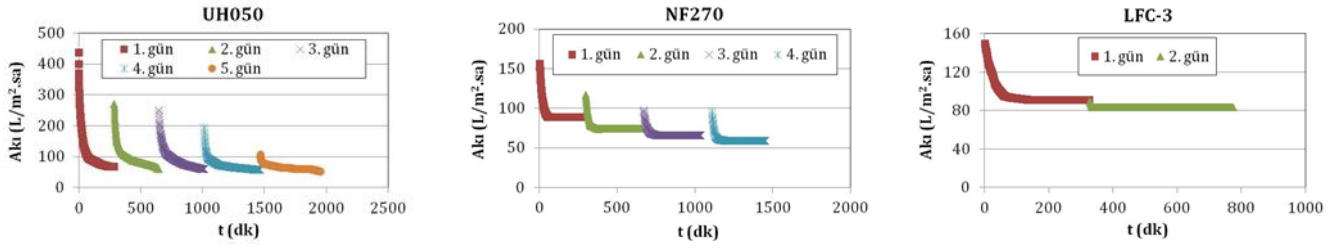
Tablo 2: Kullanılan membranların genel özellikleri [20].

Membranlar	Üretici Firma	Materyal	MWCO (Da)	pH	Temiz Su Akısı L/m <sup>2</sup> .sa.bar (25 °C)
UH050	Microdyn @Nadir	PES (Polietersülfon)	50000	0-14	>250
UV150	Microdyn @Nadir	PVDF (Poliviniliden florid)	150000	2-11	>200
NF270	DOW Filmtch	Poliamid İnce Film Kompozit	200-300	4-10	13.3
LFC-3	Hydranautics (Nitto Denko)	Kompozit Poliamid	100-200	3-10 2-10	3.01

Tablo 3: Fenton ve foto-Fenton/UF membran prosesleri için optimum işletme şartları [20].

Parametre	Açıklaması	Birim	Fenton Prosesi	Foto-Fenton Prosesi (UVA-365)	Foto-Fenton Prosesi (UVC-254)
t	Zaman	dk	60.0	60.0	41.0
T	Sıcaklık	°C	26.5	40.0	40.0
pH	pH	-	3.73	4.0	4.44
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /TOK	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /TOK oranı	g/g	6.00	7.75	9.88
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup> oranı	g/g	15.0	10.75	7.27
v <sub>H</sub>	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk.	1.8	1.00	2.89
I <sub>ş</sub>	Işık şiddeti	Adet	-	3 lamba	3 lamba
I <sub>T</sub>	Işık türü	-	-	UVA-365	UVC-254
v <sub>şç</sub>	UF membranda su çekim hızı	rpm	80	71.1	64.7
M <sub>T</sub>	Membran türü	-	UH050	UV150	UH050





Şekil 3: Etkinliği bilinen basınçlı sistemlerle sürekli şartlarda UF, NF sıkı ve TO membranların akı değerleri.

Tablo 4: Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle UF/NFsıkı/TO prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları

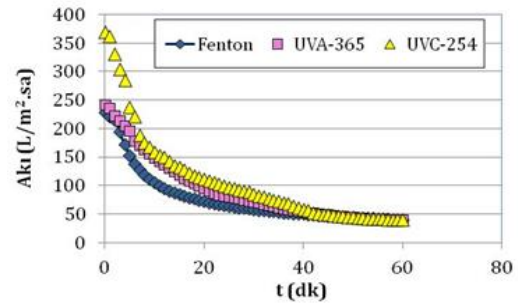
Parametre	Ham Atıksu	UF Prosesi			NF Sıkı Prosesi			TO Prosesi		
		Konsantr	Süzüntü	Giderim Verimi (%)	Konsantr	Süzüntü	Giderim Verimi (%)	Konsantr	Süzüntü	Giderim Verimi (%)
pH	6.2	7.89	7.05	-	8.65	8.57	-	8.45	6.47	-
İletkenlik (µS/cm)	706	1384	495	64.2	1880	121.2	93.6	571	4.01	99.3
TÇK (mg/L)	345	688	240	65.1	945	57.3	93.9	278	1.83	99.3
KOİ (mg/L)	1116	2672	225	91.6	808	26.4	96.7	330.4	4	98.8
TOK (mg/L)	322	770	71.7	90.5	218	9.9	95.5	52.8	1.7	96.8
Renk ( $\lambda_{ort}$ ) (A)	0.059	0.325	0.005	98.3	0.03	0	100	0.025	-	98.6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	434	479	467	2.5	469	86	81.3	93.4	1.68	98.2
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	21.94	36.8	18.7	49.2	81.7	32.8	59.8	41.6	0	100
Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	0.377	0.012	0.001	91.7	0.629	0.126	80	0.581	0	100
Fe <sup>3+</sup> (mg/L)	1.28	0.01	0	100	0.64	0	100	0.573	0	100

Auoni ve diğ. (2012) yaptıkları benzer çalışmada, tekstil atıksularında, polietersulfon UF 10kDa ve NF270 membranları ile % 80-100 oranlarında KOİ giderimi elde etmişlerdir. UF ve NF 270 membranları ile bu çalışmada da olduğu gibi, %80 oranında iletkenlik, %95 üzerinde KOİ ve %98 giderim verimi üzerinde renk giderimi sağlamışlardır.

### 3.2 Bütünleşik İOP/batık UF sistemi ile konsantr artımı

UH050/NF270/LFC-3 ardışık seri prosesi kombinasyonu ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen UF, NF ve TO konsantrleri %80 su geri kazanım oranı dahilinde belirlenen miktarlarda karıştırıldıktan sonra bütünleşik İOP/batık UF sistemi ile minimize edilmiştir. Yapılan İOP/batık UF sistemi için Tablo 3'te verilen optimum işletme şartlarında oksidasyona tabi tutulmuştur. Elde edilen 7.5 L'lik konsantr karışımı Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254)/batık UF deneylerinde kullanılmak üzere üçe ayrılmış ve her konsantr için İOP deneyleri öncesinde karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Konsantr karışımlarının pH değeri optimum işletme şartlarına uygun olarak, Fenton prosesi için 3.73, foto-Fenton UVA-365 ve UVC-254 nm ışık türü için 4.0 ve 4.44 olarak ayarlanmıştır. Fenton prosesi için UH050, foto-Fenton prosesinde UVA-365 ışık türü için UV150 ve UVC-254 ışık türü için ise, UH050 membranları kullanılmıştır. Her üç prosesi için UF membranlarına ait süzöntü akı değerleri Şekil 4'teki gibidir. Şekilden de görüldüğü üzere, aynı süreler sonunda her üç prosesi için elde edilen süzöntü akı değerleri birbirine çok yakındır. Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254)

oksidasyon deneyleri sonucunda elde edilen İOP/UF süzöntü suyu kalite değerleri Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 4: Konsantrlerin bütünleşik İOP/batık UF hibrit prosesi ile artımında UF membranlara ait süzöntü akı değerleri.

Membranlardan çıkan konsantrlerin karıştırıldıktan sonra bütünleşik İOP/batık UF sistemi ile artımında, inorganik kalite parametrelerinin gideriminde bütünleşik sistemin etkin olmadığı açıkça görülmektedir. Organik madde giderimleri ve süzöntü akı değerleri dikkate alındığında ise, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosenin 9.88 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK ve 7.27 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> oranlarında, 44.16 L/m<sup>2</sup>.sa'lık süzöntü akısında %86 KOİ giderimi ile KOİ değeri 167 mg/L'ye ve %74.2 TOK giderimi ile TOK değeri 104 mg/L'ye kadar düşürülerek en iyi performans gösteren yenilikçi prosesi olmuştur. Buradan elde edilen çıkış suyu, etkinliği bilinen UF/NFsıkı/TO membran konfigürasyonunda belirli sürelerde NFsıkı girişine verilerek konsantr minimizasyonu sağlanmış olacaktır.

Tablo 5: UF, NF ve TO membran konsantre karışımının İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) prosesleri ile arıtımı sonucunda elde edilen kalite değerleri.

Parametre	İOP (Fenton)/UF(UH050)			İOPfoto-Fenton(UVA)/UF(UV150)			İOPfoto-Fenton(UVC)/UF(UH050)		
	Konsantre Karışımı	UF Süzüntü Çıkışı	Giderim Verimi (%)	Konsantre Karışımı	UF Süzüntü Çıkışı	Giderim Verimi (%)	Konsantre Karışımı	UF Süzüntü Çıkışı	Giderim Verimi (%)
pH	3.73	2.24	-	4.00	2.44	-	4.44	2.73	-
İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2021	4650	-	1785	4040	-	1702	3800	-
TÇK (mg/L)	1019	2430	-	895	2097	-	853	1971	-
TOK (mg/L)	384	184	52.0	398	119	70.1	403	104	74.2
KOI (mg/L)	1176	353	70.0	1192	250	79.0	1192	167	86
Renk ( $\lambda_{\text{ort}}$ ) (abs)	0.179	0.166	7.4	0.196	0.051	73.9	0.340	0.059	82.5
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	56.7	2.5	95.6	53.0	70.7	-	56.0	67.5	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	477	604	-	455	569	-	568	1023	-
Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	-	11.5	-	-	253.8	-	-	349.4	-
Fe <sup>3+</sup> (mg/L)	-	81.3	-	-	12.2	-	-	12.8	-
J (L/m <sup>2</sup> .sa)		41			41			44	

Guimaraes ve diğ. (2012) yapmış oldukları deneysel çalışmada, ileri oksidasyon proseslerinde daha az kimyasal kullanımının çevresel açıdan önemli olduğunu ve oksidasyon sonucunda oluşan çamur miktarının da bu yolla azaltılabileceğini vurgulamışlardır. Buradan hareketle, tekstil atıksuyunun arıtımında foto-Fenton prosesinin, Fenton prosesine göre aynı demir konsantrasyonunda çok daha az H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak gerçekleştirilmesinin avantajlı olduğunu vurgulamışlardır. Gumaraes ve diğ. (2012) reaktif mavi 19 boyasında Fenton prosesi ile %36.8 çözünmüş organik karbon (ÇOK) ve %98'den fazla renk giderimi gözlemlenmişler ve foto-Fenton uygulaması ile bu değerlerin sırasıyla %94.5 ve %99.4'lere kadar çıktığını belirtmişlerdir. Biyolojik arıtım sonrasında foto-Fenton uygulamasında ise, ÇOK %88, renk %85, KOİ %80 ve BOİ %98 oranında giderilmiştir [6]. Vilar ve diğ. (2011), pilot tesis ile yapmış oldukları deneysel çalışmada, tekstil atıksuyundan 100 mg/L Fe<sup>2+</sup> konsantrasyonunda solar-foto-Fenton prosesi ile %98 renk giderimi ve %89 mineralizasyon sağlamışlardır [1]. Torrades ve diğ. (2014) belirledikleri optimum işletme şartlarında (pH 3, 73.5 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 1.79 mM Fe<sup>2+</sup> şartlarında) 120 dk.'nın sonunda Fenton prosesi ile %62.6, foto-Fenton prosesinde %76.3 KOİ giderimi sağlamışlardır [9].

### 3.3 Membran konsantre yönetimi

Basınç sürücülü membran proseslerin (MF, UF, NF ya da TO) ardışık seri proses kombinasyonlarıyla bütünlük bir membran arıtma sisteminde kullanılmaları, sistemin arıtılmış su çıkış hattında rölatif olarak düşük su geri kazanım oranıyla işletmelerine sebep olmaktadır. Bu da, bertaraf zorunluluğu olan fakat yüksek hacim ve kirletici içerikleri sebebiyle bertarafı zor olan membran konsantreleri oluşumuna neden olmaktadır. Membran proseslerin evsel ve endüstriyel atıksu uygulamalarında kullanılan yaygın konsantre yönetim metodları: (i) yeniden kullanma (konsantre gıda, gübre, yakıt vb.) (ii) daha fazla arıtma (aktif çamur, fiziko-kimyasal arıtma,

evaporasyon gibi) (iii) doğrudan veya dolaylı yüzeysel su kaynaklarına deşarj (örn.; kanalizasyon şebekesiyle dolaylı deşarj), (iv) doğrudan veya dolaylı yeraltı sularına deşarj (sulama, evaporasyon havuzu, derin kuyu deşarjı), (v) arazide depolama (ön arıtma sonrası sıvı veya katı atık olarak), ve (vi) sıfır sıvı deşarjı uygulamaları (düzenli depolama ve yakma'dır [17],[24]. Ancak, endüstride bu tür bertaraf yöntemleri, genellikle, düşük hacimli membran konsantrelerine uygulanmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi, yoğun su tüketiminin söz konusu olduğu endüstriler için ise, sadece ülkemiz için değil aynı zamanda Dünya geneli için de, daha etkin çevre korumaya odaklanmış yenilikçi konsantre yönetim yaklaşımlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Basınç sürücülü membran prosesler kullanılarak, yoğun su tüketilen endüstrilere ait atıksulardan yüksek miktarlarda ve iyi kalitede su geri kazanımıyla birlikte oluşan konsantrenin yönetiminin amaçlandığı bu çalışmada, sürekli işletim şartları altında oluşan membran konsantrelerinin bütünlük İOP/batık UF ile entegre arıtımı gerçekleştirilmiştir. Düşük membran kirlenmesi eğilimine ve asgari konsantre atık oluşumuna imkan sağlayan bu sistem sonucunda Fenton, foto-Fenton arıtımı sonucunda oluşan İOP/UF konsantreleri TUBİTAK MAM' da analiz ettirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da özetlenmiştir.

## 1 Sonuçlar

Ham tekstil atıksuyunun etkinliği bilinen sürekli işletimli büyük basınçlı sistemlerle yürütülen deneysel çalışmalarının sonunda, 3 kademeli membran filtrasyonu ile UH050 membranda 5. gün sonunda 50 L/m<sup>2</sup>sa süzüntü akısında %91.6 KOİ, %90.5 TOK, NF270 membran ile 4. gün sonunda 60 L/m<sup>2</sup>sa'lık akıda %96.7 KOİ, %95.5 TOK giderimi elde edilirken, son olarak LFC-3 membranla 80 L/m<sup>2</sup> sa süzüntü akısında %98.8 KOİ giderimi ile KOİ değeri 4 mg/L'ye, %96.8 TOK giderimi ile TOK değeri 1.7 mg/L' ye kadar düşmüştür.

Tablo 6: Bütünleşik İOP/batık UF membran sistemi ile arıtımı sonucu konsantre bertaraf/teknoloji tablosu.

Örnek No	Fenton Prosesi	Foto-Fenton Prosesi (UVA-365)	Foto-Fenton Prosesi (UVC-254)
Atık Türü/İsmi	Tekstil atıksuyu	Tekstil atıksuyu	Tekstil atıksuyu
AYY Analizi	Tehlikeli(Zararlı) Atık	Tehlikesiz Atık	Tehlikeli(Zararlı) Atık
Tehlikelilik Özelliği	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı	H4-Tahriş edici	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı
Bertaraf/Geri Kazanım Yöntemleri			
Düzenli Depolama	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli
Yakma (Lisanslı)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun	Mümkün değil (Organik içeriği susuzlaşma halinde de düşük olacaktır-yüksek kalorifik atıkla paçallama denenebilir)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun
Katılaştırma	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.
Dengeleme+ Distilasyon	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir).	Organik açıdan yeterince zengin değil	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir).
Yeniden Kullanım Yöntemleri			
Dengeleme+ Distilasyon sonrası	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir).	Organik açıdan yeterince zengin değil	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir).
Merkezi atıksu arıtmaya vererek	Arıtılmış sular tehlikeli atık grubunda yer alsa bile, ön arıtılmış atıksu kapsamında değerlendirilerek; uygun debi ve/veya karışım oranları sağlanmak şartıyla merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisindeki atıksularla karıştırma yapılarak sonrasında nihai arıtmayla bertaraf edilebilir.		

Büyük sistemde UH050/NF270/LFC-3 membran konfigürasyonu ile %80 oranlarında su geri kazanımı tamamlandıktan sonra elde edilen konsantre karışımları, belirlenen optimum şartlarda ardışık işletme koşullarında sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA) ve foto-Fenton (UVC) ile oksidasyona tabi tutulmuştur. Etkinliği bilinen sistemlerde, elde edilen membran konsantrelerinin bütünleşik İOP/batık UF membran ile arıtımında organik madde giderimleri ve süzöntü akı değerleri dikkate alındığında, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosesinin 9.88 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK ve 7.27 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> oranlarında, 44 L/m<sup>2</sup> sa'lık süzöntü akısında %86 KOİ ve %74.2 TOK giderimi ile 167 mg/L KOİ ve 104 mg/L TOK çıkış değerlerinde en iyi performans gösteren yenilikçi proses olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekstil endüstrisi atıksularının etkinliği bilinen UF/NFsıkı/TO membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımlarının Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve (UVC-254) prosesleri ile oksidasyonu sonrası oluşan konsantrelerin tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri değerlendirildiğinde tekstil endüstrisi atıksularının foto-

Fenton (UVA-365) ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre haricinde diğer tüm konsantrelerin tehlikeli özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Konsantrelerin bertaraf/geri kazanım yöntemleri ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde, gerekli düzenlemeler (nem içeriği, susuzlaştırma, uygun debi ve/veya karışım oranları) yapıldığı takdirde bu konsantrelerin düzenli depolama, yakma ve merkezi atıksu arıtma sistemine verme gibi seçeneklerle bertaraf edilebileceği sonucuna varılmıştır.

## 5 Teşekkür

Bu çalışma TUBİTAK tarafından desteklenmiş olan 113Y352 No.lu "Yoğun Su Tüketilen Endüstrilerde Bütünleşik İleri Oksidasyon/Membran Filtrasyon Sistemi ile Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi" başlıklı TÜBİTAK 1003 proje kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar, bu desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

## 6 Kaynaklar

- [1] Vilar V, Pinho L, Pintor A, Boaventura R. "Treatment of textile wastewaters by solar-driven advanced oxidation processes". *Solar Energy*, 85(9), 1927-1934, 2011.

- [2] Marcucci M, Ciardelli G, Matteucci A, Ranieri L, Russo M. "Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes". *Desalination*, 149, 137-143, 2002.
- [3] Perez M, Torradesa F, Domenech X, Peral J. "Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents". *Water Research*, 36(11), 2703-2710, 2002.
- [4] Bes-Pia A, Iborra-Clar A, García-Figueruelo C, Barredo-Damas S, Alcaina-Miranda MI, Mendoza-Roca J A, Iborra-Clar MI. "Comparison of three NF membranes for the reuse of secondary textile effluents". *Desalination*, 241(1-3), 1-7, 2009.
- [5] Bes-Piá A, Cuartas-Urbe B, Mendoza-Roca J A, Alcaina-Miranda M I. "Study of the behaviour of different NF membranes for the reclamation of a secondary textile effluent in rinsing processes". *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 341-348, 2010.
- [6] Gumaraes JR, Maniero M G, de Araujo R N. "A comparative study on the degradation of RB-19 dye in an aqueous medium by advanced oxidation processes". *Journal of Environmental Management*, 110, 33-39, 2012.
- [7] Prieto o, Feroso J, Nunez Y, del Valle J L, Irusta R. "Decolouration of textile dyes in wastewaters by photocatalysis with TiO<sub>2</sub>". *Solar Energy*, 79(4), 376-383, 2005.
- [8] Karthikeyan S, Titus A, Gnanamani A, Mandal A B, Sekeran G. "Treatment of textile wastewater by homogenous and heterogeneous Fenton oxidation processes". *Desalination*, 281, 438-445, 2011.
- [9] Torrades F and Garcia-Montano J. "Using central composite experimental design to optimize the degradation of real dye wastewater by Fenton and photo-Fenton reactions". *Dyes and Pigments*, 100, 184-189, 2014.
- [10] Arslan-Alaton İ. "Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozone". *Journal of Environmental Management*, 82(2), 145-154, 2007.
- [11] Liu M, Lü Z, Chen Z, Yu S, Gao C. "Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse". *Desalination*, 281, 372-378, 2011.
- [12] Sethi, S, Walker S, Drewes J, Xu P. "Existing & emerging concentrate minimization & disposal practices for membrane systems". *Florida Water Resources Journal*, 40-48, 2006.
- [13] Aouni A, Fersi C, Cuartas-Urbe B, Bes-Pia A, Alcaina-Miranda M I, Dhahbi M. "Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes". *Desalination*, 297, 87-96, 2012.
- [14] Mozia S, Morawski AW. "Hybridization of photocatalysis and membrane distillation for purification of wastewater". *Catalysis Today*, 118(1-2), 181-188, 2006.
- [15] Grzechulska-Damszel J, Tomaszewska M, Morawski AW. "Integration of photocatalysis with membrane processes for purification of water contaminated with organic dyes". *Desalination*, 241(1-3), 118-126, 2009.
- [16] Feng F, Xu Z, Li X, You W, Zhen Y. "Advanced treatment of dyeing wastewater towards reuse by the combined Fenton oxidation and membrane bioreactor process". *Journal of Environmental Science*, 22(11), 1657-1665, 2010.
- [17] Bruggen BV, Lejon L, Vandecasteele C. "Critical review: Reuse, treatment, and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes". *Environmental Science & Technology*, 37(17), 3733-3738, 2003.
- [18] Perez-Gonzales A, Urriaga AM, Ibanez R, Ortiz I. "State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates". *Water Research*, 46, 267-283, 2012.
- [19] Yaşar A, Can Doğan E, Ayberk H S, Aydınler C. "Kentsel arıtılmış atıksulardan sulama suyu geri kazanımında ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon proseslerinin etkinliklerinin belirlenmesi." 11. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Bursa, Türkiye, 5-17 Ekim 2015.
- [20] TÜBİTAK 1003 Projesi 1. Ara Rapor, Proje No: 113Y352, "Yoğun Su Tüketilen Endüstrilerde Bütünleşik İleri Oksidasyon/Membran Filtrasyon Sistemi ile Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi."
- [21] Vergili I, Kaya Y, Sen U, Gönner ZB, Aydınler C. "Techno-economic analysis of textile dye bath wastewater treatment by integrated membrane processes under the zero liquid discharge approach." *Resources Conservation and Recycling*, 58, 25-35, 2012.
- [22] APHA, AWWA. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewaters*, 21<sup>th</sup> ed. Washington, USA, American Public Health Association Publication, 2005.
- [23] Aouni A, Fersi C, Cuartas-Urbe B, Bes-Piá A, Alcaina-Miranda M.I, Dhahbi M. "Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes". *Desalination*, 297, 87-96, 2012.
- [24] Mickley MC. "Membrane Concentrate Disposal: Practices and Regulation". *Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 123 (2<sup>nd</sup> Ed.)*, US. Department of the Interior-Bureau of Reclamation, 2006.



Copyright of Pamukkale University Journal of Engineering Sciences is the property of Pamukkale University Journal of Engineering Sciences (PAJES) and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.