

Tekstil Atıksularının Batık Fungal Membran Biyoreaktör İle Arıtılabilirliği Ve Su Geri Kazanımı

¹Ece Ü. DEVECİ

²Nadir DİZGE

¹Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Merkez Yerleşke Niğde, TÜRKİYE

²Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çiftlikköy Kampüsü, Mersin
TÜRKİYE

Özet

Tekstil endüstrisi, Türkiye'de en hızlı gelişen sanayilerin başında gelmektedir. Bu hızlı gelişim, yüksek debilerde ve farklı kimyasal içerikli atıksuların oluşmasına neden olmaktadır. Tekstil fabrikalarında ortaya çıkan renkli atıksuların, doğrudan alıcı su ortamlarına verilmeleri halinde anaerobik koşullarda toksik ve kanserojen aromatik aminleri oluşturmaktadır. Dünyada genelinde, 2004-2005 yıllarında 652,000 ton olan boya ihtiyacı, 2010-2011 yıllarında 900,000 tona kadar çıkmıştır. Genel olarak yıllık boya ihtiyacı %6,5 artış göstermektedir.

Bu atıksuların büyük kısmı ağartma, boyama ve yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Boyar madde başta olmak üzere asit, baz, deterjan, tuz ve kullanılan diğer kimyasallar atıksuda kirlilik yaratan kirleticilerdir. Tekstil atıksularında bulunan fenolik bileşikler, arıtma proseslerinde sistemin inhibisyonu gibi probleme neden olmaktadır.

Bu çalışmada fungal membran biyoreaktör ile fenolik ve toksik etkili organik bileşiklerin degradasyonu araştırılmıştır. Ayrıca atıksuyun yüksek arıtım verimiyle arıtılarak çıkış suyunun sistem içerisinde tekrar kullanılmasına olanak verecek metod ve çalışmaların bir derlemesidir. Bu çalışma TUBİTAK 1002 (113 Y 334 nolu Proje) projesi olarak desteklenmekte olup devam etmektedir. Fungal membran biyoreaktörlerin kullanıldığı sistemlerin endüstriyel ölçüde faaliyete geçmesi ve hibrit sistemlerin içerisinde kullanılması, üretim sırasında su kullanımının azalmasını ve su kaynaklarına verilecek olan kirliliğin giderilmesini sağlayacaktır. Fungal biyoreaktörlerin kullanılmasıyla, KOİ giderimi %70-75 oranında, TOC giderimi %65-70 oranında gerçekleşmektedir. Membran biyoreaktörlerin olduğu sistemlerin kullanılması sistem verimliliğini hem KOİ hem de TOK giderim verimliliğini %95-99 oranına kadar çıkarmaktadır. Bu veriler hibrit sistemler içerisinde kullanılan fungal membran biyoreaktörlerle arıtılmış suyun geri kullanımının arttırılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Boyar Madde, Fungal membran biyoreaktör, atıksu arıtma sistemleri

Abstract

Textile industry is one of the most developing sectors in Turkey Industry. This rapid progress cause high flow rate of waste waters with different chemical content. Toxic and carcinogenic aromatic amines occurred under anaerobic conditions when the colored textile dye industry waste waters discharged directly to receiving environment. Worldwide dye requirement in 2004-2005 was 653,000 tons later on at 2010-2011 period was reach to 900,000 tons. Annual increase for dye requirement is 6,5% in general.

Most of these wastewaters sourced from bleaching, dyeing and washing stems. Dyes, especially acids, bases, detergents, salts and other used chemicals are the pollutants in waste water. Phenolic compounds found in textile wastewater, causes problems such as inhibition of treatment processes.

In this experiment, degradation of phenolic toxic organic compounds with fungal membrane bioreactor investigated. In addition, it's a review study which includes the methods for treating the waste water with high efficiency and allows re-using the treated water in the system. This study has supported by TUBİTAK 1002 (Project No. 113 Y 334). When the fungal membrane bioreactors starts to be use in industrial scale with hybrid systems, it will effect to decrease of used water during production process and also the pollution for water

sources will be treated. With using fungal bioreactors, 70-75% COD removal, 65-70% TOC removal is realized. The uses of membrane bioreactor system raise the efficiency in both COD and TOC removal up to 95-99% rate. These results shows that the treated water re-uses amount can be increased with using fungal membranes with the hybrid systems.

Keywords: Dyes, fungal membrane bioreactor, wastewater treatment systems

GİRİŞ

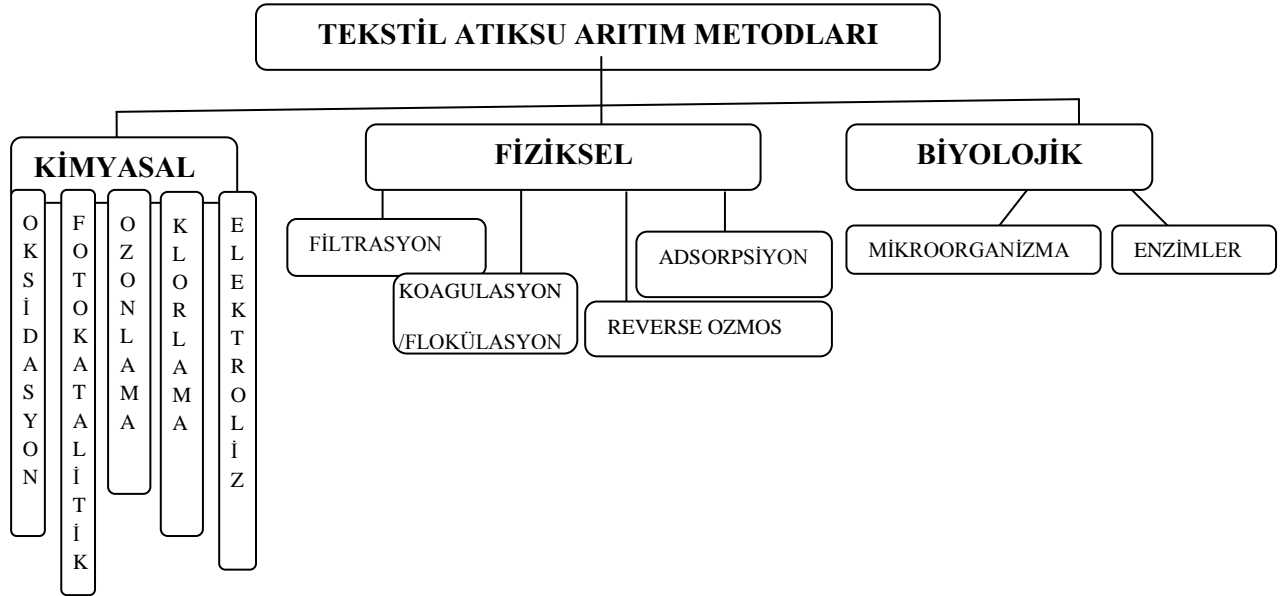
Tekstil sanayisi çeşitli endüstri kolları arasında yüksek su tüketimi ile bilinir. Orta boyutta kapasiteye sahip bir tekstil fabrikasında günlük su tüketimi 2000-3000 m³ düzeyindedir. Tekstil işletmelerinde kullanılan suyun büyük miktarını proses suyu oluşturur. Tekstil atıksularında organik madde içeriğinin yüksek oluşu, pH'nın yüksek oluşu, toksik maddelerin bulunması, sıcaklığın yüksek oluşu, deterjan ve sabun içeriğinin olması, yağ ve gres, sülfür, katı maddeler ve alkalinite içermesi şeklinde özetlenebilir. Bu atıksularda çoğunlukla, boyalar, taşıyıcılar, krom ve türevleri ile sülfür bulunabilmektedir.

Tekstil atıksularının boyamasında ayrışmaya karşı çok dayanıklı boyaların kullanılması istendiğinden, oluşan boya artıkları da biyolojik ayrışmaya karşı dayanıklıdır ve zor ayrışır. Ayrıca atıksulardaki pH'nın yüksek olması (pH>9.5) biyolojik arıtmayı engeller. Bu nedenle biyolojik arıtma öncesi pH'nın ayarlanması gereklidir. Ayrıca boyanın kendi yapısından kaynaklı olarak kromatlar, sülfürler, klorürler ve hidrojen peroksit gibi toksik bileşikler de içerebilmektedir. Atıksu, biyolojik arıtım için besin maddeleri (N ve P) yönünden eksiklik gösterebilir. Azotlu atıklar boyama işlemlerinden suya karışmaktadır. Ancak bazı işletmelerde atıksudaki fosfor içeriği yüksek olabilmektedir. Boyama işlemi atıksularında çözünmüş katı madde miktarı ve KOİ yüksektir [1].

Tekstil endüstrisinde, doğal ve sentetik malzemeleri boyamada yaygın olarak kullanılan azo boyarmaddeler; azot-azot çift bağ (-N=N-) yapısındadır ve biyolojik olarak aerobik koşullarda giderilememektedir. Anaerobik koşullarda renk giderimi azo bağların kırılması ile sağlanmakta, ancak bu durumda boyarmaddeden daha toksik aminler oluşmaktadır. Biyolojik yöntemler dışında aktif karbon, filtrasyon gibi fiziksel yöntemlerle de organik maddelerin giderilme olanağı vardır; ancak bu yöntemlerde organik maddeler bir fazdan diğer faza aktarılmaktadır. Artan çevre kirliliği nedeniyle organik maddelerin bir fazdan diğer faza aktarılması yerine CO₂, H₂O ya da toksik olmayan bileşiklere ya da biyolojik olarak giderilebilecek bileşiklere kadar parçalanabileceği yeni bir yöntemler tercih sebebi olmaktadır [2].

TEKSTİL ATIKSULARININ BİYOLOJİK OLARAK ARITILMASI

Tekstil atıksularının arıtımında birçok yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemler Şekil 1.'de tablo halinde kısaca özetlenmiştir. Bu makale kapsamında ise biyolojik arıtım metotlarından membran fungal biyoreaktörler üzerinde durulacaktır.



Şekil 1. Tekstil atıksularının arıtımında kullanılan metodlar

Tekstil boyalarından sanayide en çok kullanılan boya grubu olan azo boyaların yapıları itibariyle ksenobiyotik ve biyolojik parçalanmaya karşı rekalsitrant bir maddedir. Tekstil endüstrisinde atıksuların tamamıyla parçalanması ve renginin giderilmesi için biyolojik sistem veya enzimatik arıtım metodların kullanılması birçok avantajı da birlikte getirmektedir. Öncelikli olarak çevreye dost olup tam arıtım sonrasında oluşan atıklar çevre için zararlı değildir. Kimyasal metotlara göre daha az maliyetlidir. Daha az çamur üretilir ve üretilen çamur zararsız olduğu için farklı amaçlar için kullanılabilir. Son ürünler toksik olmayan ve tamamıyla mineralize olabilme özelliğine sahiptir. Fizikokimyasal metodlarla karşılaştırıldığında daha az su tüketimine sahiptir [3].

Mikrobiyal olarak renk ve TOK giderimi, seçilmiş olan mikroorganizmanın aktivitesi ve ortama adaptasyonuna bağlıdır. Son yıllarda çeşitli boyalarda çeşitli organizmaların kullanıldığı dekolorizasyon (renk giderimi) üzerine birçok çalışma yapılmıştır [4].

Atıksu içeriğinde bulunan çeşitli boyaların rengini ve organik yükünü giderme yeteneğine sahip canlılar; bakteri [5,6] fungus [7,8], maya [9,10], aktinomycetes [11], algler [12,13]'dir.

FUNGUSLARLA BOYA GİDERİMİ

Bazı anaerobik mikroorganizmaların boyarmaddeleri azot bağlarını indirgeyerek parçaladığı ancak biyolojik parçalanma sonunda son ürünler olarak toksik ve kanserojen bileşiklerin oluşabileceği literatürde yer almıştır [14]. Bununla beraber, anaerobik parçalanma ürünlerinin oksijenle teması ile renk geri dönebilir [14]. Bu problemler bakterilerle renk gideriminin büyük boyutlarda uygulanmasını sınırlamaktadır. Beyaz çürükçül mantarların, lignin, klorlu aromatik ve alifatik hidrokarbonlar, boyarmaddeler gibi parçalanması güç olan birçok maddeyi hücre dışı enzim sistemi ile parçalayabilme yeteneğine sahip oldukları bilinmektedir [14]. En yaygın kullanılan beyaz çürükçül mantar türleri, *Phanerochaete chrysosporium*'un

yanında *Coriolus versicolor* ve *Trametes versicolor*' dır. Mantarlar fotosentetik olmayan bitkiler olarak tanımlanır. Fotosentetik pigmentlerinin olmayışı, mantarları karbon ve enerji kaynağı olarak organik maddeyi kullanmaya zorunlu kılmıştır [14]. Organik maddeyi metabolize etme özelliği, çevre mühendisliği açısından mantarları, bakteriler kadar önemli kılar [14]. Mantarların bakterilere göre iki temel farklılığı, çok daha az rutubetli ortamlarda ve düşük pH değerlerinde gelişebilmeleridir. Bu nedenle mantarlar, çevre mühendisliği açısından kompostlaştırma tesislerinde ve bazı endüstriyel atıkların arıtımında çok önemli bir rol oynarlar. Bir beyaz çürükçül fungus olan “*Phanerochaete chrysosporium*” un toksik ve kanserojen bileşiklerin transformasyonunu katalizlediği, Basidiomycete gurubu olan bu mantarların odunsu bitkilerde bulunan yapısal polimer lignini yıkma yeteneğine sahip organizmalar oldukları ve bu tür kompleks organik bileşiklerin birçoğunu da, çoğunlukla yıkabildikleri kanıtlanmıştır [14].

Beyaz çürükçül fungusların kullanıldığı ve fungusların kontrollü büyütülmesiyle daha sonrasında inkübasyonun ilerleyen zamanlarında lignolitik enzimlerin yüksek seviyede üretilmesinin uygun olduğu bir biyoreaktörün yokluğu endüstriyel ölçekte arıtımı sürüncemede bırakmıştır. Laboratuvar ölçeğinde kurulan reaktörler genel olarak tam karışımli veya havalandırılmalı, akışkan yataklı, sabit yataklı, döner disk biyoreaktör veya membran biyoreaktörlerdir. Bu reaktörlerle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Yang *et al.* [15] Sabit film biyoreaktörde disperse bir boyayı 10-20 günlük alıkonma süresince renk giderim incelenmiş ve rengin %80 oranında giderildiği rapor edilmiştir. Zhang *et al.* [16] Sürekli dolgulu yatak biyoreaktörde bir azo boyanın %97 oranında giderildiği tespit edilmiştir. Burada yaşanan en büyük sıkıntı ki bu durum membran biyoreaktörler içinde geçerlidir, misel yapısının bozulması, kolon kirliliği, oluşan pıhtıların kısa süre sonrasında yüzeye çıkması ve kabuk oluşturmasıdır. Bu yüzden oluşan fazla fungal biyokütle düzenli olarak ortamdan alınmalıdır. Mielgo *et al.* [17] Yaptıkları çalışmada tutuklanmış fungusların olduğu yukarı akışlı bir biyoreaktör kullanmışlardır ve yapılan çalışma sonucunda yüklenen boyanın %90'nın giderildiği ve yüksek verimlilikle çalıştığı bulunmuştur.

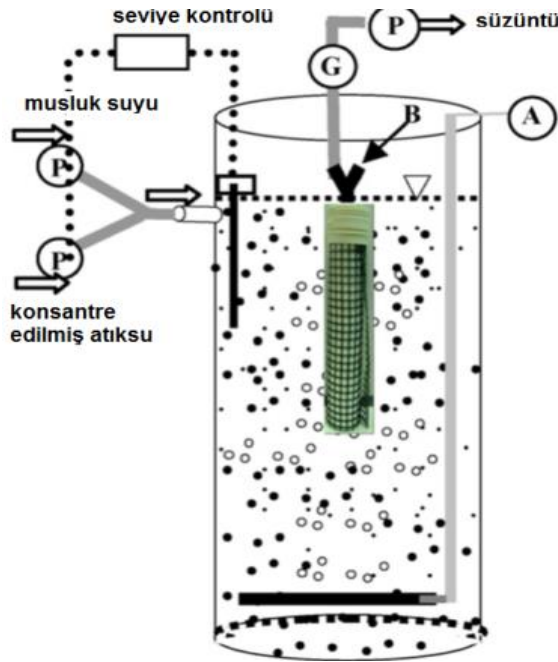
Boya gideriminde kullanılacak fungusların kullanılan boya ve ortama bağlı olarak renk gideriminde farklılık gösterebilir. Çünkü kullanılan boyanın yapısı ve fungusun kendine özgü enzim sistemleri farklılığın temel taşıını oluşturur.

FUNGAL MEMBRAN BİYOREAKTÖR ÇALIŞMALARI

Fungal membran biyoreaktörlerde membran malzeme olarak daha çok hollow-fiber tip membran kullanılmaktadır. Gözenek çapı diğer UF membran türlerine göre daha geniş olması dolayısıyla enzimlerin aktif çalışmasına kolaylık sağlamaktadır. Fungal boya giderimi bakteriyel çalışmalara göre daha uzun zaman almakta ve sonuçlar zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu durum ise reaktörün sanayi ölçeğinde kullanımını zorlaştırmaktadır. Çünkü tekstil endüstrisinde su kullanımı ciddi boyuttur. Bu sistemlerin fabrika ölçeğinde kullanılabilmesi için fabrika içerisinde temiz üretim sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Organik yükü düşük olan ve miktar olarak sistem içerisinde büyük kısmı

içeren atıksular fabrika içerisinde ayrılmalı ve UF membran ile fiziksel bir arıtım metoduyla arıtılması gerekmektedir.

Biyomembranların kullanıldığı sistemlerde KOİ, TOK ve renk giderimleri oldukça yüksektir. Hai ve ark.[18]'a ait çalışmada batık mikrofiltrasyon membran biyoreaktör kullanılmış, beyaz çürükçül mantar olarak da *Coriolus Versicolor* seçilmiştir. Hollow-fiber modülleri bir örgü kafes içersine yerleştirilerek, çamur birikimi sağlanmıştır (Şekil 2). Reaktör, 29°C'de pH 4.5'te hidrolik bekleme süresi 15 saat ve ortalama membran akısı 0.021 m/d şartları altında işletilmiş ve % 97 TOC ve %99 renk giderimi sağlanmıştır.



Şekil 2: Çalışmada kullanılan Laboratuvar ölçekli reaktör (A. Hava pompası, B: geri yıkama, G. Vakum, P: pompa) [18]

Beyaz çürükçül funguslar yapıları itibariyle birbirinden farklı enzim kapasitesine sahiptir. Ayrıca fungusun izole edildiği koşullara bağlı olarak suşuna bağlı olarak enzim içeriği değişmektedir. Bu durumu en iyi şekilde anlatan çalışmayı, Cerrone ve ark.[19] beyaz çürükçül mantarlardan *Panus tigrinus*, *Funalia trogii* ve *Trametes versicolor* kullanılarak zeytin yıkama atıksuyu kirleticilerinin indirgenmesini çalışmışlardır. *Funalia trogii* lakkazın en iyi üretimini gerçekleştirmiştir, *Trametes versicolor* rengi gidermiştir, KOİ ve fenol giderimi *P.tigrinus* için %60, *F.trogii* için %72, ve *T.versicolor* için de %87 olarak hesaplanmıştır. Kabarcıklı kolon biyoreaktörde sadece *T.versicolor* iyi büyüme göstermiştir, sürekli proseste rengi %65, KOİ'yi %73 ve fenol %89 giderilmiştir. Zeytin karasuyu fenolik içeriği ve kimyasal yapısı olarak oldukça toksik içerikli bir atıksudur. Beyaz çürükçül funguslar içerdikleri lakkaz, katalaz ve Mn-peroksidaz enzimleri sayesinde bu ve buna benzer atıksuların toksisitelerini ve organik içeriği gidermektedir.

Zengin enzim kapasitesi ve membran biyoreaktörlerle birleştirildiğinde renk ve organik içeriği gidermek için performansı yüksek biyoreaktörler üretilmiş olmaktadır. Hai ve ark [20], azo boyar madde içerikli sentetik tekstil atık suyunun sürekli beslemeli, batık fungal membran

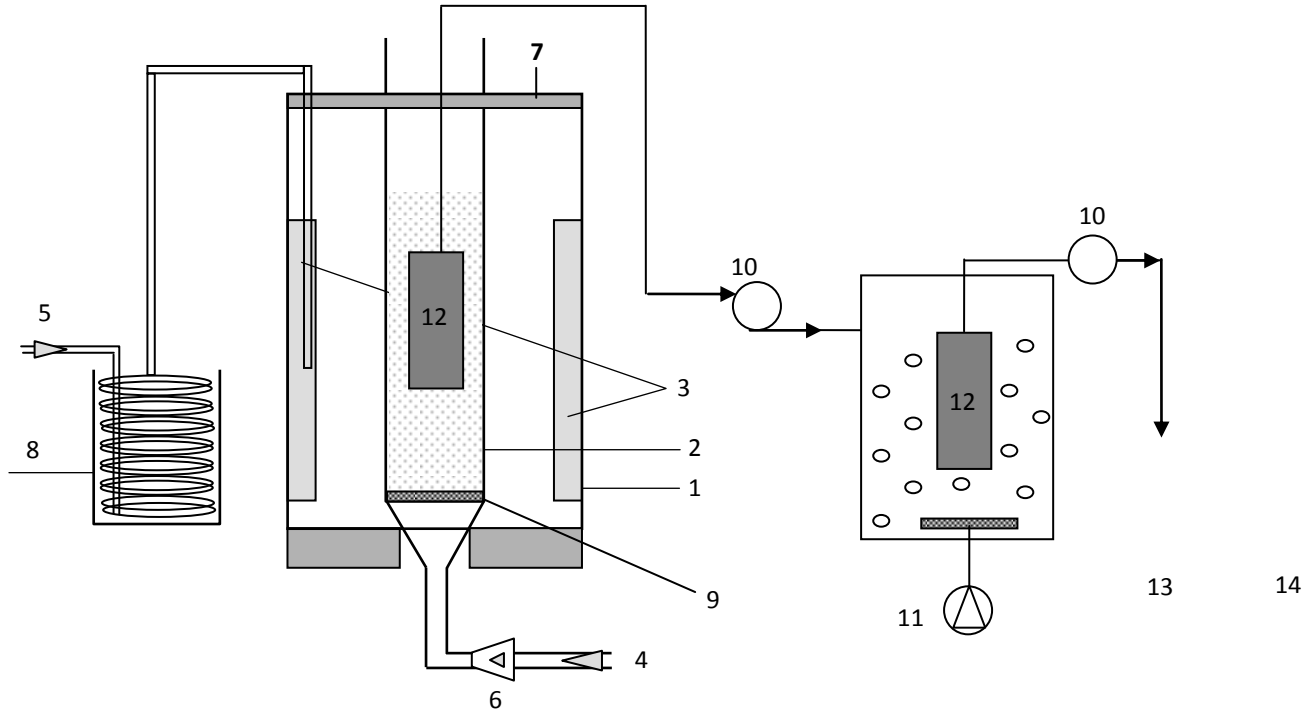
biyoreaktörde uzun süreli performansı incelenmiştir. Steril kesikli deneylerde, asit orange II boyarmaddesine nazaran polimerik boyar maddelerin, daha yavaş olarak biyolojik bozunduğu ve daha yüksek biyosorpsiyonu gözlenmiştir. Membran süzüntüsü kalitesi açıklığa kavuşup, MBR'da %93 renk giderimi gerçekleşmiştir.

MBR sistemlerin sürekli veya kesikli çalışması kullanılacak atıksuya veya atıksuyun debisine bağlıdır. Kesikli sistemler sürekli sistemlere göre daha verimli görünselerde atıksu debisinin sürekli olduğu sistemler için kesikli sistemler uygun değildir. Bilad ve ark [21] yüksek organik konsantrasyonlu endüstriyel atıksulardan olan melas atıksuyu yüksek KOİ ve düşük biyobozunurluğu olan bir kirleticidir. Membran biyoreaktörün verimi, lab ölçekli MBR modülünde melas içeren atıksu ile çalışılmıştır. İlk olarak reaktör kesikli-beslemeli olarak işletilmiş, ikinci olarak da sürekli MBR işletilmiştir. Sonuç olarak % 80 KOİ, % 90 toplam azot, %30 renk giderimi gerçekleştirilmiştir. SEM ve FT-IR analizleri, membran kek tabakası ve aktif çamur arasındaki organik bileşenlerde belirli farklılıklar ortaya çıkmamıştır.

Shang ve ark [22] tarafından yapılan bir diğer çalışmada Reactive Brilliant Red X-3B boyası üzerine *Phanerochaete chrysosporium*'ın peroksidaz enzimi üzerine etkisi araştırılmış ve fungal sürekli membran biyoreaktörde oluşan biyofilm tabakasının etkisi incelenerek Taramalı elektron mikroskobunda yapısına bakılmıştır. Biyofilmde ortalama renk giderimi %90,6 olarak bulunmuş olup sürekli sistemde peroksidaz aktivitesinin 65. günden sonra belirgin seviyede azaldığı bulunmuştur. Bu nedenle 5 gün aralarla sürekli sistem içerisinden çamur alımı ve yerine yeni miseller ilave edilmiştir.

SONUÇLAR

Tekstil atıksuyunun biyolojik olarak arıtılması çalışmalarında fungal renk giderimi ve biyodegradasyon çalışmaları yoğun olarak verimli ve performanslı olarak yapılmaktadır. Fungal membran içeren uygulamalar ile ilgili çalışmalar ise sen 10 yılı içermekte olup çalışma sonuçları giderim verimi ve performansı arttırdığını göstermektedir. Her ne kadar laboratuvar ölçeğinde çalışmalar olsa da sanayi ölçeğinde tesisler henüz faaliyette değildir. Ayrıca fungal biyomembran teknolojilerin kullanıldığı hibrit sistemlerle suyun geri kazanımı mümkün olup yüksek su kullanımına sahip bu endüstrinin su tüketimi kontrol altına alınabilir. Bu kapsamda TÜBİTAK destekli 113Y334 kodlu proje ile tekstil atıksuları beyaz çürükçül fungusların kullanıldığı fungal MBR reaktörde verimli bir şekilde arıtılmakta ve sistem Fotoatalitik bir sistemle hibrit şekilde çalıştırılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Lab ölçekli hibrit fotokatalitik batık fungal membran biyoreaktör sistemi (1. Lamba düzeneği, 2. Pyrex reaktör, 3. UVA veya UVC lambalar, 4. Hava girişi, 5. Soğutucuya hava girişi, 6. Debi metre, 7. Fotokatalitik reaktör, 8. Soğutma kabı, 9. Fritz filtre, 10. Peristaltik pompa, 11. Blower, 12. Membran modülü; 13. Terazi, 14. Bilgisayar)

Çalışma halen devam etmekte olup yapılan kesikli sistem çalışmalarında rengin %99, TOK değerinin %90 oranında giderildiği belirlenmiştir. Çalışma devam ettiği için sonuçlar değerlendirme aşamasındadır. Çalışma uygulama çalışması nedeniyle gerçek atıksu ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBİTAK tarafından 113Y334 kodlu proje kapsamında desteklenmektedir.

REFERANSLAR

- [1]. Neamtu, M., Yediler, A., Siminiceanu, I., Macoveanu, M. and Kettrup, A. "Decolorization of Disperse Red 354 Azo Dye in Water by Several Oxidation Processes-A Comparative Study", *Dyes and Pigments*, 60, 61-68. (2004)
- [2]. Turhan G.D., "Azo boyarmaddelerinin fotokimyasal prosesler ile giderimi", Yük. Lis. Tezi, İnönü Üniv. Kimya Müh., Malatya, (2006).
- [3]. Rai, H.S., M.S. Bhattacharyya, J. Singh, T.K. Bansal, P. Vats and U.C. Banerjee., "Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: A review of emerging techniques with reference to biological treatment". *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 35: 219-238, (2005)
- [4]. Pandey A, Singh P, Lyengar L. "Review Bacterial decolorization and degradation of azo dyes". *Int Biodeter Biodegr*; 59:73-84, (2007).

- [5]. Dawkar VV, Jadhav UU, Tamboli DP, Govindwar SP. "Efficient industrial dye decolorization by *Bacillus* sp. VUS with its enzyme system". *Ecotoxicol Environ*, 73:1696–1703, (2010)
- [6]. Jadhav JP, Phugare SS, Dhanve RS, Jadhav SB. "Rapid biodegradation and decolorization of Direct Orange 39 (Orange TGLL) by an isolated bacterium *Pseudomonas aeruginosa* strain BCH", *Biodegradation*, 21:453–463 (2010)
- [7]. Humnabadkar, R. P., G. D. Saratale, and S. P. Govindwar, "Decolorization of Purple 2R by *Aspergillus ochraceus* (NCIM-1146)", *Asian J. Microbiol. Biotechnol. Environ. Sci.*, 10, 693 (2008)
- [8]. Saratale, G. D., S. D. Kalme, and S. P. Govindwar, "Decolorization of Textile Dyes by *Aspergillus ochraceus*" *Ind. J. Biotechnol.*, 5, 407 (2006).
- [9]. Jadhav, J. P., G. K. Parshetti, S. D. Kalme, and S. P. Govindwar, "Decolourization of Azo Dye Methyl Red by *Saccharomyces cerevisiae* MTCC463," *Chemosphere*, 68, 394 (2007)
- [10]. Lucas, M. S., C. Amaral, A. Sampaio, J. A. Peres, and A. A. Dias, "Biodegradation of the Diazo Dye Reactive Black 5 by a Wild Isolate of *Candida oleophila*," *Enzyme Microb. Technol.*, 39, 51 (2006)
- [11]. Machado, K. M. G., L. C. A. Compart, R. O. Morais, L. H. Rosa, and M. H. Santos, "Biodegradation of Reactive Textile Dyes by Basidiomycetous Fungi from Brazilian Ecosystems," *Braz. J. Microbiol.*, 37, 481 (2006)
- [12]. Acuner, E. and F. B. Dilek, "Treatment of Tectilon Yellow 2G by *Chlorella vulgaris*," *Process Biochem.*, 39, 623 (2004)
- [13]. Daeshwar, N., M. Ayazloo, A. R. Khataee, and M. Pourhassan, "Biological Decolorization of Dye Solution Containing Malachite Green by Microalgae *Cosmarium* sp.," *Bioresour. Technol.*, 98, 1176 (2007)
- [14]. Demir G., Özcan H. K., Elmaslar E., Borat M., "Decolorization Of Azo Dyes By The White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium*" *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 74-85, 2006/3
- [15]. Yang F, Yu J. "Development of a bioreactor system using an immobilised white rot fungus for decolourisation: Part II. Continuous decolourisation tests." *Bioprocess Eng*, 16:9– 11, (1996)
- [16]. Zhang FM, Knapp JS, Tapley KN. "Development of bioreactor systems for decolorization of Orange II using white rot fungus", *Enzyme Microb Technol.* 24:48 –53, (1999).
- [17]. Mielgo, I., M.T. Moreira, G. Feijoo and J.M. Lema, "A packed-bed fungal bioreactor for continuous decolourisation of azo-dyes (Orange II)" *J. Biotechnol.*, 89: 99-106, (2001).
- [18]. Hai F.I., Yamamoto K., Nakajima F., Fukushi K., Nghiem L.D., Price W.E., Jin B., "Degradation of azo dye acid orange 7 in a membrane bioreactor by pellets and attached growth of *Coriolus versicolor*", *Biores.Tech.* 141:29-34, (2013).
- [19]. Cerrone F., Barghini P., Pesciaroli C., Fenice M., "Efficient removal of pollutants from olive washing wastewater in bubble-column bioreactor by *Trametes versicolor*", *Chemosphere* 84:254–259 (2011).
- [20]. Hai F I., Yamamotoa K., Nakajima F., Fukushi K., "Removal of structurally different dyes in submerged membrane fungi reactor—Biosorption/PAC-adsorption, membrane retention and biodegradation", *Journal of Membrane Science* 325:395–403 (2008).
- [21]. Bilad M.R., Declerck P., Piaseckaa A., Vanysackera L., Yana X., Vankelecoma I. J., "Treatment of molasses wastewater in a membrane bioreactor: Influence of membrane pore size", *Separation and Purification Technology* 78: 105–112 (2011).

- [22]. Gao S., Chen C., Tao F., Huang M., Ma L., Wang Z., Wu L. "Variation of peroxidase isoenzyme and biofilm of *Phanerochaete chrysosporium* in continuous membrane bioreactor for Reactive Brilliant Red X3-B treatment", J.Env. Sci. 21:940-947(2009)