

Melasın Mor Kükürtsüz Bakteriler Tarafından Dekolorizasyonda Kullanılması

Elif YÜRÜMEZ CANPOLAT^{1*}

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, 51240, Niğde

¹<https://orcid.org/0000-0003-1470-1169>

*Sorumlu yazar: elif.yurumez@ohu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.07.2022

Kabul tarihi: 03.12.2022

Online Yayınlanma: 05.07.2023

Anahtar Kelimeler:

Tekstil boyası
Reactive black 5
Dekolorizasyon
Fotosentetik bakteriler
Mor kükürtsüz bakteriler

ÖZ

Toksik özelliklere sahip tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin deşarj sularının çevre kirliliğine neden olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda boyarmadde içeren tekstil endüstrisi atık sularının renk giderim süreçleri ekolojik açıdan büyük önem kazanmaktadır. Reactive Black 5 (RB5) boyası, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan reaktif boyalardan biri olup diazo bir boyadır. Bu çalışmada, mor kükürtsüz fotosentetik bakteriler olan *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides* ve *Rhodoplanes piscinae* suşlarının RB5 boyasını dekolozasyon yeteneği, şeker atığı olan melas yardımcı substratı varlığında araştırılmıştır. Boya konsantrasyonu 100 mg/L olacak şekilde besiyerlerine ilave edilmiştir. Yardımcı substratın kullanıldığı ortamda boyanın dekolozasyonu, spektrofotometrik olarak takip edilmiştir. FTIR analizleri ile boya gideriminin tespiti desteklenmiştir. 100 mg/L RB5 boyasını içeren besiyerinde *R. piscinae* 51ATA suşunun %86,80 oranında, *R. palustris* DSMZ127 suşunun %82,37 oranında ve *R. sphaeroides* DSMZ 5864 suşunun ise %84,06 oranında dekolozasyon gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. FT-IR analizinde, bakteri yüzeyinde boyanın aromatik halkalarının görülmemesi boyanın bakteri tarafından kullanıldığını düşündürmüştür. Boyanın FT-IR spektrumlarından, diğer pikler gibi azo bağlarındaki azotun da dahil olduğu azo piklerinin uzaklaştığı, boyanın bakteri tarafından tamamen mineralize edildiği tespit edilmiştir.

The Use of Molasses in Decolorization by Purple Non-Sulfur Bacteria

Research Article

Article History:

Received: 03.07.2022

Accepted: 03.12.2022

Published online: 05.07.2023

Keywords:

Textile dye
Reactive black 5
Decolorization
Photosynthetic bacteria
Purple non-sulphur bacteria

ABSTRACT

It is well known that wastewater discharged from textile industry which contains dyestuff causes environmental pollution. In these aspects, decolorization processes of the textile waste water possess much importance. Reactive Black 5 (RB5), which is widely used in textile industry, is a diazo reactive dye. In this study, the decolorization ability of purple non-sulphur bacteria strains *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides* and *Rhodoplanes piscinae* in the presence of RB5 and sugar beet molasses as a co-substrate, which is a by-product of sugar production, is investigated. The dye concentration was adjusted to 100 mg/L in culture media. The dye decolorization in media containing molasses as co-substrate was measured spectrophotometrically. The dye degradation was supported by FT-IR analysis. The decolorization percentages in media containing 100 mg/L RB5 were determined as 86.80, 82.37 and 84.06 % by *R. piscinae* 51ATA, *R. palustris* DSMZ127 and *R. sphaeroides* DSMZ 5864, respectively. It was considered that the bacteria used the dye since the aromatic rings of the dye could not be determined by FT-IR analysis on the surface of the bacteria. It was also determined from FT-IR analysis that the peaks belonging to the nitrogen in the azo bond were removed as well as the other peaks of the dye

resulting in the complete mineralization of the dye by the bacteria.

To Cite: Canpolat EY. Melasın Mor Kükürtsüz Bakteriler Tarafından Dekolorizasyonda Kullanılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(2): 1221-1229.

1. Giriş

Sanayileşme, gelişmekte olan ülkeler için ekonomik açıdan kritik bir faktör olarak görülmektedir. Modern sanayileşme hızı, tekstil, kozmetik, baskı, ilaç ve gıda endüstrilerinde kullanılan sentetik boyaların her yıl artan üretimini teşvik etmektedir (Jamee ve Siddique, 2019). Boyama proseslerinin düşük verimliliği nedeniyle, kimyasal olarak değişmemiş boyaların büyük bir kısmı endüstriyel atık su bırakılmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır (Mourid ve ark., 2017). Çevresel riskleri en aza indirmek için, sentetik boyaların biyolojik olarak giderilmesinde yeni yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır (Rai ve ark., 2005; Jadhav ve ark., 2010).

Her yıl tüm dünyada çok miktarda tekstil boyası üretilmektedir. Tekstil boyaları içinde azo boyalar, bu endüstrisinde kullanılan en büyük ve en yaygın kullanılan sentetik boya sınıfıdır (Samir Ali ve ark., 2019; Srivastava ve ark., 2021). Boyalar suya bırakıldığında daha basit moleküler yapıları nedeniyle daha kararlı hale gelir. Ayrıca bir veya daha fazla azo bağının varlığı, mutajenik ve kanserojen yapıları nedeniyle canlılar için zararlıdır (Droguett ve ark., 2020). Üretilen boyaların %60'ı azo boyalardır ve bu nedenle çoğu yapılan araştırmalar bu özel grubun atık sulardan giderilmesiyle ilgilidir (Guo ve ark., 2014). Boyar maddelerin atık sulardan uzaklaştırılması için membran ayırma, elektrokoagülasyon, adsorpsiyon, oksidasyon, ozonlama gibi bir dizi yöntem kullanılmaktadır. Atık su arıtma yöntemlerinin maliyetli, düşük verimli, sınırlı yönlülüğü ve diğer atık su bileşenleriyle etkileşime girmeleri nedeniyle atık sudan sentetik boyaların uzaklaştırılması büyük ölçüde yetersizdir (Lops ve ark., 2019). Bu nedenle araştırmalar çevre dostu ve uygun maliyetli oldukları için biyolojik arıtma yöntemlerine doğru ilerlemektedir. Mantarlar, bakteriler, mayalar ve algler dahil olmak üzere çeşitli mikroorganizmalar, çeşitli reaktif boyaların bozunması ve renklerinin giderilmesi için kullanılır, çünkü bunlar çoğunlukla reaktif azo boyaları değişen çevresel koşullar altında gidermektedir (Bhatia ve ark., 2017; Eslami ve ark., 2019). Bunların arasında, çeşitli metabolik potansiyelleri, yüksek stres toleransları, spor ve kist gibi yapıların oluşumuyla elverişsiz koşullar altında hayatta kalma yetenekleri nedeniyle saha uygulamaları için en çok tercih edilen mikroorganizmalar bakterilerdir.

Birçok azo boyanın mineralizasyonu için ön koşul, indirgeyici ve oksidatif adımların bir kombinasyonudur. İlk adım, renksiz bileşikler üreten anaerobik ortamda azo bağının indirgenmesi ile azo boyalarının renksizleştirilmesidir. İkinci adım, aromatik aminlerin aerobik koşullar altında tamamen parçalanmasıdır. Bu nedenle, azo boyaları mineralize etmek için entegre anaerobik/aerobik işlemler kullanılmaktadır (Tan ve ark., 1999).

Mor kükürtsüz fototrofik bakteriler, anaerobik veya aerobik koşullar altında gelişebilir ve çeşitli katabolik yollardan organik maddeleri parçalayabilirler. Bu da onları azo boyaların biyolojik bozunma işlemi için avantajlı hale getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, mor kükürtsüz bakterilerden olan,

Akkaya barajından izole edilen *Rhodoplanes piscinae* 51ATA suşunun RB5 boyasının dekolorizasyon özelliklerinin belirlenmesi ve *Rhodopseudomonas palustris* DSMZ 127 ve *Rhodobacter sphaeroides* DSMZ 5864 ile dekolorizasyon özelliklerinin kıyaslanmasıdır.

2. Materyal ve Metot

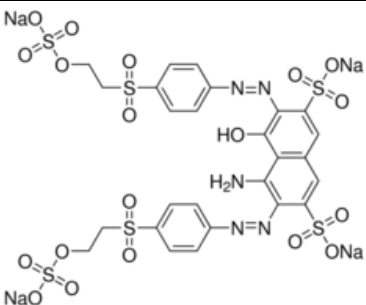
2.1. Mor kükürtsüz bakterilerin kültür koşulları

Mor kükürtsüz bakteriler mineral besiyerinde geliştirilmiştir. Besiyeri (g/L) olarak şu içeriğe sahiptir: NaHCO₃ 3,0 g; (NH₄)₂SO₄ 1,0 g; CaCl₂.H₂O 0,1 g; NaCl 1,0 g; KH₂PO₄ 1,0 g; MgCl₂.6H₂O 0,5 g; Sodyum asetat 1,0 g; maya özütü (yeast extract) 0,1 g; iz element ve vitamin karışımından 1,0 mL. Besiyeri için gerekli maddeler ayrı çözeltiler halinde hazırlanmış ve otoklavda 121 °C’de 15 dakika sterilize edilmiştir. Kullanılacağı zaman bütün besiyeri içeriği aseptik koşullar altında birleştirilerek hazırlanmıştır. Besiyeri pH’ı 8.0 olarak ayarlanmıştır. Geliştirilmiş kültürlerden %10’luk inokülasyonu yapılmış besiyerleri 3000 lüks’lük ışık kaynağı karşısında 30 °C’de inkübasyona bırakılmıştır (Çelik ve ark., 2012). Dekolorizasyon çalışmalarında mineral besiyerinde bulunan sodyum asetat çıkarılıp melasın 1,0 g /L konsantrasyonu kullanılmıştır. Mor kükürtsüz bakteriler ile yapılan dekolorizasyon çalışmalarında boya gideriminde optimum pH’ın 8,0 olarak belirlenmesinden dolayı bu çalışmada da aynı pH değeri kullanılmıştır (Öztürk vd.,2020).

2.2. Dekolorizasyon verimliliğinin belirlenmesi

‘Reactive Black 5’ azo boyası tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir boyadır. Özellikleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Dekolorizasyon deneylerinde kullanılan ‘Reactive black 5’ boyası

Boya	Açık formülü	Kapalı formülü	Moleküler ağırlığı (g/mol)	λ _{max} (nm)
RB5		C ₂₆ H ₂₁ N ₅ Na ₄ O ₁₉ S ₆	991,8	597

Şeker fabrikası atık ürünü olan melasın boya dekolorizasyonunda yardımcı substrat olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle melasın karbon kaynağı olarak kullanılabilir olması büyük ölçekli kullanımı açısından ekonomik avantaj sağlayabilir. Bu amaçla

bakterinin boyayı ne kadar dekolorize ettiğini ortaya koyabilmek için yardımcı substrat olarak (1,0 g/L) melasın kullanıldığı mineral sıvı besiyeri içeren 100 ml'lik şişelere hazırlanmıştır. Boya konsantrasyonu 100 mg/L olacak şekilde ilave edilmiştir. Mineral besiyerine mor kükürtsüz (PNS) bakterilerinden %10'luk ekim yapılmış, dekolorizasyon ortamlarına ise bu geliştirilmiş bakteri kültürlerinden bakteri konsantrasyonu 1,0 g/L (yaş ağırlık) (OD₆₀₀ 1,5) olacak şekilde eklenmiştir. Test ortamları paraleller halinde hazırlanmıştır. Dekolorizasyon ortamları sürekli ışık karşısında (3000 lüx), statik koşullarda 30°C'de etüvde inkübe edilmiştir. Spektrofotometrede dekolorizasyon takibi, boyanın maksimum absorpsiyon verdiği dalga boyu olan 597 nm'de gerçekleştirilmiştir (Shimadzu, UV-1800 UV-Vis Spectrophotometer). Pozitif kontrol olarak boya içermeyen, yardımcı substrat içeren besiyeriyi, negatif kontrol olarak sadece boyanın olduğu, bakterinin olmadığı besiyeriyi kullanılmıştır. Dekolorizasyon oranı hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Chen ve ark., 2011).

$$\% \text{ Dekolorizasyon} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100$$

A₀ : Başlangıçtaki Absorbans değeri; A_t : Son Absorbans değeri

2.3. FT-IR analizi

Infra Red (IR) spektroskopisi; farklı fonksiyonel grupları ve molekülleri tanımlamak için hızlı, ucuz ve reaktif olmayan bir yöntem olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir (Baker ve ark., 2008). Kızılötesi ışınların örneğe gönderilmesi ile kimyasal bağların gerilme ve eğilme gibi farklı titreşim hareketleri sonucu absorbe olan ışın miktarının ölçülmesi ile elektromanyetik spektrum grafiği elde edilir (Wenning ve ark., 2014). Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi, bir interferogram elde etmek için iki ışın arasındaki girişimin ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Başyigit Kılıç ve Karahan, 2010). FT-IR Spektroskopisi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Boya içeren besiyerlerinden alınan kültürler, 5 dakika 10.000 rpm'de santrifüjlenmiş, üst faz atıldıktan sonra kurutulmuştur. FT-IR analizleri için kurutulmuş örnek kullanılmıştır. Numuneler tutucuya sabitlenerek analizler yapılmıştır. FT-IR spektrumları Bruker Vertex 70 üzerinde kaydedilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

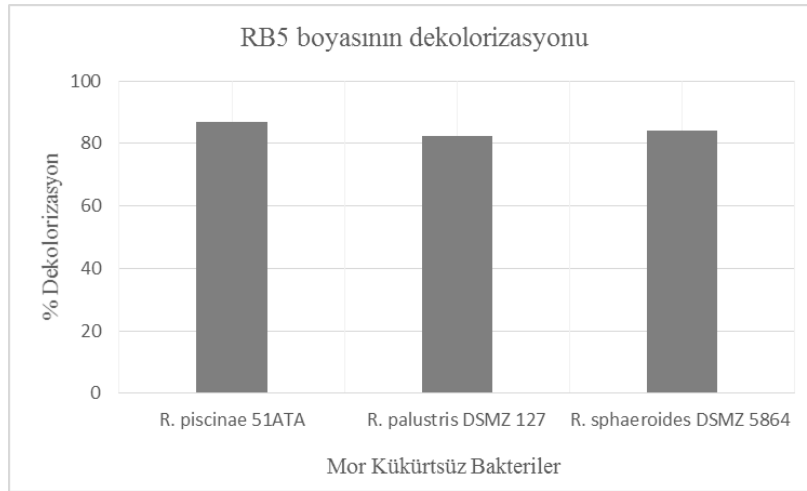
3.1. Mor kükürtsüz bakterilerin dekolorizasyon yeteneğinin araştırılması

RB5 boyasının spektrofotometrede vermiş olduğu pik değeri 597 nm olarak belirlenerek standart eğri oluşturulmuştur. Yüzde (%) dekolorizasyon sonuçları bu eğrilerden elde edilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Üç farklı fotosentetik bakterinin RB5 boyasını dekolorizasyonu incelenmiştir. Bu boya ile hazırlanan ortamlar toplam 14 gün boyunca sürekli ışık karşısında statik koşullarda takip edilmiştir. Şekil 1'de deneye ait düzenek görülmektedir.



Şekil 1. Dekolorizasyon deney düzeneği

Çalışmada boya varlığında yardımcı substrat olarak melasın (1,0 g/L) kullanıldığı besiyerinin dekolorizasyonda etkili olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi *R. piscinae* 51ATA suşu, 100 mg/L RB5 boyasını içeren melaslı besiyerinde $86,80 \pm 1,11$ oranında, *R. palustris* DSMZ 127 suşu $82,40 \pm 2,28$ oranında ve *R. sphaeroides* DSMZ 5864 suşu ise $84,06 \pm 0,34$ oranında dekolorizasyon gerçekleştirmiştir.



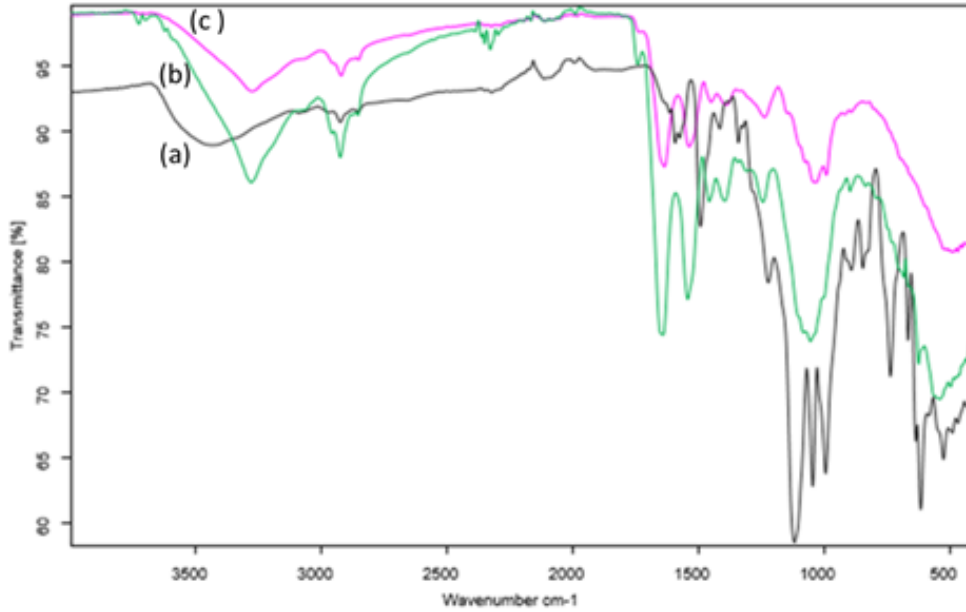
Şekil 2. Farklı PNSB’ler tarafından RB5 boyasının dekolorizasyonunun karşılaştırılması

Substrat olarak melas içermeyen sadece boya olan ortamda ise *R. piscinae* 51ATA suşu, $44,87 \pm 0,35$ oranında dekolorizasyon gerçekleştirirken, *R. palustris* DSMZ 127 suşu $40,71 \pm 1,14$ oranında ve *R. sphaeroides* DSMZ 5864 suşu ise $41,55 \pm 0,74$ oranında dekolorizasyon gerçekleştirmiştir. Yapılan bir çalışmada, tekstil endüstrisinden izole edilen *Aeromonas hydrophila*’nın 100 mg/L konsantrasyondaki RB5 boyasını optimize edilmiş koşullar altında 24 saatte %76 oranında dekolorize ettiği tespit edilmiştir (El-Bouraie ve Din, 2016). Mevcut başka bir çalışmada, tekstil atık suyundan izole edilen üç adet *Halomonas* sp. izolatından oluşan konsorsiyumun RB5 (% 87) ve “Reactive red 152” (% 85) boya türlerini iyi bir oranda dekolorize ettiği görülmüştür (Seyedi ve ark., 2020). RB5’i dekolorize etme ve parçalama potansiyeline sahip bir bakteri olan ve tekstil atık suyundan izole edilen *Bacillus albus* DD1 suşunun, optimum koşullar olan pH 7.0 ve sıcaklık 40 °C’de yardımcı substrat olarak %1,0 oranında maya özütü ve %25 inokulum varlığında, 50 mg/L konsantrasyondaki RB5

boyasını 38 saat içinde % 98 oranında dekolorize ettiği tespit edilmiştir (Srivastava ve ark., 2022). Denenen bu optimum koşullarda (pH 8.0 ve 30 °C) RB5 boyasının mor kükürtsüz bakteriler tarafından yüksek oranda dekolorize edildiği görülmektedir.

3.2. FTIR Analizi sonuçları

R. piscinae 51ATA suşunun RB5 FTIR analizi Şekil 3'de gösterilmektedir. Azo boyanın IR spektrumlarından, O-H, N-H ve aromatik C-H gerilimleri için her biri 3432 cm⁻¹'de ana fonksiyonel grup absorpsiyon pikleri gözlenmektedir. Zayıf azo piki Azo (-N=N-) zirvesi 1491 cm⁻¹'de ortaya çıkmıştır. RB5 boyası için karakteristik 3432 cm⁻¹ ile 3437 cm⁻¹ titreşim pikleri alkoldeki -OH ve aminlerdeki -NH'dan kaynaklanmaktadır. 2925 cm⁻¹ ile 2854 cm⁻¹ karakteristik pikleri, -CH₃ için simetrik ve asimetrik titreşimsel gerilim ve -CH₂ için asimetrik titreşimsel gerilim pikleri olarak görülmektedir. Boya dekolorizasyonundan sonra elde edilen bakteri yüzeyinde de benzer bir tablo görülmektedir.



Şekil 3. (a) RB5 boyası, (b) *R. piscinae* 51ATA suşu ve (c) dekolorizasyon ortamından alınan *R. piscinae* 51 ATA'ya ait FTIR spektrumları

Boyaya ait karakteristik piklerin bakterinin yüzeylerinde gözükmemesi boyanın bakteri tarafından tüketildiğini göstermektedir. Bakteri yüzeyinde boyaya ait benzenden gelen karakteristik 1614 cm⁻¹ C-C gerilim piki ve N=N'den gelen 1491 cm⁻¹ gerilim piklerinin kaybolduğu belirlenmiştir. Bakteri yüzeyinde boyanın aromatik halkalarının görülmemesi boyanın bakteriler tarafından kullanıldığını düşündürmektedir. Boyanın IR spektrumlarından, diğer pikler gibi azo bağlarındaki azo piklerinin uzaklaştığı, boyanın bakteri tarafından tamamen mineralize edildiği açıkça görülmüştür. Sadece sülfonil grubundan kaynaklanan 1000-1200 cm⁻¹ de civarında -S=O- titreşim pikine benzer bölgede 2000- 2100 cm⁻¹ civarında da gerilim piki görülmektedir. Bu bakterilerin kükürdü kullanmadığı

düşünüldüğünde bu pikin bakteri yüzeyinde görülmesi diğer literatürlerde de belirtildiği gibi normal bulunmuştur (Neoh ve ark., 2015, Bilal ve ark., 2018).

4. Sonuç

Boya atıklarının çevreye deşarjı tüm yaşam formlarını etkilediği için tekstil atık sularından azo boyaların uzaklaştırılmasında en iyi seçeneğin tespit edilmesi gerekmektedir. Mor kükürtsüz bakteriler, çeşitli enerji metabolizmaları ve çeşitli uygulama özellikleri ile bilinmektedir. Bu bakterilerin zengin hücre kütlesi oluşturma ve yenilenebilir enerji stratejisi için H₂ üretme kapasitesi gibi çeşitli özellikleri bulunmaktadır. Çalışmada denenen fotosentetik bakterilerin 100 mg/L RB5 boya konsantrasyonunu tolere edebildiği gibi literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında bazı aerobik bakteri türlerinden daha yüksek aktivite gösterdikleri bulunmuştur. Bakterilerin boya giderimini pH 8’de gerçekleştirmesi, genellikle alkali özellik gösteren tekstil atıksularına uyumunun kolay olacağını göstermektedir. Tekrarlanan dekolorizasyon deneylerinde bu bakterilerin kararlı ve kalıcı olması boya atıksularının arıtımında kullanılabileceğini göstermektedir. FT-IR sonuçları da ‘Reactive Black 5’ boyasının suşlar tarafından mineralize edildiğini göstermiştir. Bu özellikleri ile denenen fotosentetik bakterilerin kirlenici olarak boya içeren atıksuların biyolojik arıtımında etkili olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca substratın seçimi de önemlidir. Bu nedenle kolay ve bol miktarda bulunabilen, düşük maliyetli, işlemler sırasında kolayca parçalanabilen melas gibi atık materyal seçimine dikkat edilmelidir. Sonuçlar, dekolorizasyon aktivitesinin izolatlar tarafından değıştiğini göstermektedir. Bu nedenle, saf bir suş yerine bir suş karışımı, boya içeren atık su arıtma amacı için iyi bir seçim olabilir. Dekolorizasyon aktivitesini optimize etmek için daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Bu çalışma süresince yardımcı olan Prof. Dr. Ayten ÖZTÜRK’e teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Bhatia D., Sharma NR., Singh J., Kanwar RS. Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2017; 47(19): 1836-1876.

- Bilal M., Rasheed T., Iqbal H., Hu H., Wang W., Zhang X. Toxicological assessment and UV/TiO₂-based induced degradation profile of reactive black 5 dye. *Environmental Management* 2018; 61(1): 171-180.
- Chen G., Huang MH., Chen L., Chen DH. A batch decolorization and kinetic study of Reactive Black 5 by a bacterial strain *Enterobacter* sp. GY-1. *International Biodeterioration and Biodegradation* 2011; 65: 790-796.
- Çelik L., Öztürk A. Abdullah MI. Biodegradation of reactive red 195 azo dye by the bacterium *Rhodospseudomonas palustris* 51ATA. *Afr. J. Microbiol. Res.* 2012; 6(1): 120-126.
- Droguett T., Mora-Gomez J., García-Gabaldon M., Ortega E., Mestre S., Cifuentes G., Perez-Herranz V. Electrochemical Degradation of Reactive Black 5 using twodifferent reactor configuration. *Scientific Reports* 2020; 10(1): 1-11.
- El Bouraie M. El Din WS. Biodegradation of reactive black 5 by *Aeromonas hydrophila* strain isolated from dye-contaminated textile wastewater. *Sustainable Environment Research*, 2016; 26(5): 209-216.
- Eslami H., Shariatifar A., Rafiee E., Shiranian M., Salehi F., Hosseini SS. Ebrahimi AA. Decolorization and biodegradation of reactive Red 198 Azo dye by a new *Enterococcus faecalis*-*Klebsiella variicola* bacterial consortium isolated from textile wastewater sludge. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 2019; 35(3): 1-10.
- Guo JZ., Li B., Liu L., Lv K. Removal of methylene blue from aqueous solutions by chemically modified bamboo. *Chemosphere* 2014; 111: 225-231.
- Jadhav JP., Kalyani DC., Telke AA., Phugare SS., Govindwar SP. Evaluation of the efficacy of a bacterial consortium for the removal of color, reduction of heavy metals, and toxicity from textile dye effluent. *Bioresour Technol.* 2010; 101: 165–173.
- Jamee R., Siddique R. Biodegradation of synthetic dyes of textile effluent by microorganisms: an environmentally and economically sustainable approach. *Eur. J Microbiol. Immunol.* 2019; 9: 114–118.
- Lops C., Ancona A., Di Cesare K., Dumontel B., Garino N., Canavese G., Cauda V. Sonophotocatalytic degradation mechanisms of Rhodamine B dye via radicals generation by micro-and nano-particles of ZnO. *Applied Catalysis B: Environmental* 2019; 243: 629-640.
- Mourid E., Lakraimi M., Khattabi E., El Benaziz L., Berraho M. Removal of remazol brilliant blue R from aqueous solution by adsorption using a calcined layered double hydroxide [Zn₂-Al-CO₃]. *J. Mater. Environ. Sci.* 2017; 8: 921–930.
- Neoh CH., Lam CY., Lim CK., Yahya A., Bay HH., Ibrahim Z., Noor ZZ. Biodecolorization of recalcitrant dye as the sole source of nutrition using *Curvularia clavata* NZ2 and decolorization ability of its crude enzymes. *Environmental Science and Pollution Research* 2015; 22(15): 11669–11678.

- Ozturk A., Bayol E., Abdullah MI. Characterization of the biosorption of fast black azo dye K salt by the bacterium *Rhodopseudomonas palustris* 51ATA strain. *Electronic Journal of Biotechnology* 2020; 46: 22-29.
- Rai HS., Bhattacharya MS., Singh J., Bansal TK., Vats P., Banerjee UC. 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.* 2005; 35: 219–238.
- Samir Ali S., Al-Tohamy R., Sun J., Wu J., Huizi L. Screening and construction of a novel microbial consortium SSA-6 enriched from the gut symbionts of wood-feeding termite, *Coptotermes formosanus* and its biomass-based biorefineries. *Fuel* 2019; 236: 1128-1145.
- Seyedi ZS., Zahraei Z., Jookar Kashi F. Decolorization of reactive black 5 and reactive red 152 Azo dyes by new haloalkaliphilic bacteria isolated from the textile wastewater. *Current Microbiology* 2020; 77(9): 2084-2092.
- Tan NCG., Prenafeta-Boldu FX., Opsteeg JL., Lettinga G., Field JA. Biodegradation of azo dyes in cocultures of anaerobic granular sludge with aerobic aromatic amine degrading enrichment cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology* 1999; 51(6): 865-871.
- Wenning M., Breitenwieser F., Konrad R., Huber I., Busch U., Scherer S. Identification and differentiation of food-related bacteria: A comparison of FTIR spectroscopy and MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of Microbiological Methods* 2014; 103: 44–52.