



Streptomyces sp. VYN22 SUŞUNUN TEKSTİL ATIK SULARINDA BOYAR MADDE GİDERİMİNE ETKİSİ

Fadime ÖZDEMİR KOÇAK¹, Yeliz GENÇ BEKİROĞLU^{2*}, Burcu YAMAN¹

¹Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, 11200, Bilecik, Türkiye

²Ondokuz Mayıs University, Bafra Vocation School, Department of Plant and Animal Production, 55400, Samsun, Türkiye

Özet: Tekstil endüstrisinde kullanılan boyalar ve boyar maddeler herhangi bir işlem görmeden sulara bırakıldıklarında toksik, kanserojen ve mutajenik etki göstererek çevre kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle pigment boyar maddeler grubunda yer alan ve mikrobiyal bozunmaya karşı dirençli olan azo boyaların, tekstil kaynaklı atık suların bertarafı için biyoremediasyona dayalı çevre dostu yöntemler ilgi çekmektedir. Aktinobakteriler, doğada biyoremediasyon ve biyodegradasyon süreçlerine dahil olan ve organik madde ile karbon döngüsünde kilit rol oynayan bakterilerdir. Bu çalışmada, topraktan izole edilen Aktinobakteri izolatının 16S rRNA dizi analizleri ile tanımlanması ve *Streptomyces* sp. VYN22 olarak belirlenen bakterinin kullanılarak tekstil atıklarından azo boyaların boyar madde giderimi ile ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu izolatın 16S rRNA dizi analizlerine göre *Streptomyces bobili* tip türü ile %99,71 yakın akraba olduğu belirlenmiştir. Farklı pH'larda Colorsol Orange Deep tekstil boyası kullanılarak, *Streptomyces* sp. VYN22' nin canlı, kuru ve liyofilize formlarının 0-10 saatlerdeki boyar madde giderimleri spektrofotometrik ölçümlerle incelenmiştir. Çalışma sonunda bu bakterilerin pH 4, 6 ve 10'da boyar madde gideriminde yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Aktinobakteri, Azo boya, Biyodegradasyon


Effect of *Streptomyces* sp. VYN22 Strain on Dyestuff Removal in Textile Wastewater


Abstract: Dyes and dyestuffs used in the textile industry cause environmental pollution by showing toxic, carcinogenic and mutagenic effects when they are released into water without any treatment. Environmentally friendly methods based on bioremediation for the disposal of azo dyes, which are especially in the pigment dyes group and resistant to microbial degradation, from textile wastewater are of interest. Actinobacteria are bacteria involved in bioremediation and biodegradation processes in nature and play a key role in the cycling of organic matter and carbon. In this study, it was aimed to identify an Actinobacterium isolate from soil by 16S rRNA sequence analysis and to eliminate azo dyes from textile wastes by dye removal using the bacterium identified as *Streptomyces* sp VYN22. According to 16S rRNA sequence analysis, this isolate was 99.71% closely related to *Streptomyces bobili* type strain. Using Colorsol Orange Deep textile dye at different pHs, the dyestuff removal of live, dry and lyophilized forms of *Streptomyces* sp VYN22 at 0-10 hours was investigated by spectrophotometric measurements. At the end of the study, it was observed that these bacteria gave high results in dyestuff removal at pH 4, 6 and 10.


Keywords: Actinobacteria, Azo dye, Biodegradation

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ondokuz Mayıs University, Bafra Vocation School, Department of Plant and Animal Production, 55400, Samsun, Türkiye

E mail: yeliz.bekiroglu@omu.edu.tr (Y. GENÇ BEKİROĞLU)

Fadime ÖZDEMİR KOÇAK  <https://orcid.org/0000-0002-8557-5166>

Yeliz GENÇ BEKİROĞLU  <https://orcid.org/0000-0003-0666-1857>

Burcu YAMAN  <https://orcid.org/0009-0005-6997-7404>

Gönderi: 06 Aralık 2023

Kabul: 15 Ocak 2024

Yayınlanma: 15 Mart 2024

Received: December 06, 2023

Accepted: January 15, 2024

Published: March 15, 2024

Cite as: Özdemir Koçak F, Genç Bekiroğlu Y, Yaman B. 2024. Effect of *Streptomyces* sp. VYN22 strain on dyestuff removal in textile wastewater. BSJ Eng Sci, 7(2): 160-164.

1. Giriş

Günümüzde hızla artan nüfusla birlikte, doğal kaynakların bilinçsizce kullanılması birçok çevre sorunu ve kirliliği beraberinde getirmektedir. Bu çevre sorunlarının başında ise alıcı ortama deşarj edilen ve organoklor bazlı pestisitlerden boyalarla ilişkili ağır metallere kadar birçok kirletici madde içeren endüstriyel atık sular gelmektedir. Atık su arıtımı, atık su deşarjından kaynaklı çevresel olumsuz etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Ceretta ve ark., 2021).

Kimyasal strüktürü bakımından boyalar; azo, triaril methan, anthraquinon, heterosiklik ve ftalosiyanın boya olarak karakterize edilmektedir (Zhao ve Hardin, 2007). Azo boyalar ticari anlamda kullanılan sentetik boyaların en büyük grubunu temsil eder ve 3000'den fazla farklı

çeşidi ile tekstil, kağıt, gıda, kozmetik, ilaç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Maximo ve ark., 2003). Özellikle yapısında sülfö-, nitro- grupları ve halojenler bulunmayan azo boyalar yağlarda çözünme özellikleri bakımından aerobik çevre koşulları altında kalıcı olma eğilimindedirler (Kurbanova ve ark., 1998; Reiger ve ark., 2002).

Atık sulardan boyaların uzaklaştırılması için çeşitli fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanmasının, ekonomik olarak daha fazla enerji ve kimyasal gerektirmesi, inatçı azo boyaları veya organik metabolitlerini tamamen ortadan kaldıramaması ve önemli miktarda çamur oluşturması gibi doğal dezavantajları vardır. Ayrıca bu yöntemler ikincil kirlilik sorunlarına da neden olur ve karmaşık prosedürler içerir



(Forgacs ve ark., 2004). Mikroorganizmaların atık su ortamlarından boyaları ayrıştırma ve absorbe etme yeteneği uzun zamandır bilinmektedir ve buna bağlı olarak tekstil atık sularının arıtılması için biyoremediasyona dayalı teknolojilerin kullanımı ilgi çekmektedir (Chang ve Kuo, 2000; McMullan ve ark., 2001). Mikrobiyal veya enzimatik renk giderme süreci, fizikokimyasal arıtma yöntemlerine kıyasla su tüketimini azaltmaya yardımcı bir süreç olmasının yanı sıra, kullanılan biyolojik arıtım yöntemleri, tekstil endüstrisi için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlere kıyasla daha az çamur üretmesi, maliyetinin düşük olması ve deşarj edilen ortamlar için daha az zararlı olması gibi özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık suların arıtılmasında ideal çözüm olarak kabul edilmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002; Rai ve ark., 2005; Khehra ve ark., 2006).

Aktinobakteriler, özellikle ikincil bileşikler açısından çok sayıda biyoaktif molekül üretme kabiliyetleri nedeniyle tıbbi ve biyoteknoloji endüstrilerindeki paha biçilmez prokaryotlar olarak kabul edilmektedir (Gao ve Gupta, 2005; Çil ve ark., 2016; Özdemir Koçak ve ark., 2023). Aktinobakteriler, tüm mikrobiyal sekonder metabolitlerin %70'ini oluşturur ve bu özelliklerinden dolayı biyoaktif bileşiklerin en büyük üreticileri arasında yer almaktadırlar (Janardhan ve ark., 2014). Kirli topraklarda nitrojen fiksasyonu ve hidrokarbonlar gibi yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerin bozunması ile toprak ortamlarının biyolojik kontrolünü sağlamalarının yanı sıra, besin maddelerinin ve minerallerin mevcudiyetini iyileştirdiği, metabolitlerin üretimini arttırdığı ve bitki büyüme düzenleyicilerini teşvik ettiği de bilinmektedir (Radhika ve ark., 2011; Bhatti ve ark., 2017; Özdemir Koçak, 2019). Ayrıca, termofilik Aktinobakteriler DNA polimerazlar, pullulanazlar, amilazlar, ksilanazlar, lipazlar ve proteazlar gibi biyoteknolojik olarak önemli bazı enzimleri ürettikleri için endüstriyel öneme sahiptir (Mahajan ve Balachandran, 2017; Özdemir Koçak ve ark., 2023). Bu çalışmada da topraktan elde edilen *Streptomyces* suşunun 3 farklı formu kullanılarak Colorsol Deep Orange boyar maddesinin farklı pH'larda giderimi belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. *Streptomyces* sp. Suşunun İzolasyonu

Avusturya (Viyana) bölgesi tarla toprağından yapılan izolasyon çalışmasında; dilüsyon plaka yöntemi uygulanarak farklı aktinobakteri izolatları elde edilmiştir (Özdemir Koçak, 2019). Steril kaplara alınan toprak örnekleri 15 gün süresince kurutulmuş ve steril havanda dövülerek 1 g örnek 9 ml ringer çözeltisine eklenmiştir. Oluşturulan bu ilk dilüsyon (10^{-1}) 55 °C'de su banyosunda 30 dk bekletilerek dekontaminasyon işlemine tabi tutulmuştur. İlk dilüsyondan sonra ringer çözeltisi içeren tüplerde seri sulandırma işlemi yapılmış, 10^{-5} ve 10^{-6} dilüsyonlar kullanılarak yayma plaka yöntemi ile önceden hazırlanmış nalidilik asit (4 µg/ml),

rifamycine (4 µg/ml) ve cyloheximide (50 µg/ml) ilaveli tripton yeast glukoz agar üzerine (TYGA) inoküle edilmiştir (Özdemir Koçak, 2019).

2.2. *Streptomyces* sp. VYN22 Suşunun 16S rRNA Gen Bölgesi Analizleri

Streptomyces sp. VYN22 suşunun DNA izolasyonu DNA İzolasyon Kiti (İnvitrogen, USA) kullanılarak yapılmıştır. DNA örneğinin varlığı agaroz jel elektroforezi kullanılarak kontrol edilmiştir.

Streptomyces sp. VYN22 suşunun 16S bölgesini çoğaltmak için 27f ve 1525r primerleri kullanılmıştır (Lane, 1991). PCR reaksiyonunda 50 µl ölçüdeki Hot Start Master Mix (25 µl), primerler (1 µl), DNA (1-2 µl) ve sudan (nükleaz içermeyen) oluşan bir reaksiyon karışımı hazırlanmıştır. PCR reaksiyon koşulları; ön denatürasyon (94 °C, 2 dk, 1 döngü), denatürasyon (94 °C, 1 dk, 35 döngü), bağlanma (55 °C, 2 dk, 35 döngü), uzama (72 °C, 3 dk, 35 döngü) ve son uzama (72 °C, 8 dk, 1 döngü) basamaklarından oluşmuştur.

16S rRNA gen bölgesinin dizi analizi MacroGen (Hollanda) firmasından hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir. MacroGen firması tarafından 5 farklı primer (800r, MG3f, MG5f, 27f ve 1525r) kullanılarak 16S rRNA gen bölgesinin baz dizilimini ABI3730XL dizileme cihazı ile elde edilmiştir. ABI formatındaki dosyalar fasta formatına dönüştürüldükten sonra MEGAX programları kullanılarak karşılaştırmalı ve manuel olarak 5 farklı primerden elde edilen diziler birleştirilmiştir (Kumar ve ark., 2018). Birleştirilen diziler NCBI (National Center for Biotechnology Information) Blast ve ExTaxon Server programında analiz edilmiştir (Kim ve Chun, 2014). *Streptomyces* sp. VYN22 suşunun 16S rRNA gen bölgesi dizi analizleri MEGAX programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yine MEGAX programı kullanılarak 16S rRNA baz dizilerinin filogenetik soyağacı oluşturulmuştur. Neighbour-joining algoritması ve Jukes-Cantor uzaklık matrisi kullanılarak filogenetik soyağaçları elde edilmiştir (Jukes ve Cantor, 1969). Bootstrap analizleri 1000 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Biyosorpsiyon Deneyleri

Biyosorpsiyon deneylerinde kullanılacak olan izolatlar besiyeri isteklerine göre nutrient agar veya Luria-Bertani (LB) agar ortamında 30 °C'de 3-5 gün inkübe edildi. Suşlar 3 farklı formda kullanıldı. Canlı formda kullanılacak olanlar 0,1 OD'ye ayarlanıp giderim deneylerinde kullanıma hazır hale getirildi. Liyofilize form için besiyerinde büyütülen suşlar santrifüjlenerek -20 °C'de 24 saat bekletilip liyofilizatörde kurutuldu. Son olarak sıvı besiyerinde geliştirilen mikrobiyal kütle ortamdan uzaklaştırıldıktan sonra 70 °C 24 saat bekletilerek kurutulmuş hazır hale getirildi.

Biyosorpsiyon 250 ml'lik erlenlerde 100 ml saf su ve belirli konsantrasyonlarda Colorsol Deep Orange tekstil boyası içeren ortamlarda gerçekleştirildi. Optimal pH'ın belirlenmesi için 100 mg/L boya içeren saf su ortamının pH'sı 2, 4, 6, 8 ve 10 olacak şekilde ayarlandı. kuru örneklerden 0.015 g, liyofilize örneklerden 0.0075 g

alınarak 15 ml'lik cam tüplere aktarılmış, canlı form için ise mikroorganizma yoğunluğu 0,1 OD olarak ayarlanmıştır. Analizler için 2 saat ara ile 0- 10. saatlerde 2 ml örnek alınarak 470 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçümleri yapıldı.

3. Bulgular

3.1. *Streptomyces* sp. Suşunun İzolasyonu

Toprak örneklerinden hazırlanan 10^{-5} ve 10^{-6} dilüsyonlar yayma plaka yöntemi ile antibiyotik ilaveli tripton yeast glukoz agar (TYGA) inoküle edilmiştir. *Streptomyces* izolatının miselyum ve sporları %25'lik steril gliserol çözelti içerisine transfer edilerek -20°C 'de stoklanmıştır. Bu izolatın isimlendirilmesinde izole edildiği lokasyonu temsilen (VYN: Viyana) ve tek koloni olarak elde edildiği izolat sayısı olan 22 kullanılmıştır.

3.2. *Streptomyces* sp. VYN22 Suşunun 16S rRNA Gen Bölgesi Analizleri

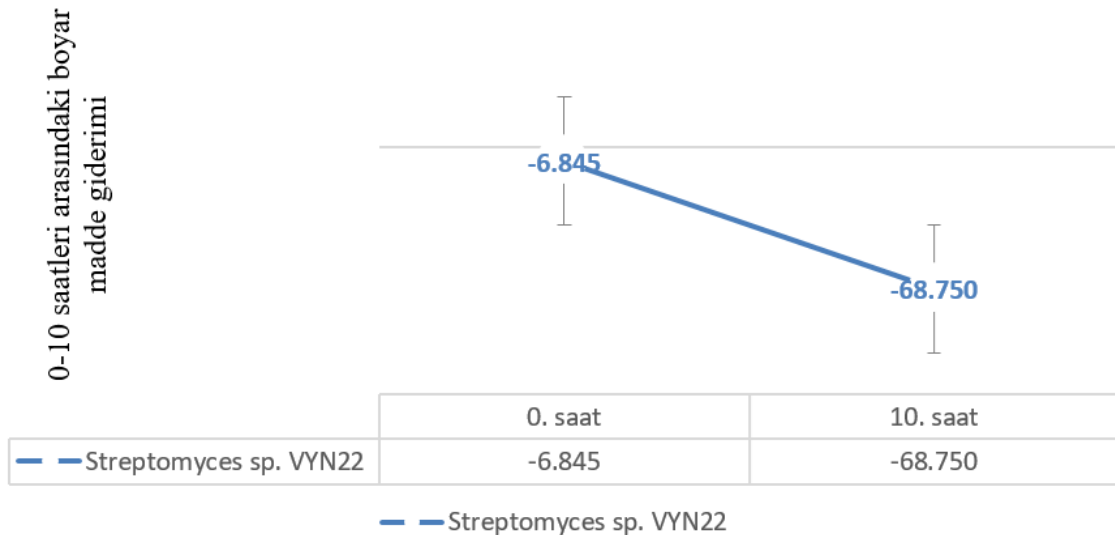
MEGAX programı kullanılarak gerçekleştirilen aligment işlemleri ve filogenetik analizler sonucunda *Streptomyces* cinsi ile ilişkili olduğu belirlenen VYN22 izolatının *Streptomyces bobili* tip türüne %99.71 benzer ve 4 nükleotit farklılığına sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 1). VYN22 izolatı daha sonra *Streptomyces phaeoluteigriseus* tip türü ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (%99.43 benzerlik; 8 nt farklılığı).

3.3. Biyosorbsiyon Deneylemleri

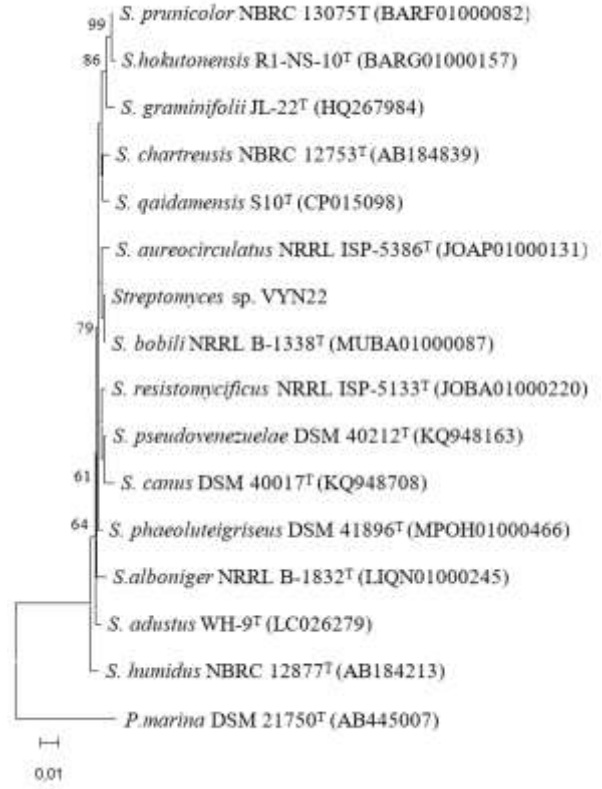
Analizler için 2 saat ara ile 0- 10. saatlerde alınan örneklerden elde edilen spektrofotometrik ölçüm sonuçları Tablo 1'de verilmektedir. Spektrofotometrik ölçümler sonrası *Streptomyces* sp. VYN22 suşunun biyosorbsiyon kapasitesi aşağıdaki eşitlik ile belirlendi ve boyar madde giderim yüzdeleri tespit edildi (eşitlik 1) (Hlihor ve ark., 2015).

$$\text{Boya Giderimi (\% BG)} = (\text{Co} - \text{Cf}) / \text{Co} \times 100 \quad (1)$$

Co: Başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L), Cf: Belli bir zaman dilimindeki son boya konsantrasyonu (mg/L)



Şekil 2. pH 4'te (Colorsol Deep Orange M-S) *Streptomyces* sp. VYN22 kuru formunun 0-10 saatlerindeki boyar madde giderim değişiminde %61,9 boyar madde giderimi görülmüştür.



Şekil 1. *Streptomyces* sp. VYN22 suşu ile *Streptomyces* cinsine ait tip türlerinin 16S rRNA gen bölgesinin Neighbour-joining filogenetik soy ağacı. Dış grup olarak *P. marima* kullanılmıştır.

Absorbans ölçümlerine göre pH 2'de boyar madde giderim oranı oldukça düşüktür. pH 4'de *Streptomyces* sp. VYN22'nin canlı formunda %22,4, kuru formunda ise %61,9 boyar madde giderimi görülmüştür. pH 6'da kuru formunda %36,6 canlı formunda %17,5, pH 8'de kuru formunda %1,8, canlı formunda %9 ve son olarak pH 10'da kuru formunda %14,7, canlı formunda ise %11,3 boyar madde giderimi görülmüştür (Şekil 2).

Tablo 1. pH 2-4-6-8 ve 10'da Colorsol Deep Orange absorbans değerleri. (0-10 saatlik ölçüm) B. boya kons: Başlangıç boya konsantrasyonu

		pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0. Saat	B. boya kons	0.636	0.552	0.596	0.607	0.693
	Kuru	0.458	0.336	0.442	0.448	0.568
	Canlı	0.367	0.388	0.445	0.466	0.459
	Liyofilize	0.465	0.375	0.442	0.492	0.506
2. Saat	B. boya kons	0.616	0.601	0.635	0.608	0.673
	Kuru	0.432	0.359	0.478	0.445	0.556
	Canlı	0.363	0.382	0.459	0.437	0.486
	Liyofilize	0.412	0.319	0.462	0.442	0.512
4. Saat	B. boya kons	0.630	0.561	0.624	0.458	0.733
	Kuru	0.436	0.497	0.518	0.433	0.518
	Canlı	0.366	0.408	0.740	0.478	0.484
	Liyofilize	0.367	0.378	0.431	0.432	0.502
6. Saat	B. boya kons	0.589	0.551	0.632	0.458	0.743
	Kuru	0.373	0.554	0.619	0.479	0.534
	Canlı	0.366	0.451	0.461	0.476	0.539
	Liyofilize	0.345	0.321	0.439	0.432	0.541
8. Saat	B. boya kons	0.567	0.558	0.641	0.468	0.748
	Kuru	0.364	0.578	0.632	0.468	0.589
	Canlı	0.364	0.462	0.522	0.516	0.614
	Liyofilize	0.339	0.313	0.442	0.439	0.539
10. Saat	B. boya kons	0.561	0.560	0.648	0.459	0.747
	Kuru	0.360	0.567	0.640	0.457	0.640
	Canlı	0.357	0.469	0.537	0.483	0.538
	Liyofilize	0.328	0.309	0.448	0.465	0.505

4. Tartışma ve Sonuç

Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan azo boyalar herhangi bir işlem görmeden sulara bırakıldıklarında çevre kirliliğine neden olarak toksik, kanserojen ve mutajenik etki gösterdiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Bagewadi ve ark., 2011). Çoğu azo boyası bakteri hücreleri tarafından aerobik bozunmaya karşı dirençlidir, bu nedenle geçtiğimiz on yıllar boyunca biyolojik renk giderme süreci, azo boya dönüştürmek, parçalamak veya mineralize etmek için alternatif bir yöntem olarak araştırılmaktadır (Chaubu ve ark., 2010).

Boyar maddelerin sulu ortamlardan giderimi için bakteri, maya, mantar, alg gibi değişik tipte mikroorganizmalar kullanılmaktadırlar (Kargı ve Ozmihçı, 2004). Koçak ve Evliya (2011) çalışmalarında Reaktif Black 5 boyar maddesinin renginin anaerobik ortamda *Bacillus subtilis* ile giderildiğini rapor etmiştir. Okur ve ark. (2020) *Candida tropicalis*'in azo boyar maddeye karşı dirençli olduğunu ve azo boyar maddeleri içeren endüstriyel atık suların biyolojik arıtımında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada ise *Streptomyces* sp. VYN22 suşu kullanılarak Colorsol Deep Orange isimli azo boyanın biyolojik giderim oranları belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda *Streptomyces* sp. VYN22'nin kuru ve canlı formunda pH 4, 6 ve 10'da yüksek boyar madde giderim oranları tespit edilmiştir.

Sonuç olarak yüksek pH'da daha fazla giderim

gerçekleştiği görülmüştür. Elde edilen bulgular, *Streptomyces* sp. VYN22 suşu ve Colorsol Deep Orange boyar maddesinin bulunduğu aerobik ortamda, inkübasyon süresince, boyar madde gideriminin sürekli azaldığını göstermektedir. Bu azalış, biyokimyasal olayların yürüdüğünü, boyar maddelerin biyokimyasal olarak parçalandıklarını ve parçalanmış bileşiklerin deney suşu tarafından karbon ve enerji kaynağı olarak kullanıldığını göstermektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	F.Ö.K.	Y.G.B.	B.Y.
K	50	40	10
T	60	20	20
Y	60	20	20
VTI	50		50
VAY	50	50	
KT	30	30	40
YZ	30	70	
KI	50	50	
GR	30	70	
PY	80		20
FA	80	10	10

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A proje kapsamında desteklenmiş olup. TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bagewadi ZK, Vernekar AG, Patil AY, Limaye AA, Jain VM. 2011. Biodegradation of industrially important textile dyes by actinomycetes isolated from activated sludge. *Biotechnol Bioinf Bioeng*, 1(3): 351-360.
- Bhatti AA, Haq S, Bhat RA. 2017. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health, *Microb Pathog*, 11: 458-467.
- Ceretta MB, Necessian D, Wolski EA. 2021. Current Trends on Role of Biological Treatment in Integrated Treatment Technologies of Textile Wastewater. *Front Microbiol*, 12: 1-7.
- Chang JS, Kuo TS. 2000. Kinetics of bacterial decolorization of azo dye with *Escherichia coli* NO3. *Bioresour Technol*, 75: 107-111.
- Chaubha P, Indurkar H, Moghe S. 2010. Biodegradation and decolorisation of Direct Violet 51 and Trazine dye from isolated fungus (TYPE I). *Asiatic J Biotech Res*, 03: 220-226.
- Çil E, Işık K, Koçak FÖ. 2016. Bazı toprak aktinomisetlerinin antimikrobiyal aktivite ve antibiyotik duyarlılıklarının incelenmesi. *Ordu Üniv Bil Tek Derg*, 6(2): 75-84.
- Forgacs E, Cserhati T, Oros G. 2004. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environ Int*, 30(7): 953-971.
- Gao B, Gupta RS. 2005. Conserved indels in protein sequences that are characteristic of the phylum Actinobacteria. *Int J Syst Evol Microbiol*, 55: 2401-2412.
- Hlihor RM, Diaconu M, Leon F, Curteanu S. 2015. Experimental analysis and mathematical prediction of Cd (II) removal by biosorption using support vector machines and genetic algorithms. *New Biotech*, 32(3): 358-368.
- Janardhan A, Kumar AP, Viswanath B, Saigopal DVR, Narasimha G. 2014. Production of bioactive compounds by Actinomycetes and their antioxidant properties. *Biotechnol Res Int*, 2014: 1-9.
- Jukes TH, Cantor CR, 1969. Evolution of protein molecules. *Mammalian Protein Metabol*, 3: 21-132.
- Kargı F, Ozmihçı S. 2004. Batch biological treatment of nitrogen deficient synthetic wastewater using *Azotobacter* supplemented activated sludge. *Bioresour Technol*, 94(2): 113-117.
- Khehra MS, Saini HS, Sharma DK, Chadha BS, Chimni SS. 2006. Biodegradation of azo dye C.I. Acid Red 88 by an anoxic-aerobic sequential bioreactor. *Dyes Pigments*, 70: 1-7.
- Kim M, Chun J. 2014. 16S rRNA gene-based identification of

- bacteria and archaea using the EzTaxon server. *Methods Microbiol*, 41: 61-74.
- Kocaer FO, Alkan U. 2002. Boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniv Müh Mim Fak Derg*, 7: 47-55.
- Koçak G, Evliya H. 2011. *Bacillus subtilis* ile reaktif black 5 boyar maddesinin renk giderim kinetiğinin araştırılması. *Çukurova Üniv Fen Müh Bil Derg*, 26(1): 6-15.
- Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C, Tamura K. 2018. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *J Mol Biol*, 35(6): 1547.
- Kurbanova R, Mirzaoglu R, Ahmedova G, Şeker R, Özcan E. 1998. Boya ve tekstil kimyası ve teknolojisi. Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları, Konya, Türkiye, pp: 117-122.
- Mahajan GB, Balachandran L. 2017. Sources of antibiotics: Hot springs. *Biochem Pharmacol*, 134: 35-41.
- Maximo C, Amorim MTP, Costa-Ferreira M. 2003. Biotransformation of industrial reactive azo dyes by *Geotrichum* sp. CCM1 1019. *Enzyme Microb Tecol*, 32: 145-151.
- McMullan G, Meehan C, Conneely A, Kirby N, Robinson T, Nigam P, Banat I, Marchant R, Smith W. 2001. Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. *Appl Microbiol Biotechnol*, 56: 81-87.
- Okur M, Saraçoğlu N, Aksu Z. 2020. Removal of metal-complex dye with *Candida tropicalis* from aqueous solutions: Growth and inhibition kinetics. *J Fac Eng Architect Gazi Univ*, 35(3):1399-1408.
- Özdemir Koçak F, Tanir SGE, Cetin AK, Degirmenci L. 2023. Simultaneous evaluation of composting experiments and metagenome analyses to illuminate the effect of *Streptomyces* spp. on organic matter degradation. *World J Microbiol Biotechnol*, 39(3): 70.
- Özdemir Koçak F. 2019. Identification of *Streptomyces* strains isolated from *Humulus lupulus* rhizosphere and determination of plant growth promotion potential of selected strains. *Turkish J Biol*, 43(6): 391-403.
- Radhika S, Bharathi I, Radhakrishnan M, Balagurunathan R, Pharm J. 2011. Bioprospecting of fresh water actinobacteria: Isolation, characterization and antagonistic potential of selected actinobacteria. *J Pharm Res*, 4(8): 2584-2586.
- Rai HS, Bhattacharyya MS, Singh J, Bansal TK, Vats P, Banerjee UC. 2005. 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.
- Reiger PG, Meir HM, Gerle M, Vogt U, Groth T, Knackmuss HJ. 2002. Xenobiotics in the environment: present and future strategies to obviate the problem of biological persistence. *J Biotechnol*, 94(1): 101-123.
- Zhao X, Hardin IR. 2007. HPLC and spectrophotometric analysis of biodegradation of azo dyes by *Pleurotus ostreatus*. *Dyes Pigments*, 72(3): 322-325.