

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BOYAR MADDE BİYOREMEDİASYONUNDA TERMOFİLİK MİKROALG  
VE SİYANOBAKTERİLERİN KULLANIM KAPASİTELERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Esra ERKOÇ**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2020**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BOYAR MADDE BİYOREMEDİASYONUNDA TERMOFİLİK MİKROALG VE SİYANOBAKTERİLERİN KULLANIM KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Esra ERKOÇ

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

Kaplıca sularından elde edilen saf mikroalg ve siyanobakterilerin kullanıldığı tez çalışmasında, farklı boyları içeren ortamlarda, termofil *C. aponinum* ve termotolerant *C. vulgaris*'in Brilliant Blue R (BBR) ve Remazol Brilliant Blue R (RBBR) biyogiderim kapasiteleri araştırılmıştır. Biyogiderim kapasitelerinin belirlenmesi için, farklı pH'larda (pH 6.5, 7.5, 8.5 ve 9.5), artan boya (10 mg/L, 20 mg/L, 40 mg/L ve 60 mg/L), biyokütle [%10 (v/v), %20 (v/v)] konsantrasyonlarında ve artan sıcaklık değerlerinde (25 °C, 35 °C ve 45 °C), BG11 besiyerinde denemeler yapılmıştır.

Mikroorganizmalar, 100 mL BG11 besiyerinde, 25 °C' de ve devamlı sabit ışık altında (2400 lux) 10 gün boyunca, iklimlendirme kabininde inkübe edilmiştir. *C. vulgaris* en yüksek boya biyoremediasyonunu pH 7.5'da yaparken, *C. aponinum* pH 9.5'ta en yüksek verimle kirletici giderimi yapmıştır.

Ortamdaki biyokütle konsantrasyonu 10% (v/v), BBR konsantrasyonu 9.0 mg/L olduğunda, 25 °C'de, *C. vulgaris* %97.6 verimle giderim yaparken, *C. aponinum*, aynı ortamda %79.3 biyogiderim yapmıştır. Aynı biyokütle konsantrasyonunda, besiyerindeki RBBR konsantrasyonu 10.1 mg/L olduğunda, *C. vulgaris* %76.8, aynı ortamda *C. aponinum* %85.6 verimle biyoremediasyon gerçekleştirmiştir.

Artan sıcaklık ve biyokütle konsantrasyonlarının boya giderimine etkisi incelendiğinde, sıcaklık artışından *C. vulgaris*'in olumsuz yönde etkilenecek, yalnızca 35 °C'de BBR biyoremediasyonu yaptığı, mikroalgin 45 °C'de boya giderimi yapamadığı belirlenmiştir. *C. vulgaris* en yüksek BBR giderimini, 40.1 mg/L kirletici ve %20 (v/v) biyokütle içeren ortamda 25 °C'de, %59.6 olarak yapmıştır. *C. aponinum* ise, denenen tüm sıcaklık derecelerinde gelişerek etkin boya biyoremediasyonu yapmıştır. En yüksek BBR biyoremediasyonu, yaklaşık 40 mg/L kirletici konsantrasyonunda, %20 (v/v) biyokütle ile 25 °C, 35 °C ve 45 °C'de sırasıyla, %91.1, %59.8 ve %64.5 olarak belirlenmiştir. Ortamda yaklaşık 40 mg/L RBBR ve %20 (v/v) biyokütle bulunduğunda, *C. aponinum* 25 °C'de %59.6, 35 °C'de %73 ve 45 °C'de %65.2 verimle boya giderimi yapmıştır. Yapılan tez çalışmasında termofil *C. aponinum* ve termotolerant *C. vulgaris*'in boya içeren atıksuların arıtılmasında yüksek verimle biyoremediasyon yapması, bu mikroorganizmaların boya içeren atıksuların biyolojik arıtım süreçlerinde kullanım potansiyellerinin olduğunu göstermiştir.

Aralık 2020, 55 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Termofil, Mikroalg, Siyanobakteri, Biyoremediasyon, Boyar madde, Atıksu

## ABSTRACT

Master Thesis

### INVESTIGATION OF USAGE CAPACITIES OF THERMOPHILIC MICROALGAE AND CYANOBACTERIA IN DYESTUFF BIOREMEDIATION

Esra ERKOÇ

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biology

Supervisor: Prof.Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

In the thesis study using pure microalgae and cyanobacteria obtained from hot spring waters, Brilliant Blue R (BBR) and Remazol Brilliant Blue R (RBBR) biodegradation capacities of thermophile *C. aponinum* and thermotolerant *C. vulgaris* were investigated. For the determination of biodegradation capacities, trials were conducted in BG11 medium at different pH (pH 6.5, 7.5, 8.5, and 9.5), initial dye (10 mg/L, 20 mg/L, 40 mg/L, and 60 mg/L), biomass [10% (v/v), 20% (v/v)] concentrations and increasing temperatures (25 °C, 35 °C and 45 °C).

Microorganisms were incubated in 100 mL BG11 medium at 25 °C under constant illumination (2400 lx) for 10 days in the growth chamber. *C. vulgaris* performed the highest dye bioremediation at pH 7.5, while *C. aponinum* performed the highest efficiency at pH 9.5.

In media with 9.0 mg/L BBR and 10% (v/v) biomass, at 25 °C, *C. vulgaris* had 97.6% removal efficiency, while *C. aponinum* had 79.3% bioremoval under the same conditions. At the same biomass concentration and 10.1 mg/L RBBR concentration, *C. vulgaris* and *C. aponinum* performed bioremediation with 76.8% and 85.6% yields, respectively. When the effect of increasing temperature and biomass concentrations on dye removal was examined, it was determined that *C. vulgaris* was adversely affected by the temperature increase, and only BBR bioremediation was done at 35 °C; microalgae could not remove dye at 45 °C. *C. vulgaris* achieved the highest BBR removal in media containing 40.1 mg/L pollutant and 20% (v/v) biomass at 25 °C, as 59.6%. On the other hand, *C. aponinum*, grew at all temperatures tested, resulting in effective dye bioremediation. The highest BBR bioremediation was determined as 91.1%, 59.8% and 64.5% in samples with approximately 40 mg/L pollutant and 20% (v/v) biomass concentration at 25 °C, 35 °C and 45 °C, respectively. When there was approximately 40 mg/L RBBR and 20% (v/v) biomass in media, *C. aponinum* achieved dye removal with 59.6% efficiency at 25 °C, 73% at 35 °C, and 65.2% at 45 °C. In the thesis study, the high-efficiency bioremediation of thermophile *C. aponinum* and thermotolerant *C. vulgaris* in the treatment of wastewater containing dye has shown that these microorganisms have potential use in biological treatment processes of wastewaters containing dye.

December 2020, 55 page

**Key Words:** Thermophilic, Microalgae, Cyanobacteria, Bioremediation, Dyestuff, Wastewater

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde ve araştırılmasında bana öncülük eden, her anımda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilimsel ve manevi olarak gelişmemde yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ’a (Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı) sonsuz teşekkür ederim. Araştırmalarımda beni yönlendiren bilgi ve tecrübelerine danıştığım hocam Sayın Prof.Dr. Gönül DÖNMEZ’e (Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı) ve Sayın Prof.Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY’a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında her konuda bana yardımcı olan değerli hocam Arş.Gör.Dr. Ekin DEMİRAY’a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, “Boyar Madde Biyormediasyonunda Termofilik Mikroalg ve Siyanobakterilerin Kullanım Kapasitelerinin Araştırılması” konulu proje Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (19L0430011) desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne teşekkür ederim.

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü’ndeki değerli lisansüstü arkadaşlarım Nazlıhan TEKİN, Aybüke KUT, Dilara DİLBAZ ve Danial NASSOUHI’ye destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Lisans öğrenimimden itibaren yanımda olan ve desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşlarım Aslı SOYDEMİR, Büşra İNTAŞ, Elif BAŞ ve Sunay ZENGİNER’e teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan her kararımda beni cesaretlendiren ve destekleyen maddi manevi desteğini esirgemeyen birçok fedakarlıkta bulunan sevgili annem Medine ERKOÇ, babam Hüseyin ERKOÇ ve kardeşim Ali Osman ERKOÇ’a sonsuz teşekkür ederim.

Esra ERKOÇ

Ankara, Aralık 2020

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ETİK.....                                                                                         | i   |
| ÖZET.....                                                                                         | ii  |
| ABSTRACT.....                                                                                     | iii |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                     | iv  |
| SİMGELER DİZİNİ.....                                                                              | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                              | ix  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                            | x   |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                     | 1   |
| 2. KURAMSAL TEMELLER.....                                                                         | 2   |
| 2.1 Atıksular.....                                                                                | 2   |
| 2.2 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyalar.....                                                 | 3   |
| 2.2.1 Remazol Brilliant Blue R.....                                                               | 5   |
| 2.2.2 Brilliant Blue R.....                                                                       | 5   |
| 2.3 Tekstil Atıksularının Arıtım Yöntemleri.....                                                  | 5   |
| 2.4 Mikroalg ve Siyanobakterilerle Yapılan Boya Giderimi Çalışmaları.....                         | 6   |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM.....                                                                        | 11  |
| 3.1 Materyal.....                                                                                 | 11  |
| 3.1.1 Mikroalg ve Siyanobakteri gelişme koşulları.....                                            | 11  |
| 3.1.2 Boya stok solüsyonunun hazırlanması.....                                                    | 12  |
| 3.2 Yöntem.....                                                                                   | 14  |
| 3.2.1 Saf Mikroalg ve Siyanobakteri eldesi.....                                                   | 14  |
| 3.2.2 Mikroalg ve Siyanobakterilerin boya giderim kapasiteleri.....                               | 15  |
| 3.2.3 Boya biyoremediasyonu çalışmaları.....                                                      | 15  |
| 3.2.3.1 Başlangıç pH'nın boya biyoremediasyonuna etkisi.....                                      | 15  |
| 3.2.3.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun boya biyoremediasyonuna etkisi.....                      | 16  |
| 3.2.3.3 Artan sıcaklığın ve başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının biyoremediasyona etkisi..... | 17  |
| 3.2.4 Analiz yöntemleri.....                                                                      | 18  |
| 3.2.4.1 Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD).....                                                   | 18  |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.4.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi.....                                                                         | 18 |
| 3.2.4.3 Boya analizleri.....                                                                                     | 18 |
| 3.2.4.4 Boya standartlarının hazırlanması.....                                                                   | 18 |
| 3.2.5 Sonuçların değerlendirilmesi ve kullanılan kısaltmalar.....                                                | 19 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....                                                                                      | 20 |
| 4.1 Saf Kültürlerin Boya Biyoremediasyon Kapasiteleri.....                                                       | 20 |
| 4.2 Başlangıç pH'ının Boya Biyoremediasyonuna Etkisi.....                                                        | 21 |
| 4.3 Artan Boya Konsantrasyonlarının BBR ve RBBR Boya<br>Biyoremediasyonuna Etkisi.....                           | 23 |
| 4.3.1 <i>C. vulgaris</i> ile yapılan BBR ve RBBR boya biyoremediasyonu.....                                      | 23 |
| 4.3.2 <i>C. aponinum</i> ile yapılan BBR ve RBBR boya biyoremediasyonu.....                                      | 25 |
| 4.4 Artan Sıcaklığın ve Başlangıç Biyokütle Konsantrasyonlarının<br>Biyoremediasyona Etkisi.....                 | 27 |
| 4.4.1 <i>C. vulgaris</i> 'in %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve<br>RBBR biyoremediasyonu..... | 27 |
| 4.4.2 <i>C. vulgaris</i> 'in %20 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve<br>RBBR biyoremediasyonu..... | 29 |
| 4.4.3 <i>C. aponinum</i> 'un %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve<br>RBBR biyoremediasyonu..... | 31 |
| 4.4.4 <i>C. aponinum</i> 'un %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve<br>RBBR biyoremediasyonu..... | 33 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....                                                                                        | 39 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                   | 47 |
| EKLER.....                                                                                                       | 51 |
| EK 1 RBBR (Remazol Brilliant Blue R) standardı.....                                                              | 52 |
| EK 2 BBR (Brilliant Blue R) standardı.....                                                                       | 53 |
| EK 3 RR-120 (Reactive Red 120) standardı.....                                                                    | 54 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                    | 55 |

## SİMGELER DİZİNİ

|                       |                                                                      |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $C_o$                 | Başlangıç kirletici miktarı (mg/L)                                   |
| $C_f$                 | Ortamda kalan kirletici miktarı (mg/L)                               |
| $C_{gid}$             | Mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırdığı kirletici miktarı (mg/L) |
| $q_m$                 | Mikrobiyel kütlede gram başına giderilen kirletici miktarı (mg/g)    |
| $X_m$                 | Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/L)                              |
| lux                   | Lüks                                                                 |
| g                     | Gram                                                                 |
| mg                    | Miligram                                                             |
| °C                    | Santigrat derece                                                     |
| ppm                   | Milyonda bir                                                         |
| BBR                   | Brilliant Blue R                                                     |
| RBBR                  | Remazol Brilliant Blue R                                             |
| L                     | Litre                                                                |
| ml                    | Mililitre                                                            |
| OD                    | Optik yoğunluk                                                       |
| rpm                   | Dakikada devir sayısı                                                |
| %B                    | Yüzde biyogiderim                                                    |
| mol                   | Mol                                                                  |
| $NaNO_3$              | Sodyum nitrat                                                        |
| $K_2HPO_4$            | Potasyum hidrojen fosfat                                             |
| $MgSO_4 \times 7H_2O$ | Magnezyum sülfat                                                     |
| $CaCl_2 \times 2H_2O$ | Kalsiyum klorür                                                      |
| $Na_2 CO_3$           | Sodyum karbonat                                                      |
| $H_3BO_3$             | Borik asit                                                           |
| $MnCl_2 \times 4H_2O$ | Magnezyum (II) klorür                                                |
| $ZnSO_4 \times 7H_2O$ | Çinko sülfat                                                         |

|                                                       |                    |
|-------------------------------------------------------|--------------------|
| $\text{NaMoO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$           | Sodyum molibdat    |
| $\text{Cu SO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$           | Bakır sülfat       |
| $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ | Kobalt (II) nitrat |
| HCl                                                   | Hidroksil asit     |
| NaOH                                                  | Sodyum hidroksit   |





## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1 Remazol Brilliant Blue R kimyasal yapısı.....                                                                                                                        | 12 |
| Şekil 3.2 Brilliant Blue R kimyasal yapısı.....                                                                                                                                | 13 |
| Şekil 3.3 Reactive Red 120 kimyasal yapısı.....                                                                                                                                | 14 |
| Şekil 4.1 Saf kültürlerin BBR, RBBR ve RR120 biyoremediasyon kapasitelerinin karşılaştırılması.....                                                                            | 21 |
| Şekil 4.2 Başlangıç BBR konsantrasyonlarının <i>C. vulgaris</i> BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                       | 24 |
| Şekil 4.3 Başlangıç RBBR konsantrasyonlarının <i>C. vulgaris</i> RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                     | 25 |
| Şekil 4.4 Başlangıç BBR konsantrasyonlarının <i>C. aponinum</i> BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                       | 26 |
| Şekil 4.5 Başlangıç RBBR konsantrasyonlarının <i>C. aponinum</i> RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                     | 27 |
| Şekil 4.6 Artan sıcaklıkların <i>C. vulgaris</i> BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                      | 28 |
| Şekil 4.7 Artan sıcaklıkların <i>C. vulgaris</i> RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                     | 29 |
| Şekil 4.8 Artan sıcaklıkların <i>C. vulgaris</i> BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                      | 30 |
| Şekil 4.9 Artan sıcaklıkların <i>C. vulgaris</i> RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                     | 31 |
| Şekil 4.10 Artan sıcaklıkların <i>C. aponinum</i> BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                     | 32 |
| Şekil 4.11 Artan sıcaklıkların <i>C. aponinum</i> RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                    | 33 |
| Şekil 4.12 Artan sıcaklıkların <i>C. aponinum</i> BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                     | 34 |
| Şekil 4.13 Artan sıcaklıkların <i>C. aponinum</i> RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi.....                                                                                    | 35 |
| Şekil 5.1 Farklı sıcaklıklarda ve artan kirletici konsantrasyonlarında <i>C. vulgaris</i> ve <i>C. aponinum</i> BBR (a) ve RBBR (b) biyoremediasyonunun karşılaştırılması..... | 44 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1 BG11 besiyeri içeriği.....                                                                                                                                 | 11 |
| Çizelge 3.2 Remazol Brilliant Blue R kimyasal özellikleri.....                                                                                                         | 12 |
| Çizelge 3.3 Brilliant Blue R kimyasal özellikleri.....                                                                                                                 | 13 |
| Çizelge 3.4 Reactive Red 120 kimyasal özellikleri.....                                                                                                                 | 14 |
| Çizelge 4.1 <i>C. vulgaris</i> ve <i>C. aponinum</i> ' un yaklaşık 20 mg/L RBBR ve BBR içeren ortamlarda farklı pH değerlerinde boya biyoremediasyon kapasiteleri..... | 22 |
| Çizelge 4.2 <i>C. vulgaris</i> maksimum spesifik BBR ve RBBR gideriminin ( $q_m$ ) karşılaştırılması.....                                                              | 36 |
| Çizelge 4.3 <i>C. aponinum</i> maksimum BBR ve RBBR gideriminin ( $q_m$ ) karşılaştırılması.....                                                                       | 38 |

## 1. GİRİŞ

Su hayatın vazgeçilmez bir parçası ve temel yaşam kaynağıdır. Günümüzde artan endüstriyel faaliyetler, nüfus çokluğu, bilinçsiz su tüketimi vb. gibi faktörler var olan su kaynaklarını hem azaltmakta hem de kirliliğine sebep olmaktadır.

Farklı sebeplerle kullanılan suyun kirlenen, yapısı bozulan ve hijyenini kaybederek atılan suların tümüne atıksu denmektedir. Atıksular içinde, boyar maddelerin sıklıkla kullanıldığı tekstil endüstrisi atıksularının doğal ortama bırakılması, su ortamında ışığın alt kısımlara geçmesine engel olmaktadır. Bu durumda sucul ekosisteminde, fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun sonucu olarak her gruptan canlıların yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu sorunların giderilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Arıtım yönteminin seçilmesinde, kısa süre, en az maliyet ve çevreye zarar vermeyen yöntemler tercih edilmektedir. Gelişen teknoloji ve yöntemlerle birlikte seçilen yöntem daha uygulanabilir, pratik ve modern hale gelmektedir. Arıtım yöntemleri arasında biyolojik yöntemler, az kimyasal madde kullanımı, çevre dostu olması, toksik olmayan yan ve son ürün eldesi ve kolay uygulanabilir olması gibi avantajlara sahiptir. Tüm bu özellikleri ile boyalı tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında biyolojik yöntemlerin kullanılması daha avantajlı olarak görülmektedir.

Biyolojik yöntemlerde, biyoremediasyon kabiliyetine sahip mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Bu mikroorganizmalar arasında ekstremofil olanlar, olumsuz çevre koşullarında yaşayabilme yeteneğinden dolayı ilgi çekmektedir. Son yıllarda, ekstremofil mikroorganizmalar arasında termofillere ilgi artmaktadır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen tez çalışmasında, tekstil endüstrisinde en sık kullanılan boyalardan Brilliant Blue R ve Remazol Brilliant Blue R boyalarının, sıcak su kaynaklarından izole edilen termotolerant *C. vulgaris* mikroalgi ve termofil *C. aponinum* siyanobakterisi ile boya biyoremediasyonu araştırılmıştır. Bu tez çalışmasıyla, tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında termotolerant *C. vulgaris* ve termofil *C. aponinum*'un biyoremediasyon potansiyeli ortaya konulmuştur.

## 2. KURUMSAL TEMELLER

### 2.1 Atıksular

Dünya üzerinde kirlilik sıralamasının başında su kirliliği gelmektedir. Su kaynakları organik ve inorganik olmak üzere, ağır metaller, tarım ilaçları, deterjanlar, reaktif maddeler, fenol, antibiyotik, deterjan, aromatik hidrokarbonlar, plastikler ve boyalar gibi farklı maddeler ile kirlenmektedir. Kirlenen sular, barındırdıkları kirleticilere göre farklı isimler almaktadır. Bunlar, evsel atıksular, tarımsal atıksular, endüstriyel atıksular vb. gibi farklı şekillerde adlandırılmaktadır (Goswami vd. 2020). Kirleticileri içeren sular, koku oluşumu, renk değişimi, ışık geçirgenliğinin azalması, oksijen miktarının düşmesi ile sucul ekosistem içerisindeki canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir. Sadece su altında değil su üzerinde de kirlilik ve koku oluşmaktadır (Sen vd. 2016).

Suların kirlenmesinde boyar maddeleri kullanan her türlü endüstriyel kuruluş, boya atığı bulunan atıksular oluşturur. Işık geçirgenliğinin azalmasında büyük rol oynayan boyalı suların oluşmasında endüstriyel olarak en etkili olan kuruluş tekstil endüstrisidir. Bu sıralamayı kağıt endüstrisi, deri endüstrisi ve boya üretim endüstrisi takip etmektedir. Boyar maddelerin çevrede uzun süre kalmaları çevre ve akuatik ortamlarda büyük problemlere yol açmaktadır. Örneğin, boyaların kullanıldığı endüstrilerde, üretimde kullanılmak üzere bir kilogram boya üretimi için 100 litre su kullanıldığı bilinmektedir (Katheresan vd. 2018).

Türkiye çölleşme riski altında bulunan ülkeler arasında yer almaktadır. 2017 Türkiye çölleşme risk haritası verilerine göre Türkiye'nin %12.7'si zayıf, %53.2'si orta iken %25.5'i yüksek riskli durumdadır. Bu sebeple suların arıtılması ve yeniden kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir ([https://www.tarimorman.gov.tr/CEM\\_Belgeler/yay%C4%B1nlar/yay%C4%B1nlar%202018/TEKNİK%20OZET%20TR.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/CEM_Belgeler/yay%C4%B1nlar/yay%C4%B1nlar%202018/TEKNİK%20OZET%20TR.pdf))

Su kaynaklarının kirlenmesinin sebeplerinin üst sıralarında ise çeşitli endüstriyel atıklar gelmektedir. Bunun sebebi, endüstriyel üretimin büyük bir hızla gelişmesi ve endüstriyel kuruluşlardan elde edilen atıksu miktarının da hızla artmasıdır. Bu hızlı

artış, aynı zamanda atık miktarını ve çevreye olan zararı da beraberinde getirmektedir. Sularda meydana gelen kirlilik ise en büyük sorunların başında gelmektedir. Dünya’da atıksuyun yaklaşık %15-20 kadarı tekstil endüstrisi tarafından üretilmektedir (Pavithra vd. 2012).

Atıksuların %54’ünün tekstil endüstrisi, %21’nin boyama endüstrisi, %10’unun kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi, %7’sinin boya imalat endüstrisi ve kalanının da diğer boyar maddelerini kullanan endüstri kuruluşlarından kaynaklandığı bilinmektedir. (Katheresan vd. 2018).

## **2.2 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyalar**

Boyar maddeler, kirleticiler içinde çok büyük bir alana kaplamaktadır. Farklı kimyasal özelliklere sahip boyalar farklı isimlerle adlandırılırlar.

Boyar maddeler kullanım alanlarına, kimyasal yapılarına göre farklı sınıflandırılmaktadır. Boya çeşitlerinden bazıları asit boyalar, bazik boyalar, solvent boyalar, dispers boyalar, direkt boyalar, sülfür boyalar, azo boyalar, reaktif boyalar, antrokinon boyalar, azoik boyalar, metal boyalar, indigo boyalar, metalik boyalar, doğal boyalar ve pigmentler örnek olarak verilebilir. Boyaların sınıflandırılması, boyamak için kullanılacak maddelerin özellikleri, suda çözünme özellikleri ve içerdikleri kimyasal bağların farklılıklarına göre yapılabilmektedir.

Asit boyalar, sülfonik asit grubu içerdiği için suda çözünen, anyonik, pH’sı 5 civarında olan boyalardır. Bu boyalar yün, naylon, elyaf ve ipek maddeleri boyanmasında kullanılır. Asit boyalar azo ve antrokinon boyların yapısına dahil edilerek boyaların boyanacak materyale sabitlenme oranı arttırılır. Boyanın tutunma %80-93’lere kadar çıkar. Sabit kalan boyalar içerisinde genellikle asit boyalar bulunmaktadır (Clark 2011a).

Bazik boyalar, suda çözünen ve yüklü oksijen veya nitrojen bulundurarak ortamı alkali hale getirdiği için bu isimle adlandırılan boyalardır. Sadece elyaf türevleri ve polyester boyanmasında kullanılır. Bazik boyaların maddeye tutunma oranı %97-98'dir ancak ilave maddeler ile boyanacak maddeye tutunması %100'e yakın olur. Bazik boyalar maddelere kolaylıkla tutunur ve ortamdan ayrılması zordur (Clark 2011a).

Direkt boyalar, tıpkı asit boyalar gibi içerisinde sülfonik asit gruplarını barındırdıkları için suda çözünebilen boyalarındandır. Pamuk, suni ipek, keten ve elyaf direkt boyalar ile boyanabilen maddelerdir. Boya %70-95 oranında boyanacak maddeye fikse olabilmektedir. Bazı kimyasalların ilavesi ile boyanın sabitlenme oranı %100'e kadar çıkabilmektedir. Bu yüzden kalıcı boyalar olarak adlandırılırlar (Clark 2011a).

Dispers boyalar, suda çözünmeyen sıvı ve toz halde bulunan boyalardır. Dispers boyalar, karışık boyalardır; %50 veyaz daha fazla basit azo bileşiklerini, %25 antrokinon boyalar ve kalanı çeşitli boyalardan içermektedir. Selüloz fibril yapıda polyester ve elyaf olan maddelerin boyanmasında kullanılır. Boyanacak madde tutunma oranı %80-92 olarak bilinmektedir (Clark 2011a).

Sülfür boyalar, suda çözünmeyen boyalardır. Ancak alkali indirgeyici ajanlar uygulanırsa çözünür hale gelebilirler. Pamuk ve viskon boyamada kullanılırlar. Boyanın sabitlenme oranı %60-70 olarak bildirilmiştir. Düşük maliyetli siyah boya üretiminde kullanılabilirler (Clark 2011a).

Reaktif boyalar, suda çözünebilen, halojen içeren, mavi ve tonlarında yaygın olarak kullanılan boyalardır. Pamuk, viskon, selüloz elyafların boyanmasında kullanılan boyalardır. Sabitlenme oranı %60-90 olarak bilinmektedir (Clark 2011a, Clark 2011b).

Azo boyalar, reaktif boyaların farklı reaktif gruplar ile birleştirilmesi ile boyalardır. Azo boyalar ise en sık kullanılan boya olmakla birlikte en belirgin özelliği ise bir veya birkaç azo ( $-N=N-$ ,  $-C\equiv N-$  gibi) grubu bulundurması ve tekstil fiberlerine kovalent bağlarla bağlanmasıdır (Yadav vd. 2012, Aksu ve Tezer 2005, Singh ve Singh 2015).

Azo boyalar dünya üzerinde %65-70 oranında kullanımı ile en sık tercih edilen boya grubu olarak bilinmektedir (Ajaz vd. 2020, Benkhaya vd. 2020, Gupta 2009).

### **2.2.1 Remazol Brilliant Blue R**

Remazol Brilliant Blue R (RBBR) boyası antrakinon boyadır. Antrakinon boyalar, asit boyalarla birlikte azo boyaları tamamlayan mordan maviye yeşile kadarzengin yapısı olan boyalardır. RBBR boyası yapısında mavi, menekşe moru, kırmızı renklerin oluşmasını sağlayan bir amino grubu içerir. RBBR boyası en bilinen mavi boyadır ve pH bağlayıcı sıcaklık 40-60 °C aralığındadır. Bu özelliğinden vinilsülfon boyalar içerisinde gösterilmektedir ve yapısında bulunan azo grupları boyanın kolaylıkla solmasına neden olur. Bir veya daha fazla amino veya metilamino grubu içeren boyalar çözücü sınıfı antrakinon boyalardır. Kanserojenik ve mutajenik özellikler göstermektedir (Forgacs vd. 2004).

### **2.2.2 Brilliant Blue R**

Brilliant Blue R (BBR) boyası asit boyalar grubunda yer almaktadır. Bu boyalar monoasit, disazo, trisazo gibi farklı adlarla anılmaktadır. Bu adlandırma boyanın içerisinde barındırdığı azo bağlarının sayısına göre belirlenmektedir. BBR boyası bu gruplar içinde monoasit boya grubunda yer almaktadır. Asit boyalar yapısında serbest gruplar bulundurur ve bu serbest gruplar azo grubu ile hidrojen bağı oluşturmak için kullanılır. Hidrojen bağı grupların ayrışmasını veya amino grupların indirgenmesini engeller ve böylelikle pH'a olan duyarlılığını azaltır (Forgacs vd. 2004).

## **2.3 Tekstil Atıksularının Arıtım Yöntemleri**

Boyar maddelerin içerdikleri zararlı kimyasal maddeler nedeniyle ortamdan uzaklaştırılmaları oldukça zordur. Arıtım işlemleri için temelde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerdir. Fiziksel arıtım yöntemlerine adsorpsiyon, iyon değişirme, filtrasyon, ters osmoz, yüzdürme ve

çöktürme örnek olarak verilebilir. Kimyasal yöntemlere oksidasyon, elektrokimyasal arıtım, ozonlama, ışınlama örnek olarak gösterilebilir. Kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemlerin arıtım işlemi sonrasında bıraktıkları son ürünler, ikincil kirliliğe neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemlerin maliyeti yüksektir ve çevre dostu değildir. Bu nedenle tercih edilmemektedir (Aksu ve Tezer 2005, Pandey vd. 2007, Singh ve Singh 2015, Ogugbue vd. 2011, Zhou vd. 2014).

Biyolojik arıtım, ikincil kirliliğin oluşmaması, çevre dostu olması, maliyetin daha uygun olması, güvenli, yüksek verim alınması gibi avantajları ile geleneksel yöntemlere göre tercih edilmektedir. Biyolojik arıtım yöntemlerinde biyoremediasyon yeteneğine sahip mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Biyoremediasyonda, maya, fungus, bakteri, mikroalg ve siyanobakteriler gibi farklı mikroorganizmalar kullanılabilir. Bu süreçte, aerobik ve anaerobik metabolizma, karışık ve saf kültürlerin kullanımı, mikrobiyel biyokütle adsorpsiyon gibi farklı yollarla kirleticiler ortamdan uzaklaştırılır. Özellikle mikroalg ve siyanobakterilerin atıksu arıtımında kullanımı son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir (Zhou vd. 2014)

#### **2.4 Mikroalg ve Siyanobakterilerle Yapılan Boya Giderimi Çalışmaları**

Biyoremediasyon sürecinde mikroorganizma seçimi oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, biyolojik arıtım sistemlerinde daha dirençli mikroorganizmaların kullanımı öne çıkmaktadır. Değişen ortam koşullarını tolere edebilen, yüksek uyum sağlama yeteneğine sahip ekstremofil mikroorganizmalar, biyoremediasyonda tercih edilmektedir. Bu canlılar, yüksek tuz konsantrasyonu, farklı basınçlar, sıcaklıklar gibi olumsuz çevre koşullarında da yaşamlarını sürdürebilirler. Bu nedenle farklı biyoteknolojik uygulamalarda ekstremofil canlıların kullanımı son yıllarda çarpıcı şekilde önem kazanmıştır. Ekstremofil mikroorganizmalar, atık suların arıtımının daha kısa sürede, güvenilir ve ekonomik yapılabilmesini sağlarlar (Drobac-Çik vd. 2007, Pumas vd. 2011, Mezhoud vd. 2014).

Mikroalg ve siyanobakteriler içinde termofil olanların biyoremediasyonda kullanımları, biyolojik arıtım sistemlerine büyük avantajlar sağlayabilecektir. Tekstil atıksularının



biyoremediasyonunda farklı mikroalg ve siyanobakterilerle yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmaların çoğunlukla mezofil mikroorganizmalara ait olduğu görülmektedir.

Omar (2008), Tartrazine ve diazo boya Ponceau boyalarının farklı alg ve siyanobakteri türleri ile giderimini araştırmıştır. *Chlorella ellipsidea*, *C. kessui*, *C. vulgaris* mikroalgleriyle, *Scenedesmus bijugotes* ve *S. obliquus*, *Anabaena laxa*, *A. subcylindrica*, *Oscillatoria angusta* siyanobakterileri 25 °C’de, 5 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L konsantrasyonlarda 6 gün inkübasyona bırakılmıştır. Alg ve siyanobakteriler içinde en iyi giderim 5 mg/L boya konsantrasyonunda olmuştur. Boya konsantrasyonu arttıkça giderim oranı azalmaktadır. Alglar Tartrazine boyasını üç günde %29, altı günde %68 oranında uzaklaştırırken, Ponceau boyasını üç günde %57, altı günde %70 ortamdan uzaklaştırmıştır.

Chu vd. (2009) yaptıkları çalışmada, 25 °C’de, *Chlorella vulgaris*’in tekstil atıksuyundan boya uzaklaştırmasını araştırmışlardır. Yapılan denemelerde, *C. vulgaris*’in %48.7 verimle tekstil atıksuyundan boya giderimi yaptığını gözlemlenmiştir.

El-Sheekh vd. (2009) endüstriyel atıkların bulunduğu farklı bölgelerden, *C. vulgaris*, *Lyngbya lagerlerimi*, *Nostoc linckia*, *Oscillatoria rubescens*, *Elkatothrix viridis*, *Volvox aureus* izole etmişlerdir. Bu mikroorganizmalar ile Methyl Red (20 ppm), Orange II (20 ppm), Basic Cationic (10ppm), G-Red [(FN-3G), (20 ppm)] ve Basic Fuschin (5 ppm) boya giderim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Methyl Red boyası için *N. linckia* ve *O. rubescens* ile 7 günlük inkübasyonda ilk üç günden itibaren %75.4 üzerinde bir giderim görülürken, son günde ise kirletici sırası ile %81.97 ve %81.3 verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır. Orange II boyası ise *E. viridis* ve *V. aureus* haricinde diğer organizmalar tarafından %25 ve üzerinde bir verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır. *C. vulgaris* ve *L. lagerlerimi* sırası ile %43.68 ve %47.06 biyogiderim yapmıştır. Basic Cationic’in tüm organizmalar tarafından giderimi sağlanmıştır. Inkübasyonun sonunda giderim oranları en düşük %82.15, en yüksek %91.6 olarak bildirilmiştir. Basic Fuschinin de inkübasyonun ilk günlerinden itibaren giderimi sağlanmış, *C. vulgaris*

%91.2 biyogiderim oranına sahipken, %94.85 ile en yüksek oranda boya ortamdan uzaklaştırılmıştır. G-Red boyasının giderimi ise en yüksek verimle *C. vulgaris* tarafından %59.11 verimle gerçekleştirilmiştir.

Karacakaya vd. (2009) yaptıkları çalışmada Reactive Red, Remazol Blue, Reactive Black B boyalarının *Phormidium* sp. ve *Synechocystis* sp. ile ortamdan uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Yapılan denemelerde optimum pH, 8.5 ve 9.5 olarak belirlenmiştir. Ortamda 25 mg/L kirletici olan ortamlarda, *Phormidium* sp. ve *Synechocystis* sp. sırası ile Reactive Red boyasını %35.4 ve %25.7, Remazol Blue boyasını %25.5 ve %37.5 ve Reactive Black B'yi %28.3 ve %29.2 verimle ortamdan uzaklaştırmıştır.

Lim vd. (2010), Supranol Red 3Bw, Levafix Navy Blue EDNA ve Lanaset Red 2GA Azo grubunun farklı alt dallarında yer alan boyalarla giderim çalışmaları yapmıştır. *C. vulgaris*, *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *S. plantensis*, *Anlcirodesmus convolutus* ve *Euglena* ile tekstil atıksuyunda yapılan ön denemelerde, *C. vulgaris*'in iyi gelişimi gösterdiği belirlenmiştir. *C. vulgaris* tekstil atık suyu ve kontrol besiyerinde farklı seyreltme oranlarında [%20, 40, 60, 80, 100 (v/v)] geliştirilmiştir. Denemeler, %10 (v/v) inokülasyon ile 250 mL'lik erlenlerde, 25 °C' de çalkalamalı etüvde sabit hızda (150 rpm) günün yarısında ışıklı ve diğer yarısında ışısız ortam olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tekstil atıksuyu konsantrasyonu arttıkça *Chlorella*'nın tekstil atıksuyunda bulunan boya gideriminde azalma görülmüştür. Diğer suşlarda yapılan denemelerde renk giderimi olmamış ancak, *C. vulgaris* %20 tekstil atıksuyu konsantrasyonunda %34.69, %40 tekstil atıksuyu konsantrasyonunda %36.30; %60 tekstil atıksuyunda %10.23; %80 tekstil atıksuyu konsantrasyonunda %10.73 ve %100 tekstil atıksuyu konsantrasyonunda %10.22 biyogiderim yapmıştır.

Baldev vd. (2013) *Coelastrella* sp. mikroalgi ile Rhodamine B boyasının giderimini araştırmıştır. Boya giderimi çalışmalarında optimum koşulların belirlenmesi için 100 mL besiyerinde ve 20 gün inkübasyon süresinde, başlangıç boya konsantrasyonu 100, 200, 300, 400 ve 500 mg/L Rhodamine B kullanılmıştır. Kirletici konsantrasyonu 100 mg/L olduğunda %60 ile en yüksek verim elde edilmiştir. Biyokütle miktarının boya

giderimine etkisinin belirlenmesi için %5-20 inokülasyon miktarında yapılan çalışmalarda, en yüksek %70 biyogiderim oranı %10 biyokütlede gözlemlenmiştir. Sıcaklık denemelerinde 20, 30, 40, 50 ve 60 °C sıcaklıktaki en yüksek verim 30 °C’de elde edilmiştir. Yapılan pH denemelerinde pH 3-9 arasında en yüksek giderim pH 8’de %80 olarak gözlemlenmiştir.

El-Kassas ve Mohamed (2014) tarafından yapılan çalışmada, Mısır’da farklı bölgelerden alınan gerçek atıksulardan izole edilen *C. vulgaris*’in giderim kapasitesi araştırılmıştır. Örnek tekstil atıksuları arasında kırmızı ve mavi renkler baskın olarak bulunmuştur. Atıksu konsantrasyonunun %5 ve %30 olduğu koşullarda, 25 °C’de, %20 inokülasyon konsantrasyonunda, *C. vulgaris* ile giderim çalışmaları yapılmıştır. Biyogiderim sonucu sırası ile %78.07 ve %74.66 olarak belirlenmiştir.

Hernández-Zamora vd. (2015) *C. vulgaris* ile gerçekleştirdiği çalışmada, 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L ve 25 mg/L Congo Red konsantrasyonlarında 25 °C’de %15 (v/v) inokülasyon konsantrasyonunda, 96 saat inkübasyon süresinde denemeler yapılmıştır. Inkübasyon süresi boyunca 24, 48, 72 ve 96 saatlerinde örnekler alınmıştır. Inkübasyon süresi sonunda 5 mg/L ve 10 mg/L boya konsantrasyonunda %83 ve %81 oranında; 15 mg/L, 20 mg/L ve 25 mg/L Congo Red boyasını içeren ortamda sırası ile %75, %72 ve %58 oranında boya ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Brahmbhatt ve Jasrai (2016) *Spirogyra sp.* ve *Oscillatoria sp.* ile yaptıkları çalışmada tekstil endüstrisi atıksularında bulunan baskın iki renk olan kırmızı ve mavi renklerin giderilmesinde kullanılmıştır. Boyaların gideriminde 250 mL Erlenmayerde, %1, %2 ve %3 biyokütle konsantrasyonunda, pH 4, 6, 8 ve 10’da, 14 günlük inkübasyon süresinde denemeler yapılmıştır. Optimizasyon çalışmalarında %3 biyokütle ile yapılan pH denemelerinde en yüksek giderim pH 10’da bulunmuştur. Mavi boya giderimi inkübasyon süresi sonunda pH 10’da *Spirogyra sp.* için %78.29, *Oscillatoria sp.* için %76.48 ve kırmızı boya için *Spirogyra sp.* %64.21, *Oscillatoria sp.* %62.63 giderim yapılmıştır. Biyokütle konsantrasyonu ile yapılan denemelerde %3 biyokütle ve mavi boya içeren ortamda, *Spirogyra sp.* %78.28, *Oscillatoria sp.* %74.3 ve kırmızı boya

içeren ortamda *Spirogyra sp.* %63.68, *Oscillatoria sp.* %59.73 verimle boya giderimi yapmıştır.

Dellamatrice vd. (2017) tarafından 3 farklı siyanobakteri ile, 25 °C’de ve 14 gün inkübasyonda, biyogiderim çalışmaları yapılmıştır. *Anabaena sp.*, *Phormidium sp.* ve *Synechococcus sp.* siyabakterilerinin Remazol Brilliant Blue R, Indigo, Sulphur Black sentetik boyları, çamur ve atıksulardaki biyogiderim çalışmaları yapılmıştır. Remazol Brilliant Blue R ve çamur üç siyanobakteri tarafından ortamdaki uzaklaştıralamamıştır. *Anabaena sp.* ve *Phormidium sp.* Indigo boyasını %71.92 ve %91.22 ile biyogiderime uğrattırken, boya içeren atıksudan sırası ile %23.87 ve %28.37 oranında kirleticiyi uzaklaştırdığı belirlenmiştir. *Synechococcus sp.* Indigo, Black Sulphur ve çamurda hiçbir giderim yapamaz iken, RBBR boyasını %11.53 atıksuyu %1.29 oranında gidermiştir.

Biyouki vd. (2018) yaptığı çalışmada, *C. vulgaris* mono-azo boylardan birisi olan Tectilon Yellow 2G boyasını %80 ortamdaki uzaklaştırmıştır. Çalışmada mikroalgin boyların ortamdaki giderim yeteneğinin alkali pH değerlerinde daha iyi olduğunu 14 gün yapılan gözlemler sonucunda bulunmuştur.

Oyebamiji vd. (2019) Nijerya’da 3 farklı bölgeden elde ettikleri atıksularda boya biyoremediasyonu ile denemeler yapmıştır. Çalışmada saf 6 saf mikroalg izole etmişler ve bunlardan 5 tanesinin *Chlorella sp.* ve diğerinin *Micractinium sp.* olduğunu göstermişlerdir. Atıksular içinde yapılan denemelerde, boya biyoremediasyonu verimleri, *Chlorella sorokiniana* UTEX 246 ve *Chlorella sp.* KU211b için sırasıyla %70.03 ve %47.10 olarak bulunmuştur.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Mikroalg ve Siyanobakteri Gelişme Koşulları

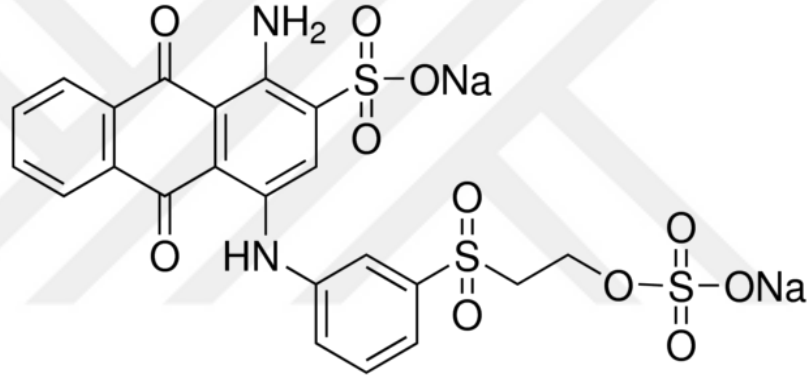
Çalışmada kullanılan mikroorganizmalar, 250 mL’lik steril erlenlerde, 100 mL BG11 besiyeri (Rippka, 1988) bulunan ortamlarda, 2400lux beyaz floresan ışık altında, iklim kabininde (BINDER model:KBW 400 (E5.1),S.no:15-13640) 14 gün boyunca geliştirilmiştir. Saf kültürler yatık agarlı BG11 besiyerinde saklanmış ve belirli aralıklarla düzenli olarak yenilenmiştir. BG11 besiyeri içeriği çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 BG11 besiyeri içeriği

|                                                       |         |
|-------------------------------------------------------|---------|
| NaNO <sub>3</sub>                                     | 1.5 g   |
| K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                       | 0.04 g  |
| MgSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O                 | 0.075 g |
| CaCl <sub>2</sub> x 2H <sub>2</sub> O                 | 0.036 g |
| Sitrik asit                                           | 0.006 g |
| Ferrik amonyum sitrat                                 | 0.006 g |
| EDTA (disodium salt)                                  | 0.001 g |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                       | 0.02 g  |
| Agar                                                  | 10.0 g  |
| A <sub>5</sub> solüsyonu                              | 1.0 ml  |
| Distile su                                            | 1.0 L   |
| A5 solüsyonu içeriği                                  |         |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                        | 2.86 g  |
| MnCl <sub>2</sub> x 4H <sub>2</sub> O                 | 1.8 g   |
| ZnSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O                 | 0.222 g |
| NaMoO <sub>4</sub> x 2H <sub>2</sub> O                | 0.39 g  |
| Cu SO <sub>4</sub> x 5H <sub>2</sub> O                | 0.079 g |
| Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> x 6H <sub>2</sub> O | 49.4 mg |

### 3.1.2 Boya stok solüsyonunun hazırlanması

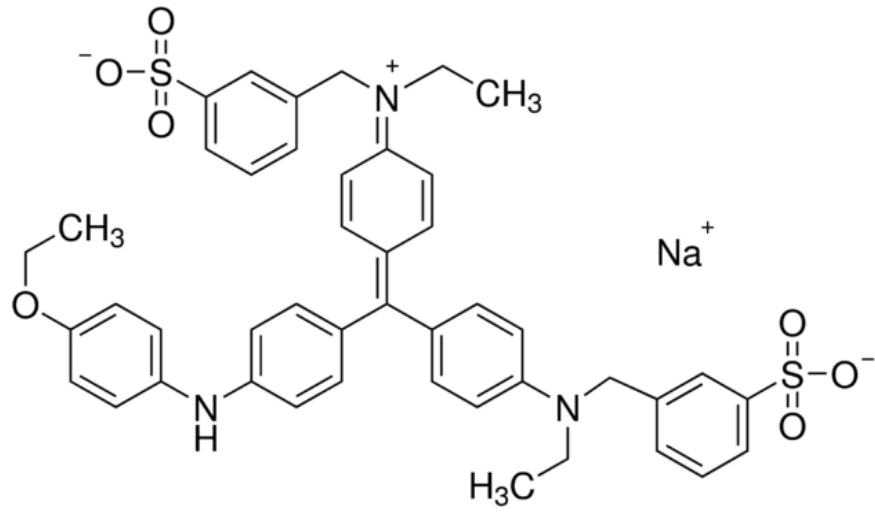
Saf toz halde bulunan boyalardan 0.2 g tartılarak 10 mL distile su içerisinde çözdürülmüştür. Çözünen boya stok solüsyonları otoklavlandıktan sonra kullanılmıştır. Çalışmada, Remazol Brilliant Blue R (RBBR), Brilliant Blue R (BBR), Reactive Red 120 (RR120) boyları (Sigma) kullanılmıştır. RBBR boyasının kimyasal yapısı şekil 3.1’de ve kimyasal özellikleri çizelge 3.2’de gösterilmektedir. BBR boyasının kimyasal yapısı şekil 3.2’de ve kimyasal özellikleri çizelge 3.3’te gösterilmektedir. RR120 boyasının kimyasal yapısı şekil 3.3’te ve kimyasal özellikleri çizelge 3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Remazol Brilliant Blue R kimyasal yapısı (<https://www.sigmaaldrich.com>,2020)

Çizelge 3.2 Remazol Brilliant Blue R kimyasal özellikleri (<https://www.sigmaaldrich.com> 2020)

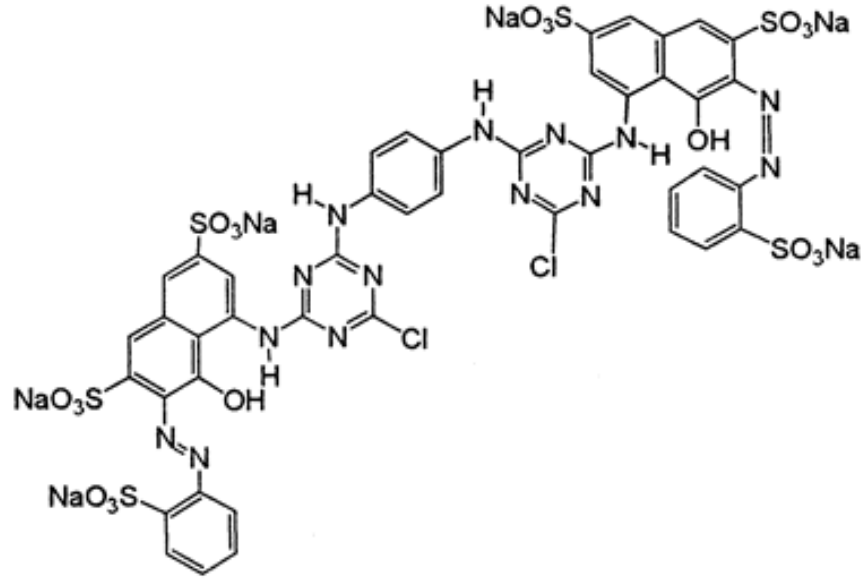
| Özellikleri               |                                                                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kimyasal Formülü</b>   | C <sub>22</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>11</sub> S <sub>3</sub> |
| <b>Diğer İsimleri</b>     | Reactive Blue 19                                                                              |
| <b>Moleküler Ağırlığı</b> | 626.54 g/mol <sup>-1</sup>                                                                    |



Şekil 3.2 Brilliant Blue R kimyasal yapısı (<https://www.sigmaaldrich.com>,2020)

Çizelge 3.3 Brilliant Blue R kimyasal özellikleri (<https://www.sigmaaldrich.com> 2020)

| Özellikleri               |                                                                                |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kimyasal Formülü</b>   | C <sub>45</sub> H <sub>44</sub> N <sub>3</sub> NaO <sub>7</sub> S <sub>2</sub> |
| <b>Diğer İsimleri</b>     | Acid Blue83, Brilliant indocyanin 6B, Coomassie Brilliant Blue R               |
| <b>Moleküler Ağırlığı</b> | 825.97 g/mol <sup>-1</sup>                                                     |



Şekil 3.3 Reactive Red 120 kimyasal yapısı

(<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/r0378?lang=en&region=US>,2020)

Çizelge 3.4 Reactive Red 120 kimyasal özellikleri (<https://www.sigmaaldrich.com>,2020)

| Özellikleri               |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| <b>Kimyasal Formülü</b>   | $C_{44}H_{24}Cl_2N_{14}O_{20}S_6Na_6$ |
| <b>Diğer İsimleri</b>     | -                                     |
| <b>Moleküler Ağırlığı</b> | $1469.98 \text{ g/mol}^{-1}$          |

### 3.2 Yöntem

#### 3.2.1 Saf Mikroalg ve siyanobakteri eldesi

Haymana ve Kızılcahamam’da bulunan sıcak su kaynaklarından su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri sıvı BG11 besiyeri bulunan erlenlere ilave edilmiştir. Gelişim görüldükten



sonra aktif karışık kültürden katı BG11 besiyerine ekim yapılmıştır. İnkübasyon süresi sonucunda farklı morfolojik özelliklere sahip örneklerin tekrar katı besiyerine ekimi gerçekleştirilmiş ve saflaştırma işlemi tamamlanıncaya kadar tekrarlanmıştır. Elde edilen izolatlar, XA1, XA2, XS, XB kodları ile isimlendirilmiştir.

### **3.2.2 Mikroalg ve siyanobakterilerin boya giderim kapasiteleri**

Denemelerde, boya içeren BG11 besiyerinde (pH 7.5) geliştirilen XA1, XA2, XS, XB izolatlarından en iyi biyoremediasyon yapma yeteneğine sahip olanların seçimi sağlanmıştır. Bu amaçla, izole edilen mikroalg ve siyanobakteriler, 25 mg/L RBBR, BBR ve RR120 boyaalarını ayrı ayrı içeren ortamlara aşılalmıştır. İnkübasyon süresi sonunda (4 gün) ortamda kalan kirletici miktarı bulunmuştur. Denemelerin bu aşamasında, en yüksek verimle boya giderimi yapan etkin suşlar ve en yüksek oranda ortamdan uzaklaştıran kirletici seçilmiştir. Çalışmaya seçilen suşlarla ve kirleticilerle devam edilmiştir. En yüksek kapasite ile boya biyoremediasyonu yapan suşlar, hizmet alımı yapılarak tanılanmıştır.

### **3.2.3 Boya biyoremediasyonu çalışmaları**

Çalışmada kullanılan mikroorganizmaların en iyi boya biyoremediasyonu yaptığı ortamların belirlenmesi için farklı pH, başlangıç boya konsantrasyonu, artan sıcaklık ve başlangıç büyükötle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi araştırılmıştır. Biyogiderim çalışmaları, 100 mL BG11 besiyeri içeren 250 mL'lik erlenlerde, 2400lux beyaz floresan ışık altında, 10 gün süresince gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2.3.1 Başlangıç pH'ının boya biyoremediasyonuna etkisi**

Farklı pH değerlerinin boya biyogiderimine etkisinin belirlenmesi için yaklaşık 25 mg/L BBR ve RBBR boyaalarını içeren besiyerleri pH'ları 6.5, 7.5, 8.5 ve 9.5 olarak, 1M NaOH ve 1M HCL çözeltileri kullanılarak ayarlanmıştır.

XA1 suşunun test edildiği denemelerde, pH'ı 6.5, 7.5, 8.5, 9.5 olarak ayarlanan BBR içeren ortamlarda, başlangıç boya konsantrasyonları 24.6 mg/L, 24.5 mg/L, 26 mg/L, 28.2 mg/L şeklindedir. RBBR boyasını içeren BG11 besiyerlerinde, başlangıç boya konsantrasyonları pH 6.5'ta 26.1 mg/L, pH 7.5'ta 27.2 mg/L, pH 8.5'da 24.8 mg/L ve pH 9.5'ta 26.3 mg/L olarak ayarlanmıştır.

XA2 ile yapılan denemelerde, BBR içeren ortamlarda, başlangıç boya konsantrasyonları pH 6.5, 7.5, 8.5, 9.5'ta sırasıyla 24.6 mg/L, 24.5 mg/L, 26 mg/L ve 28.2 mg/L'dir. RBBR boyasını içeren ortamda, ortam pH'ı 6.5 olduğunda başlangıç boya konsantrasyonu 26.5 mg/L, pH 7.5'ta 22.9 mg/L, pH 8.5'ta 24.8 mg/L, pH 9.5'ta 26.3 mg/L'dir.

Hazırlanan besiyerleri içine aktive edilmiş kültürlerden %10 (v/v) ekim yapılmış ve inkübasyon süresi sonunda (10 gün) boya gideriminin en yüksek olduğu pH belirlenmiştir.

### **3.2.3.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun boya biyoremediasyonuna etkisi**

Brilliant Blue R ve Remazol Brilliant Blue R boyalarının artan konsantrasyonlarının biyogiderime etkisini belirlemek amacıyla başlangıç boya konsantrasyonları 10 mg/L, 20 mg/L, 40 mg/L ve 60 mg/L kirletici içeren, en iyi giderimin yapıldığı optimum pH değerine ayarlanmış BG11 besiyerleri kullanılmıştır.

XA1 suşu ile yapılan çalışmalarda, BBR boyası içeren ortamlarda (pH 7.5), boya konsantrasyonları 9.0 mg/L, 22.6 mg/L, 37.5 mg/L, 58.6 mg/L olarak ayarlanmıştır. RBBR boyası içeren BG11 besiyerlerinde ise artan boya konsantrasyonları, 10.1 mg/L, 19.4 mg/L, 38.4 mg/L, 58.1 mg/L'dir.

XA2 suşu ile yapılan denemelerde (pH 9.5), BBR konsantrasyonları 9.0 mg/L, 22.6 mg/L, 37.5 mg/L, 57.5 mg/L olarak ayarlanmıştır. RBBR boyasının konsantrasyonları ise 10.1 mg/L, 19.4 mg/L, 38.4 mg/L ve 58.1 mg/L şeklindedir. Optimum giderimin

yapıldığı pH değerinde aktifleştirilen izolatlardan %10 (v/v) ekim yapılmış ve 10 gün inkübasyon süresinin sonunda boya giderimi belirlenmiştir.

### **3.2.3.3 Artan sıcaklığın ve başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının biyoremediasyona etkisi**

Artan sıcaklıkların ve başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının BBR ve RBBR biyogiderime etkisini belirlemek amacıyla biyokütle konsantrasyonu %10 (v/v) ve %20 (v/v) olarak, sıcaklıklar ise 25 °C, 35 °C ve 45 °C şeklinde arttırılmıştır. İçinde 100 mL sıvı BG11 besiyerlerine RBBR ve BBR boyaları yaklaşık olarak 40 mg/L ve 60 mg/L olacak şekilde eklenmiştir.

XA1 suşu ile yapılan deneylerde, %10 (v/v) ve %20 (v/v) biyokütle içeren ortamlarda (pH 7.5), 25 °C’de BBR konsantrasyonları 40.1 mg/L ve 58.6 mg/L; 35 °C’de 45.1 mg/L ve 59.3 mg/L; 45 °C’de 41.6 mg/L ve 67.7 mg/L olarak ayarlanmıştır. RBBR boyası içeren ortamlarda, boya konsantrasyonları 25 °C’de 38.3 mg/L ve 60.2 mg/L; 35 °C’de 40.7 mg/L ve 58.6 mg/L; 45 °C’de 38.3 mg/L ve 55.9 mg/L’dir.

XA2 suşu ile yapılan deneylerde, %10 (v/v) ve %20 (v/v) biyokütle içeren BG11 besiyerinde (pH 9.5), BBR boyasının konsantrasyonları 25 °C’de 41.7 mg/L ve 57.5 mg/L; 35 °C’de 46.9 mg/L ve 66.3 mg/L; 45 °C’de 42.6 mg/L ve 62.7 mg/L olarak ayarlanmıştır. RBBR içeren ortamda, aynı koşullar altında, boya konsantrasyonları, 25 °C’de 37.2 mg/L ve 57.2 mg/L; 35 °C’de 40.0 mg/L ve 65.1 mg/L; 45 °C’de 48.3 mg/L ve 60.2 mg/L olarak ayarlanmıştır. İnkübasyon süresi (10 gün) sonunda ortamda kalan boya miktarı belirlenmiştir.

### **3.2.4 Analiz yöntemleri**

#### **3.2.4.1 Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD)**

İnkübasyon süresince erlenlerden belirli zaman aralıklarında 3 mL örnekler alınarak ve 6000 rpm’de 10 dk santrifüj edilmiştir (Hettich, EBA12, Germany). Santrifüj sonrası pellet ve süpernatant kısmı ayrılmış; pellet, mikrobiyel gelişmeyi belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla, optik yoğunluk, 600 nm dalga boyunda spektrofotometrik (UV-120V, Shimadzu, Japan) olarak belirlenmiştir.

#### **3.2.4.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi**

Boş ağırlıkları alınmış alüminyum folyolar içerisine, optik yoğunlukları bilinen örnekler eklenerek etüvde (FN 400, Nüve) 100 °C’de 12 saat kurutulmuş ve tartılmıştır.

#### **3.2.4.3 Boya analizleri**

RBBR ve BBR boyalarının analizinde belirli zaman aralıklarında 3 mL alınan örnekler, 6000 rpm’de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatant kısım ortamda kalan kirletici miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. BBR boyası 590 nm ve RBBR boyası ise 560 nm ve RR 120 boyası 435 nm dalga boylarında spektrofotometrik (UV-120V, Shimadzu, Japan) olarak ölçülmüştür.

#### **3.2.4.4 Boya standartlarının hazırlanması**

Boya standartlarının hazırlanması amacı ile RBBR, BBR, RR-120 boyalarının 10-200 mg/L aralığındaki konsantrasyonlarda, 25 mL’lik beş adet balon jodede BG11 besiyeri içinde hazırlanmıştır. Standardı bulmak amacı ile hazırlanan ortamlarda RBBR boyası için 590 nm’de, BBR boyası için 560 nm’de, RR-120 boyası için 520 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülmüş ve sonuçlardan yararlanılarak eğimler belirlenmiştir (EK 1 - EK 3)

### 3.2.5 Sonuçların değerlendirilmesi ve kullanılan kısaltmalar

Test edilen mikroorganizmaların kirletici giderim yüzdeleri (%B) aşağıdaki eşitlikte verilen formülle hesaplanmıştır (1)

$$\% \text{ Biyogiderim} = \left( \frac{C_o - C_f}{C_o} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

$C_o$ : Başlangıç kirletici miktarı (mg/L).

$C_f$ : Ortamda kalan kirletici miktarı (mg/L).

$C_{gid}$ : Mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırdığı boya miktarı (mg/L).

Mikroorganizmaların gram hücre başına ortamdan uzaklaştırdığı kirletici miktarı aşağıdaki formüle ile hesaplanmıştır (2).

$$qm = (C_o - C_f) \div X_m \quad (3.2)$$

$q_m$ : Mikrobiyel kütlede gram başına giderimi sağlanan boya miktarı (mg/g).

$X_m$ : Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/L).

#### **4. ARAŞTIRMA BULGULARI**

Çalışmada, kaplıca sularından saf halde elde edilen mikroalg ve siyanobakteri suşları kullanılarak BBR ve RBBR boyalarının biyoremediasyonu araştırılmıştır. Tez çalışmasında, test edilen mikroalg ve siyanobakterinin boya giderimini en iyi yaptığı koşulları belirlemek amacıyla ortam pH'ının, artan boya konsantrasyonlarının, sıcaklık ve biyokütle miktarının biyoremediasyona etkisi belirlenmiştir.

Sadece BG11 besiyeri ve kirletici içeren erlenler kontrol grubu olarak kullanılmış ve hiçbir reaksiyon gözlemlenmemiştir. Bu gözlem sonucunda, çalışmada kullanılan boyaların yalnızca test edilen mikroalg ve siyanobakteri tarafından giderildiği bulunmuştur.

##### **4.1 Saf Kültürlerin Boya Biyoremediasyon Kapasiteleri**

Çalışmada 4 farklı saf kültür elde edilmiş ve XA1, XA2, XS, XB kodları ile isimlendirilmiştir. Bu izolatların başlangıç boya konsantrasyonu 20 mg/L olan BG11 besiyerindeki boya biyoremediasyonları 4 günlük inkübasyon süresi sonunda belirlenmiştir.

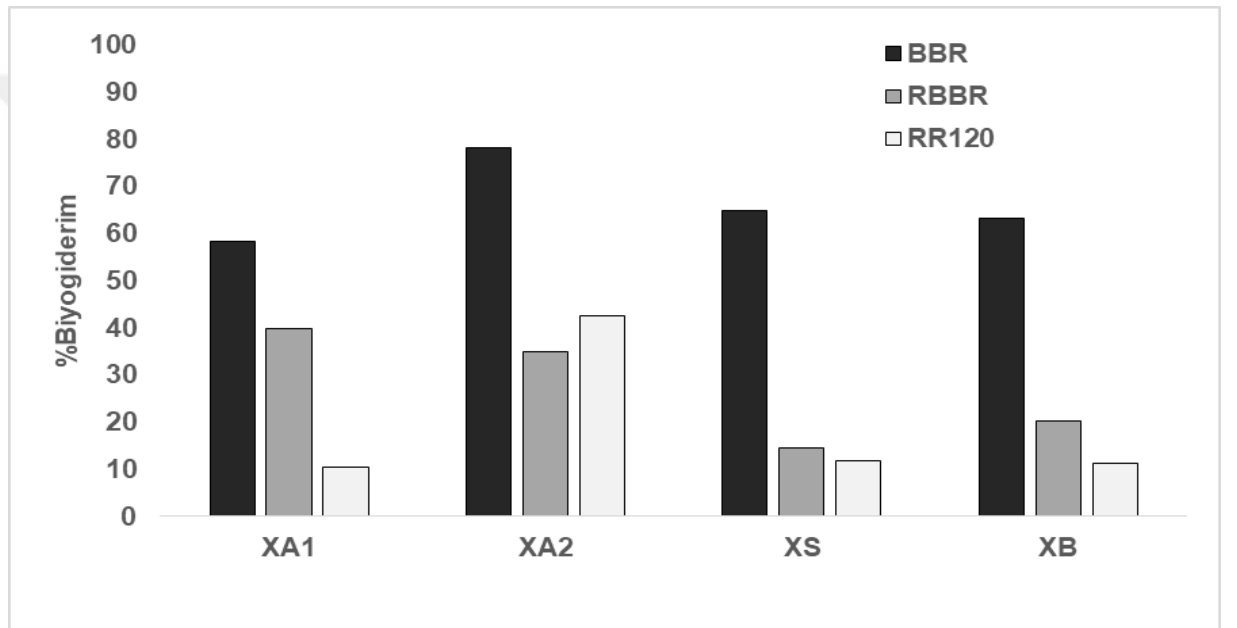
Şekil 4.1'de özetlenen verilere göre, XA1 suşu inkübasyon sonucunda, BBR boyasını %58.3, RBBR boyasını %39.9 ve RR120 boyasını %10.5 oranında gidermiştir.

XA2 suşunun biyoremediasyon verimi, BBR içeren ortamda %78.1, RBBR içeren besiyerinde %34.8 ve RR120 içeren BG11 besiyerinde %42.6 olarak belirlenmiştir.

XS suşu, BBR boyasını %64.9, RBBR boyasını %14.6, RR120 boyasını %11.8 biyoremediasyon kapasitesi ile ortamdan uzaklaştırmıştır.

XB suşu, BBR boyasını %63.2, RBBR boyasını %20.2 ve RR120 boyasını %11.1 verimle ortamdan uzaklaştırmıştır.

Denemelerin bu aşamasında, en yüksek kapasite ile boya giderimi yapan ve daha fazla biyokütle oluşturan saf kültürler XA1 ve XA2 olmuştur. Bu nedenle, daha sonraki denemelere, XA1 ve XA2 suşları ile devam edilmiştir. Bununla birlikte, seçilen saf kültürler, BBR ve RBBR boyalarını RR120 boyasına göre daha fazla tolere ederek yüksek kapasite ile ortamdan uzaklaştırmıştır. Daha ileri çalışmalarda, seçilen suşlarla BBR ve RBBR boyalarının biyoremediasyonu araştırılmıştır. XA1 ve XA2 suşları hizmet alımı yapılarak tanımlanmıştır. XA1 suşu *Chlorella vulgaris*; XA2 suşu ise *Cyanobacterium aponinum* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.1 Saf kültürlerin BBR, RBBR ve RR120 biyoremediasyon kapasitelerinin karşılaştırılması

(C<sub>0</sub>: 20 mg/L; İnkübasyon süresi: 4 gün, T: 25 °C, Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); Işık şiddeti 2400 lux)

#### 4.2 Başlangıç pH'ının Boya Biyoremediasyonuna Etkisi

Denemelerin bu aşamasında, pH'ın BBR ve RBBR boyalarının biyoremediasyonuna etkisini belirlemek amacıyla, pH 6.5-9.5 aralığında değişen 25 mg/L boya içeren BG11 besiyerleri, 250 mL'lik erlenlerde 100 mL olacak şekilde hazırlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda ortamda kalan boya miktarı belirlenmiştir. Alınan sonuçlar Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

BBR boyasını içeren ortamlarda pH 6.5'ta *C. vulgaris*'in giderim verimi %67.5 olarak bulunmuştur. Mikroalg, en yüksek BBR giderimini pH 7.5'ta (%79.8) gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte, aynı boyayı içeren besiyerinde, pH 8.5'ta %73.1; pH 9.5'ta ise %66.7 verimle biyoremediasyon yapılmıştır. *C. vulgaris* mikroalgi RBBR içeren ortamlarda da pH 7.5'ta en yüksek boya biyoremediasyon kapasitesi göstermiştir (%54.3). RBBR içeren BG11 besiyerlerinde biyogiderim verimleri, pH 6.5'ta %49.8; pH 8.5'ta %51.2 ve pH 9.5'ta %51.7 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1 *C. vulgaris* ve *C. aponinum*' un yaklaşık 20 mg/L RBBR ve BBR içeren ortamlarda farklı pH değerlerinde boya biyoremediasyon kapasiteleri (Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v) ; T: 25 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

| <i>C. vulgaris</i> |                          |          |                          |          |
|--------------------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| pH                 | BBR                      |          | RBBR                     |          |
|                    | C <sub>0</sub><br>(mg/L) | %B       | C <sub>0</sub><br>(mg/L) | %B       |
| 6.5                | 24.6                     | 67.5±3.3 | 26.1                     | 49.8±0.8 |
| 7.5                | 24.5                     | 79.8±5.5 | 27.2                     | 54.3±0.6 |
| 8.5                | 26.0                     | 73.1±5.0 | 24.8                     | 51.2±0.4 |
| 9.5                | 28.2                     | 66.7±3.2 | 26.3                     | 51.7±1.5 |
| <i>C. aponinum</i> |                          |          |                          |          |
| pH                 | BBR                      |          | RBBR                     |          |
|                    | C <sub>0</sub><br>(mg/L) | %B       | C <sub>0</sub><br>(mg/L) | %B       |
| 6.5                | 24.6                     | 93.1     | 26.6                     | 65.4±1.4 |
| 7.5                | 24.5                     | 94.5±0.2 | 22.9                     | 64.7±5.3 |
| 8.5                | 26.0                     | 90.6±2.1 | 24.8                     | 62.7±0.8 |
| 9.5                | 28.2                     | 96.5±0.4 | 26.3                     | 69.8±1.0 |



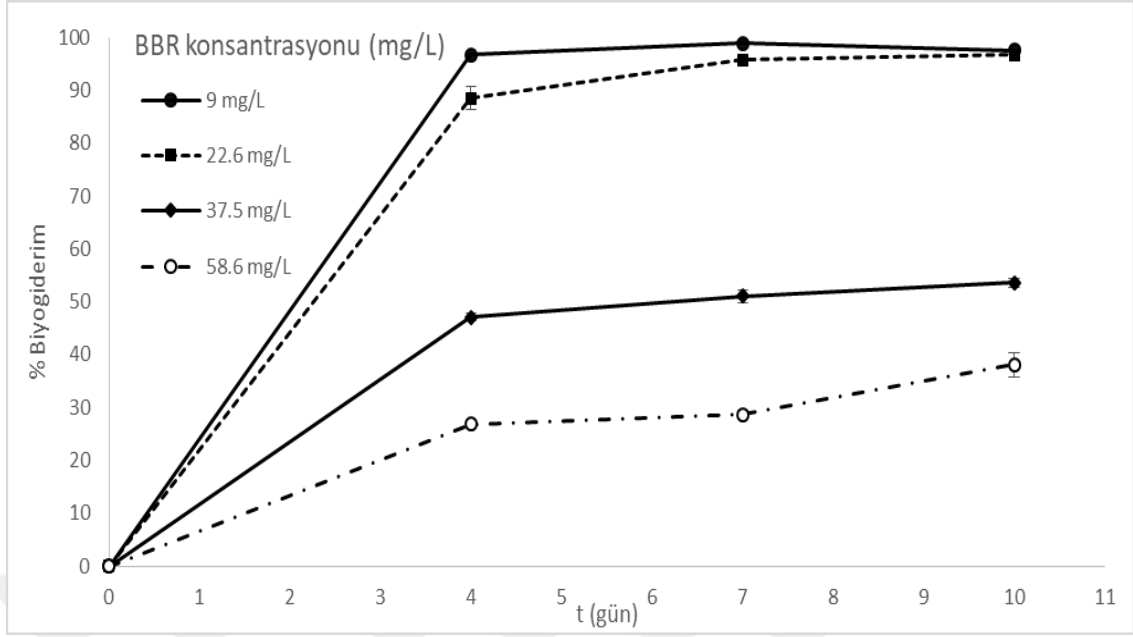
BBR boyasını içeren BG11 besiyerlerinde, *C. aponinum*'un giderim verimi pH 8.5'ta %90.6 olarak bulunmuştur. Siyanobakteri pH 9.5'ta en yüksek BBR giderimini %96.5 verimle gerçekleştirmiştir. Aynı boyayı içeren ortamlarda pH 6.5'ta %93.1; pH 7.5'ta %94.5 verimle biyoremediasyon yapılmıştır. *C. aponinum* RBBR içeren ortamlarda en yüksek biyogiderim kapasitesini %69.8 verimle pH 9.5'ta göstermiştir. RBBR içeren BG11 besiyerinde biyogiderim verimleri pH 6.5'ta %65.4; pH 7.5'ta %64.7 ve pH 8.5'ta %62.7 olarak bulunmuştur.

#### **4.3 Artan Boya Konsantrasyonlarının BBR ve RBBR Boya Biyoremediasyonuna Etkisi**

Artan boya konsantrasyonlarının *C. vulgaris* ve *C. aponinum* boya biyogiderimine etkisinin belirlenmesi amacıyla, BBR ve RBBR boyaları artan konsantrasyonlarda, belirlenen optimum pH değerine ayarlanmış BG 11 besiyerlerine eklenmiştir.

##### **4.3.1 *C. vulgaris* ile yapılan BBR ve RBBR boya biyoremediasyonu**

*C. vulgaris* ile yapılan denemeler, 9.0 mg/L, 22.6 mg/L, 37.5 mg/L ve 58.6 mg/L BBR boyasını içeren BG11 besiyerlerinde (pH 7.5) gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2'de özetlenen verilere göre, *C. vulgaris*, 9 mg/L BBR içeren ortamda, inkübasyon süresinin ilk dört gününde %96.7 verimle giderim yaparken, inkübasyon süresi sonunda biyoremediasyon verimi %97.6 olmuştur. BBR konsantrasyonu 22.6 mg/L olan BG11 besiyerinde, biyogiderim dört gün inkübasyon süresi sonunda %88.5, inkübasyonun yedinci gününde %95.8 ve inkübasyonun son gününde %96.7 olarak gerçekleşmiştir.

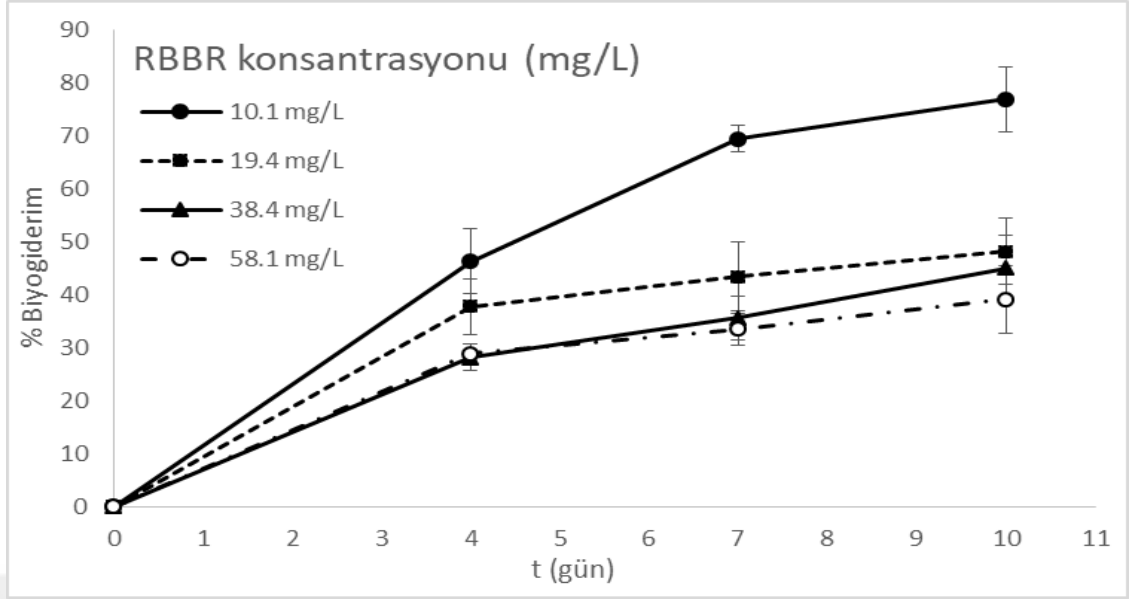


Şekil 4.2 Başlangıç BBR konsantrasyonlarının *C. vulgaris* BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

Ortamdaki BBR konsantrasyonu 37.5 mg/L olduğunda, ilk dört günlük inkübasyon süresi sonunda giderim %47.1, inkübasyon süresi sonunda ise %53.6 olarak yapılmıştır. *C. vulgaris* en yüksek BBR konsantrasyonunu içeren ortamda (58.6 mg/L), inkübasyon süresi sonunda %38.1 verimle BBR biyoremediasyonu yapmıştır.

*C. vulgaris* ile yapılan RBBR boya giderimi denemeleri pH 7.5'e ayarlanan ve 10.1 mg/L, 19.4 mg/L, 38.4 mg/L ve 58.1 mg/L kirletici içeren BG11 besiyerlerinde yapılmıştır. Şekil 4.3'te özetlenen verilere göre *C. vulgaris* 10.1 mg/L RBBR içeren ortamda, inkübasyon süresinin dördüncü gününde %46.2, yedinci gününde %69.4 ve son gününde ise %76.8 verimle boya giderimi yapmıştır. RBBR konsantrasyonu 19.4 mg/L'ye çıkarıldığında ise inkübasyon süresinin ilk dört gününde %37.7 ve son gününde %48.1 giderimin olduğu gözlemlenmiştir. BG11 besiyerinde RBBR konsantrasyonu 38.4 mg/L olduğunda, inkübasyon süresinin dördüncü gününde %28.1 oranında, yedinci ve onuncu günlerinde sırasıyla %35.6 ve %45 verimle RBBR ortamdan uzaklaştırılmıştır. RBBR konsantrasyonunun 58.1 mg/L olduğu ortamda, inkübasyon süresinin son gününde biyoremediasyon verimi %39.1 olarak belirlenmiştir.

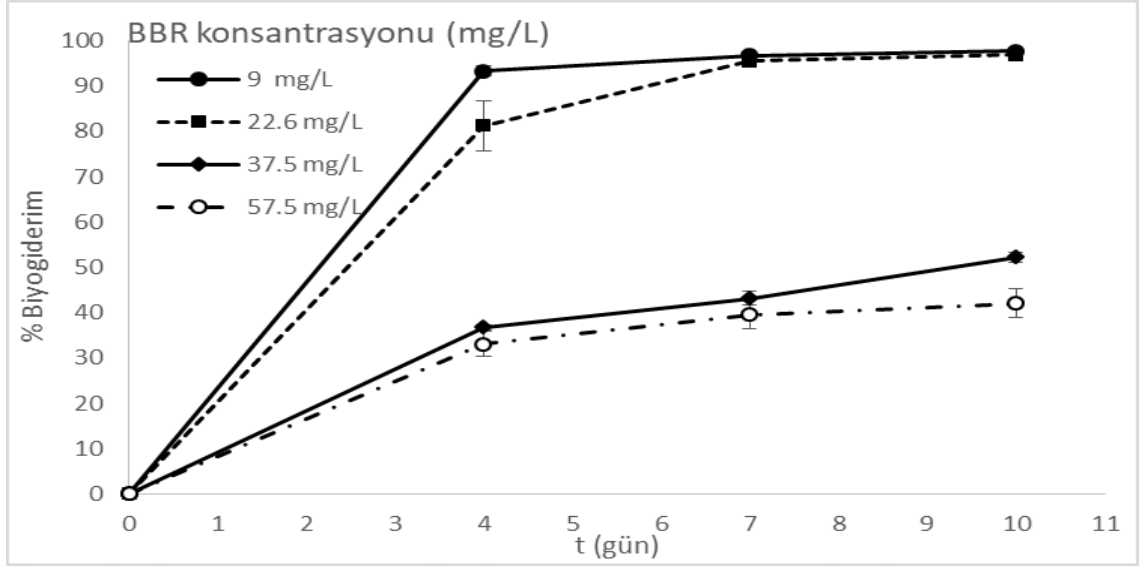


Şekil 4.3 Başlangıç RBBR konsantrasyonlarının *C. vulgaris* RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

#### 4.3.2 *C. aponinum* ile yapılan BBR ve RBBR boya biyoremediasyonu

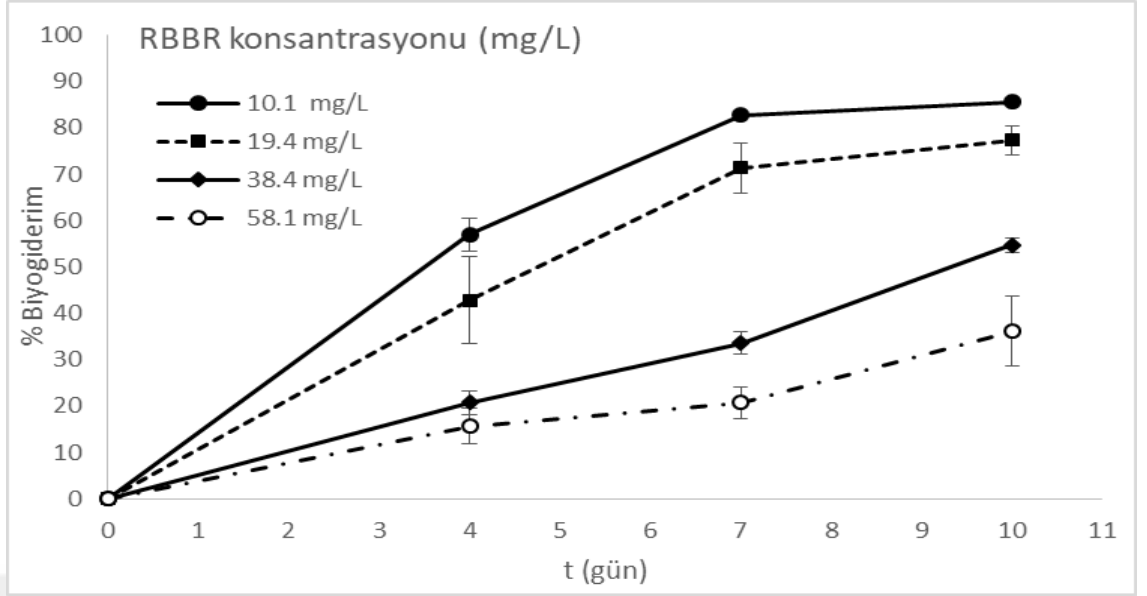
Başlangıç boya konsantrasyonlarının biyogiderime etkisini belirlemek için *C. aponinum* ile yapılan denemeler, 9.0 mg/L, 22.6 mg/L, 37.5 mg/L ve 57.5 mg/L BBR içeren, pH 9.5'a ayarlanmış BG11 besiyerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'te özetlenen verilere göre, *C. aponinum* 9.0 mg/L BBR içeren ortamda, inkübasyon süresinin ilk dört gününde %93.3 verimle giderim yaparken, inkübasyon süresi sonunda biyoremediasyon verimi %97.6 olmuştur. BBR konsantrasyonu 22.6 mg/L olan BG11 besiyerinde biyogiderim, dört gün inkübasyon süresinin sonunda %81.2, yedinci günde %95.4 ve inkübasyonun son gününde ise %96.9 olarak gerçekleşmiştir. Ortamdaki BBR konsantrasyonu 37.5 mg/L olduğunda, ilk dört günlük inkübasyon süresi sonunda giderim %36.8, inkübasyon süresi sonunda ise %52.2 olarak yapılmıştır. *C. aponinum* 57.5 mg/L BBR konsantrasyonunu içeren ortamda, inkübasyon süresi sonunda %42 verimle kirlenici biyoremediasyonu yapmıştır.



Şekil 4.4 Başlangıç BBR konsantrasyonlarının *C. aponinum* BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

*C. aponinum* ile yapılan RBBR biyoremediasyonu denemeleri, 10.1 mg/L, 19.4 mg/L, 38.4 mg/L ve 58.1 mg/L boya içeren BG11 besiyerlerinde (pH 9.5) yapılmıştır. Şekil 4.5'teki verilere göre *C. aponinum*, 10.1 mg/L RBBR içeren ortamda, inkübasyon süresinin dördüncü gününde %57; yedinci gününde %82.7 verimle RBBR giderimi yapmıştır. Aynı koşullarda siyanobakteri, inkübasyon süresi sonunda ortama uygulanan boyanın %85.6'sını uzaklaştırmıştır. RBBR konsantrasyonu 19.4 mg/L'ye çıkarıldığında ise inkübasyon süresinin ilk dört gününde %42.8, inkübasyon süresinin son gününde %77.3 giderim sağlanmıştır. BG11 besiyerinde boya konsantrasyonu 38.4 mg/L olduğunda inkübasyon süresinin dördüncü gününde %20.7 oranında, yedinci ve onuncu günlerinde sırasıyla %33.6 ve %54.7 oranında RBBR ortamdan uzaklaştırılmıştır. RBBR konsantrasyonu 58.1 mg/L olduğunda, inkübasyon süresi sonunda RBBR biyoremediasyonu %36.1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5 Başlangıç RBBR konsantrasyonlarının *C. aponinum* RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

#### 4.4 Artan Sıcaklığın ve Başlangıç Biyokütle Konsantrasyonlarının Biyoremediasyona Etkisi

Artan sıcaklığın ve biyokütle konsantrasyonunun BBR ve RBBR biyogiderimine etkisini belirlemek için *C. vulgaris* ve *C. aponinum* ile üç farklı sıcaklık (25 °C, 35 °C, 45 °C) iki farklı biyokütle konsantrasyonu [%10 (v/v) ve %20 (v/v)] ve yaklaşık 40 mg/L ve 60 mg/L boya içeren ortamlarda deneyler yapılmıştır.

##### 4.4.1 *C. vulgaris*'in %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve RBBR biyoremediasyonu

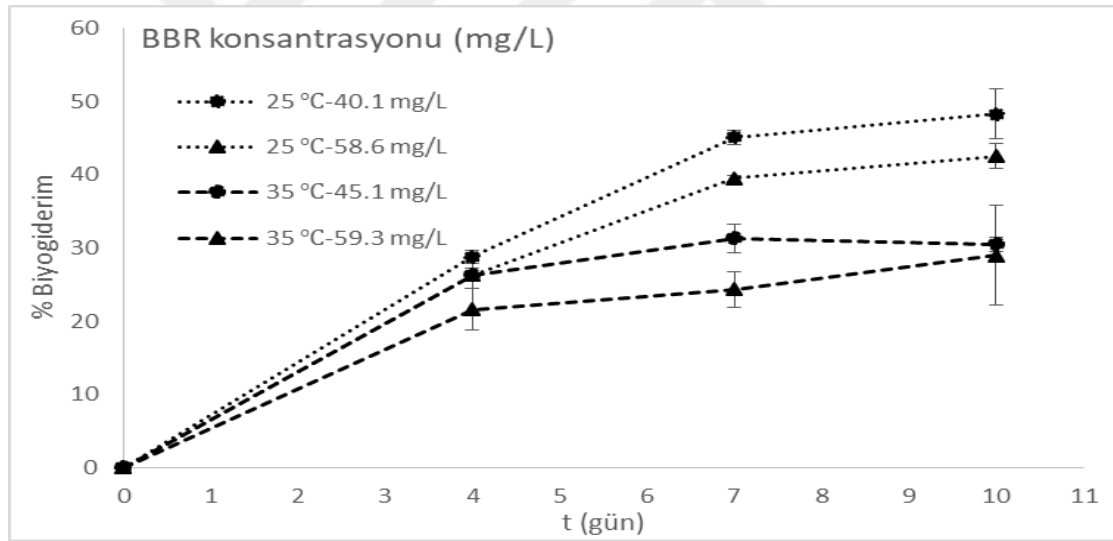
Bu denemelerde, *C. vulgaris* suşunun pH'ı 7.5' e ayarlanan, %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonunda, 25 °C'de, 40.1 mg/L ve 58.6 mg/L; 35 °C de 45.1 mg/L ve 59.3 mg/L BBR içeren BG11 besiyerinde, BBR biyogiderimi araştırılmıştır. Alınan veriler Şekil 4.6'da özetlenmiştir.

*C. vulgaris* suşu ortam sıcaklığı 25 °C olduğunda 40.1 mg/L BBR boyasını içeren ortamlarda, inkübasyon süresinin ilk dört gününde %28.8 inkübasyonun son gününde

%48.3 verimle biyoremediasyon yapmıştır. Aynı sıcaklıkta, boya konsantrasyonu 58.6 mg/L olduğu BG11 besiyerinde, inkübasyonun dördüncü gününde %26.3, inkübasyon sonunda %42.5 verimle BBR giderimi olmuştur.

Sıcaklık 35 °C'ye yükseltildiğinde BBR konsantrasyonu 45.1 mg/L olan BG11 besiyerinde inkübasyon süresinin son gününde verim %30.5, BBR konsantrasyonu 59.3 mg/L iken 10 günlük inkübasyonun sonunda %29 olarak bulunmuştur.

Sıcaklığın 45 °C'ye yükselmesi mikroalg büyümesinde azalmaya ve sonrasında hücrelerin ölmesine neden olmuştur. BBR içeren ortamlarda ortam sıcaklığı 45 °C olduğunda hücrelerde yeşilden kahverengiye bir renk değişimi gözlemlenmiş, hücreler ölmüş ve bu nedenle boya giderimi 45 °C'de mümkün olamamıştır.



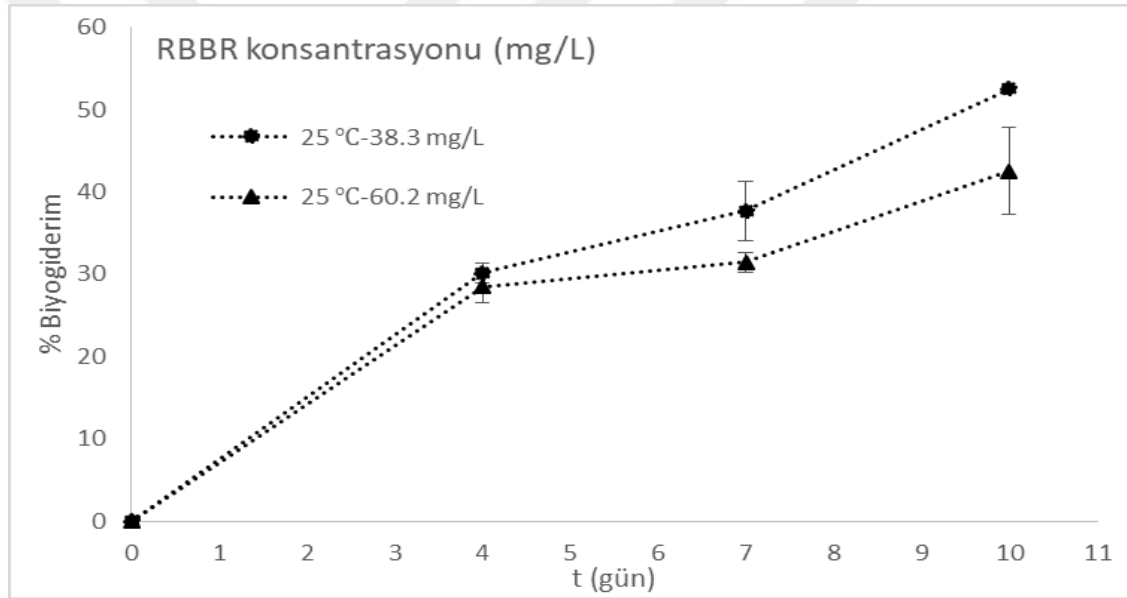
Şekil 4.6 Artan sıcaklıkların *C. vulgaris* BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C. 35 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

*C. vulgaris*, BBR ile yapılan denemelerde 35 °C'yi tolere edebilirken, 35 °C ve 45 °C'de RBBR içeren ortamda gelişmemiştir. Mikroalgin farklı boyalarda farklı sıcaklık değerlerini tolere edebilmesi boyaların toksisitesindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. RBBR ile yapılan denemelerde, mikroalg, yüksek sıcaklık ve boya konsantrasyonu gibi

stres koşullarından olumsuz etkilenmiştir. Bu nedenle, RBBR ile yapılan deneyler 25 °C’de gerçekleştirilmiştir.

*C. vulgaris* mikroalginin 25 °C’de RBBR biyogiderim verimi Şekil 4.7’de özetlenmiştir. Boya konsantrasyonu 38.3 mg/L olduğunda, biyogiderim, inkübasyon süresinin ilk dört gününde %30.2, yedinci gününde %37.7 ve inkübasyon süresinin son gününde %52.5 verimle olmuştur. RBBR konsantrasyonunun 60.2 mg/L olduğu BG11 ortamında, inkübasyonun dördüncü gününde %28.5, inkübasyonun yedinci gününde %31.5 ve inkübasyon sonunda %42.5 boya ortamdaki uzaklaştırılmıştır.



Şekil 4.7 Artan sıcaklıkların *C. vulgaris* RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

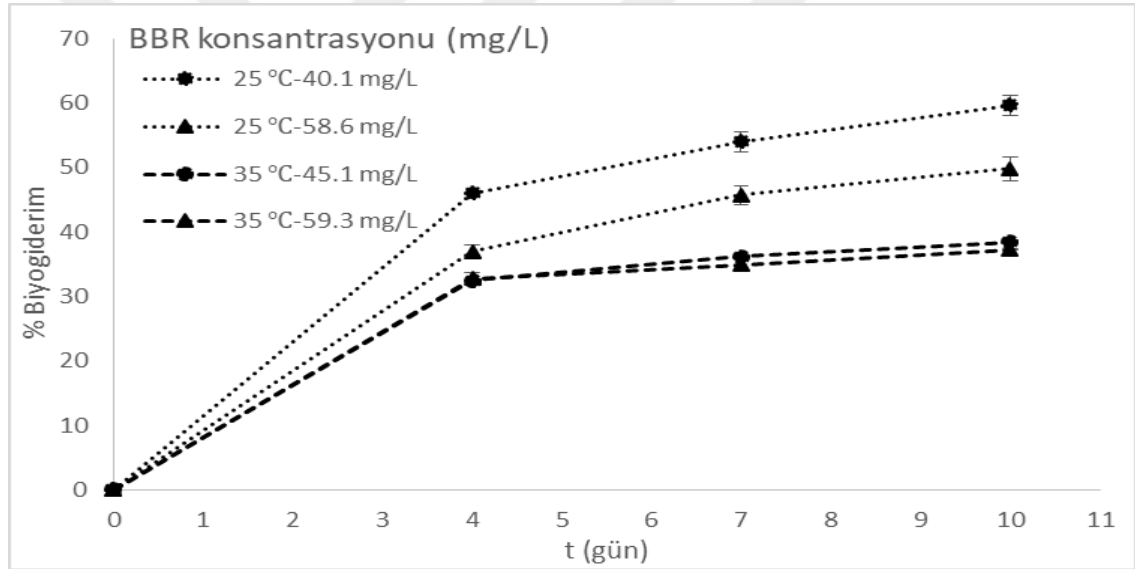
(pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

#### 4.4.2 *C. vulgaris*'in 20 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve RBBR biyoremediasyonu

*C. vulgaris* ile %20 (v/v) biyokütle konsantrasyonunda, pH 7.5'ta, 40 mg/L ve 60 mg/L boya konsantrasyonlarında BG11 besiyerinde denemeler yapılmıştır.

Şekil 4.8’de özetlenen verilere göre, 40.1 mg/L BBR konsantrasyonunda, 25 °C’de, inkübasyonun ilk dört gününde %46 verimle giderim yapılırken, inkübasyon süresinin sonunda %59.6 verimle biyoremediasyon yapılmıştır. BBR konsantrasyonu 58.6 mg/L olan BG11 besiyerinde biyogiderim inkübasyon süresinin dördüncü gününde %36.9 ve inkübasyon süresi sonunda %49.8 olarak gerçekleşmiştir.

Ortam sıcaklığı 35 °C olduğunda 45.1 mg/L BBR konsantrasyonunda 10 günlük inkübasyon süresi sonunda %38.4 boya giderimi olmuştur. BBR konsantrasyonu 59.3 mg/L olduğunda inkübasyonun ilk dört gününde %32.8, son gününde %37.2 biyogiderim elde edilmiştir.

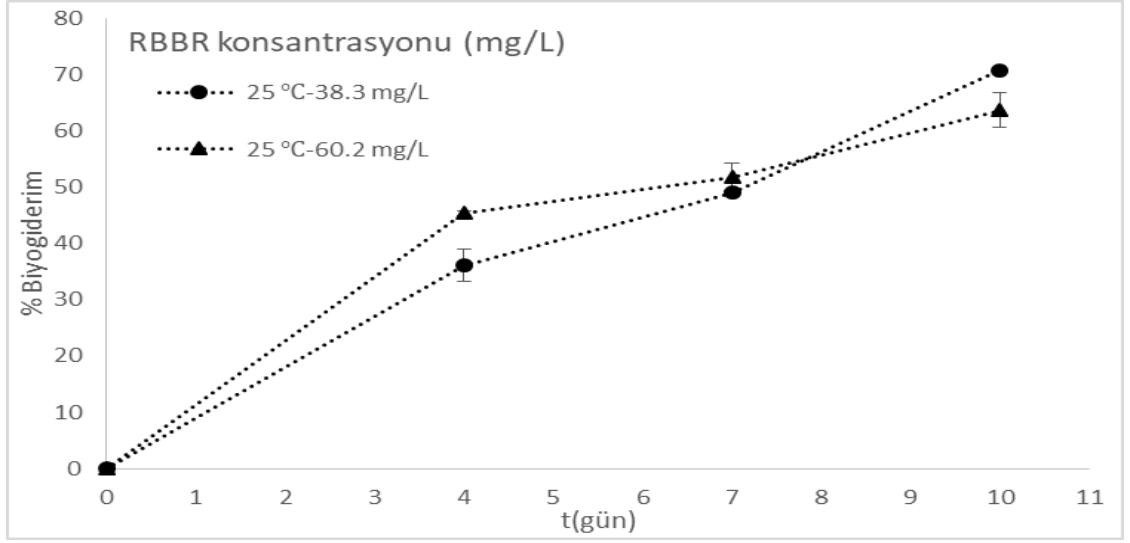


Şekil 4.8 Artan sıcaklıkların *C. vulgaris* BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25 °C, 35 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

Şekil 4.9’da özetlenen verilere göre RBBR konsantrasyonu 38.3 mg/L olduğunda, inkübasyon sürecinin dördüncü gününde %36.1, inkübasyon sürecinin yedinci gününde %49.1 ve son gününde %70.8 giderim sağlanmıştır. Boya konsantrasyonu 60.2 mg/L olarak arttırıldığında, inkübasyonun ilk dört gününde %45.4 ve son gününde %63.3 biyoremediasyon elde edilmiştir.





Şekil 4.9 Artan sıcaklıkların *C. vulgaris* RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25 °C; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

#### 4.4.3 *C. aponinum*'un %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve RBBR biyoremediasyonu

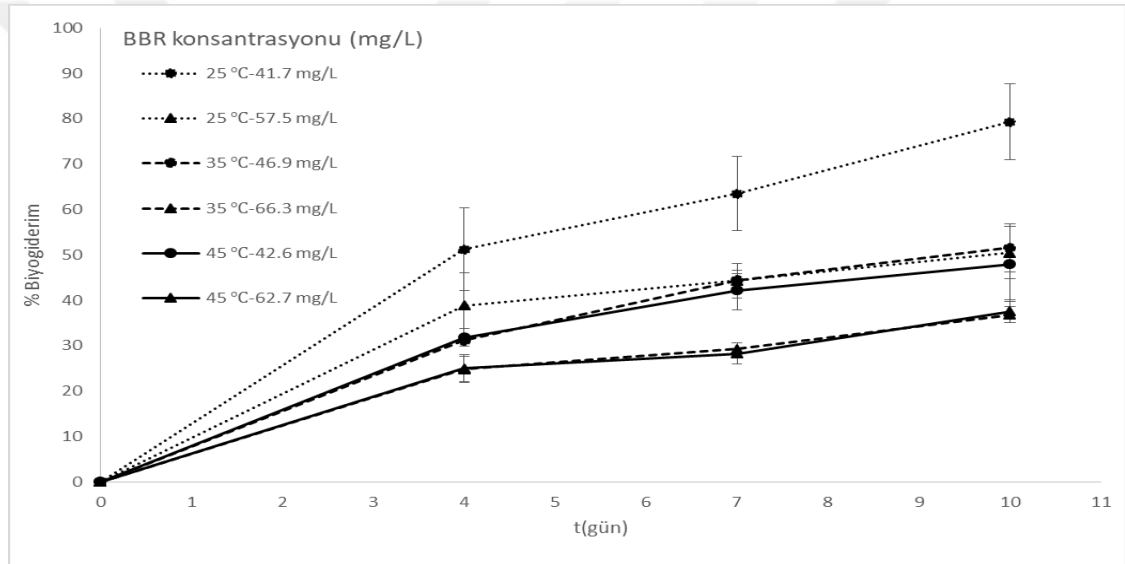
Artan sıcaklıkların biyogiderime olan etkisinin belirlenmesi için yapılan denemelerde, *C. aponinum*, %10 (v/v) biyokütle konsantrasyonunda kullanılarak, BBR ve RBBR içeren ortamlarda (pH 9.5) denemeler yapılmıştır.

BBR içeren BG11 besiyerinde, 25 °C'de 41.7 mg/L ve 57.5 mg/L; 35 °C'de 46.9 mg/L ve 66.3 mg/L; 45 °C'de 42.6 mg/L ve 62.7 mg/L konsantrasyonlarda yapılan denemeler Şekil 4.10'da özetlenmiştir.

*C. aponinum* ile yapılan 41.7 mg/L BBR içeren BG11 besiyerinde, biyoremediasyon verimleri 25 °C'de, inkübasyonun ilk dört gününde %51.2, yedinci gününde %63.5 ve son gününde %79.3 olarak bulunmuştur. Aynı sıcaklıkta, boya konsantrasyonu 57.5 mg/L olarak artırıldığında, giderim, inkübasyonun dördüncü gününde %38.9 ve son gününde %50.5 olmuştur.

Sıcaklık 35 °C'ye yükseltildiğinde, 46.9 mg/L BBR konsantrasyonunda inkübasyonun ilk dört gününde %31.1, yedinci gününde %44.4 ve inkübasyon süresinin son gününde %51.6 verimle giderim yapılmıştır. Aynı sıcaklık derecesinde, ortamda boya konsantrasyonu 66.3 mg/L olduğunda, biyogiderim, inkübasyonun dördüncü gününde %24.8 ve on günlük inkübasyonun sonunda %36.8 olmuştur.

En yüksek sıcaklık değerinde (45 °C) yapılan denemelerde, 42.6 mg/L boya konsantrasyonunda, inkübasyonun son gününde %48, 62.7 mg/L boya konsantrasyonunda inkübasyonun onuncu gününde %37.6 biyogiderim bulunmuştur.



Şekil 4.10 Artan sıcaklıkların *C. aponinum* BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C, 35 °C, 45 °C ; Işık şiddeti 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

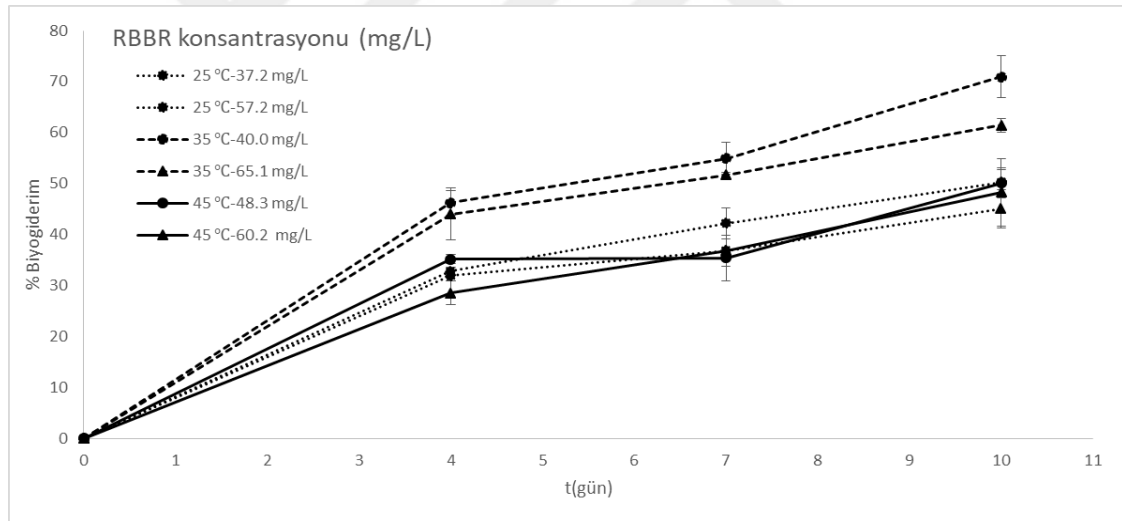
*C. aponinum* siyanobakterisi ile artan sıcaklıklarda, RBBR içeren ortamlarda yapılan denemelerin sonuçları Şekil 4.11'de özetlenmiştir.

*C. aponinum*, 25 °C'de, 37.2 mg/L RBBR içeren besiyerinde, inkübasyonun ilk dört gününde %32.8, inkübasyonun yedinci gününde %42.2 ve inkübasyon süresinin son gününde %50.3 verimle biyoremediasyon yapmıştır. RBBR konsantrasyonu 57.2 mg/L

olarak arttırıldığında, inkübasyonun dördüncü gününde %31.9 ve inkübasyonun son gününde %45 verim elde edilmiştir.

Ortam sıcaklığı 35 °C'ye yükseldiğinde, 40 mg/L RBBR boya konsantrasyonunda inkübasyon sürecinin ilk dört gününde %46.2, inkübasyonun yedinci gününde %54.9 ve inkübasyon süresinin son gününde %70.9 boya ortamdan giderilmiştir. RBBR konsantrasyonu 65.1 mg/L olduğunda, inkübasyonun dördüncü gününde %44, inkübasyonun son gününde %61.4 biyogiderim bulunmuştur.

Sıcaklığın 45 °C olduğu biyogiderim denemelerinde, 48.3 mg/L boya konsantrasyonunda, inkübasyon süresinin dördüncü gününde %35.1, yedinci gününde %35.4 ve inkübasyonun sonunda %50.1; 60.2 mg/L boya konsantrasyonunda inkübasyonun son gününde %48.3 biyogiderim elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Artan sıcaklıkların *C. aponinum* RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v); T: 25 °C, 35 °C, 45 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

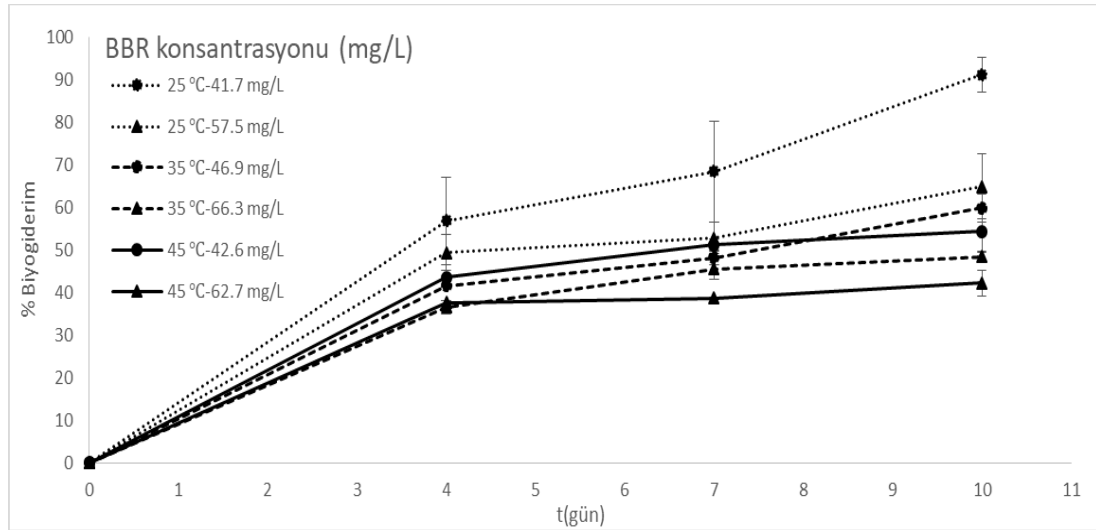
#### 4.4.4 *C. aponinum*'un %20 (v/v) biyokütle konsantrasyonu ile yapılan BBR ve RBBR boya biyoremediasyonu

*C. aponinum* ile %20 (v/v) biyokütle konsantrasyonunda, pH 9.5'ta, 40 mg/L ve 60 mg/L boya içeren BG11 besiyerinde, artan sıcaklık değerlerinde BBR biyogiderimi

Şekil 4.12’de özetlenmiştir. Ortam sıcaklığı 25 °C olduğunda, 41.7 mg/L BBR konsantrasyonunda inkübasyon süresinin ilk dört gününde %56.8, inkübasyonun yedinci gününde %68.4 ve inkübasyonun son gününde %91.1 biyogiderim elde edilmiştir. BBR konsantrasyonu 57.5 mg/L iken boya giderimi, inkübasyonun ilk dört gününde %49.4 ve inkübasyonun son gününde %64.9 olarak bulunmuştur.

BBR boyasını içeren BG11 besiyerinde sıcaklık 35 °C’ye yükseltildiğinde, 46.9 mg/L konsantrasyonda, inkübasyonun ilk dört gününde biyogiderim %41.6 ve inkübasyonun son gününde %59.9 bulunmuştur. Boya konsantrasyonu 66.3 mg/L iken inkübasyon süresinin ilk dört gününde %36.6, inkübasyonun yedinci gününde %45.5 ve on günlük inkübasyon sonunda %48.4 boya ortamdan uzaklaştırılmıştır.

En yüksek sıcaklık değeri olan 45 °C’de, 42.6 mg/L BBR konsantrasyonunda inkübasyon süresinin ilk dört gününde %43.6 ve inkübasyonun sonunda %54.4; 62.7 mg/L kirletici konsantrasyonunda ilk dört günlük inkübasyon süresinde %37.6 ve son gününde %42.3 biyogiderim elde edilmiştir.



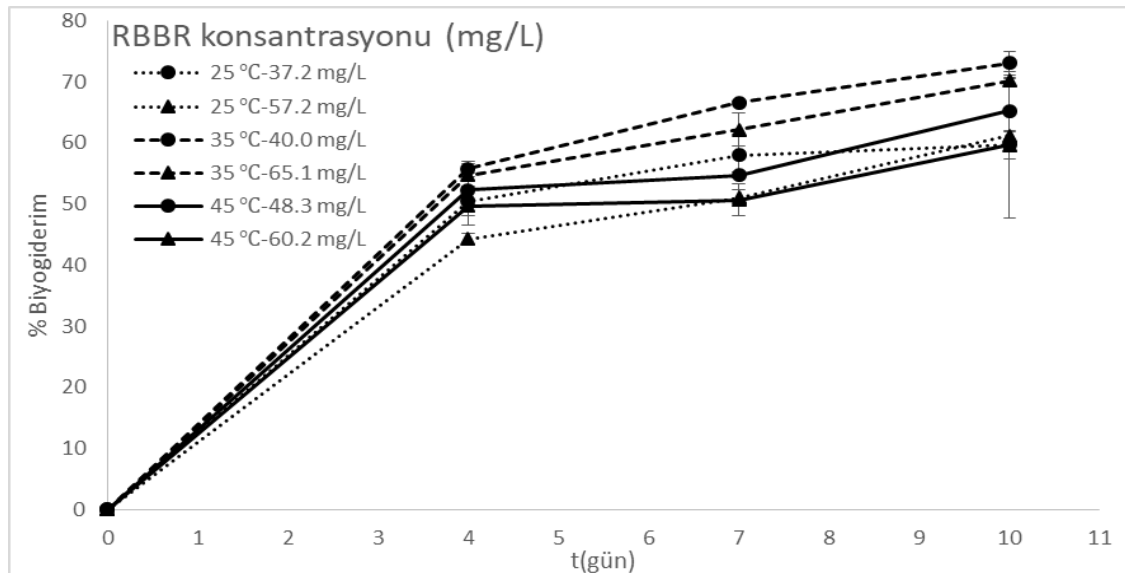
Şekil 4.12 Artan sıcaklıkların *C. aponinum* BBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25 °C, 35 °C, 45 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

Şekil 4.13'te özetlenen verilere göre %20 (v/v) biyokütle konsantrasyonunda *C. aponinum* suşunun 25 °C'de biyogiderim verimi, 37.2 mg/L RBBR konsantrasyonunda inkübasyonun ilk dört gününde %50.4, yedinci gününde %58 ve inkübasyon sonunda %59.7 olarak bulunmuştur. Aynı sıcaklıkta, boya konsantrasyonun 57.2 mg/L olduğu BG11 besiyerinde, inkübasyonun dördüncü gününde %44.3, inkübasyonun yedinci ve onuncu günlerinde sırasıyla %51 ve %61.2 biyogiderim elde edilmiştir.

RBBR konsantrasyonunun 40.0 mg/L ve ortam sıcaklığının 35 °C olduğu ortamlarda, biyogiderim, inkübasyon süresinin dördüncü gününde %55.8, yedinci gününde %66.6 ve 10 günlük inkübasyonun sonunda %73 olmuştur. Aynı sıcaklıkta, boya konsantrasyonu 65.1 mg/L'ye yükseltildiğinde inkübasyonun ilk dört gününde %54.7 ve inkübasyonun son gününde %70 biyogiderim bulunmuştur.

Ortam sıcaklığının 45 °C, RBBR konsantrasyonunun 48.3 mg/L olduğu BG11 besiyerinde inkübasyonun dördüncü gününde %52.3 ve son gününde %65.2, kirletici konsantrasyonunun 60.2 mg/L olduğu aynı sıcaklıktaki ortamlarda, inkübasyon süresinin ilk dört gününde %49.7 ve inkübasyon sonunda %59.6 verimle boya biyoremediasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.13 Artan sıcaklıkların *C. aponinum* RBBR biyoremediasyonu üzerine etkisi

(pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25 °C, 35 °C, 45 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

Artan sıcaklık ve kirletici konsantrasyonlarında *C. vulgaris* ve *C. aponinum*'un maksimum spesifik BBR ve RBBR giderimleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Yaklaşık 40 mg/L ve 60 mg/L kirletici içeren ortamlarda, *C. vulgaris*'in  $q_m$  değerleri karşılaştırıldığında, kirletici konsantrasyonundaki artışla maksimum spesifik boya gideriminin her iki kirletici için arttığı görülmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 *C. vulgaris* maksimum spesifik BBR ve RBBR giderimlerinin ( $q_m$ ) karşılaştırılması (pH: 7.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25- 45 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

| T<br>(°C) | BBR             |      |                 | RBBR            |      |                 |
|-----------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|
|           | $C_o$<br>(mg/L) | %B   | $q_m$<br>(mg/g) | $C_o$<br>(mg/L) | %B   | $q_m$<br>(mg/g) |
| 25        | 40.1            | 59.6 | $20.1 \pm 1.7$  | 38.3            | 70.8 | $24.9 \pm 2.3$  |
|           | 58.6            | 49.8 | $29.5 \pm 3.0$  | 60.2            | 63.3 | $43.4 \pm 4.5$  |
| 35        | 45.1            | 38.4 | $29.7 \pm 5.0$  | 40.7            | -    | -               |
|           | 59.3            | 37.2 | $49.8 \pm 5.6$  | 58.6            | -    | -               |
| 45        | 41.6            | -    | -               | 38.3            | -    | -               |
|           | 67.7            | -    | -               | 55.9            | -    | -               |

BBR içeren BG11 besiyerinde,  $q_m$  değerleri, 25 °C'de 40.1 mg/L boya içeren ortamda, 20.1 mg/g; 58.6 mg/L kirletici içeren ortamda 29.5 mg/g olarak bulunmuştur. Ortam sıcaklığı 35 °C, 45.1 mg/L ve 59.3 mg/L BBR konsantrasyonunda mikroalgin 1 gram hücresi başına ortamdaki uzaklaştırılan kirletici miktarı sırasıyla, 29.7 mg ve 49.8 mg

olmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda kirletici konsantrasyonu ve sıcaklık değeri artması ile  $q_m$  değerlerinde de artış gözlemlenmiştir.

RBBR içeren besiyerinde,  $q_m$  değerleri 38.3 mg/L kirletici konsantrasyonunda 24.9 mg/g ve 60.2 mg/L boya içeren ortamda 43.4 mg/g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3'te, 25 °C, 35 °C ve 45 °C'de 40 ve 60 mg / L BBR ve RBBR içeren ortamlarda *C. aponinum* ile maksimum boya biyogideriminin karşılaştırılması gösterilmiştir. *C. vulgaris* ile yapılan denemelerde olduğu gibi, kirletici konsantrasyonlarının artmasıyla *C. aponinum*'un  $q_m$  değerleri artmıştır. Farklı sıcaklıklarda yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre, 25 °C'de 41.7 mg/L BBR olan ortamda  $q_m$  33.5 mg/g, 57.5 mg/L konsantrasyonda 36.1 mg/g; 35 °C'de 46 .9 mg/L ve 66.3 mg/L boya konsantrasyonlarında  $q_m$  değerleri sırası ile 26.5 mg/g ve 33.3 mg/g olarak bulunmuştur. Yapılan denemelerde sıcaklık 45°C'ye artırıldığı zaman 42.6 mg/L BBR içeren ortamda 27.3 mg/g ve 62.7 mg/L BBR içeren BG11 ortamında  $q_m$  değeri 41.1 mg/g olarak elde edilmiştir.

RBBR içeren BG11 besiyerinde, BBR içeren ortamlardan daha düşük  $q_m$  değerleri bulunmuştur. Sıcaklığın 25 °C ve RBBR konsantrasyonunun 37.2 mg/L olduğu ortamda,  $q_m$  21.3 mg/g bulunmuştur. Aynı sıcaklık değerinde, 57.2 mg/L RBBR konsantrasyonunda 33.9 mg/g; sıcaklık 35 °C olduğunda  $q_m$  değerleri 40 mg/L kirletici içeren ortamda 14.5 mg/g ve 65.1 mg/L boya konsantrasyonunda 18.5 mg/g olmuştur. En yüksek sıcaklıkta (45 °C), maksimum spesifik RBBR biyogiderimi, 48.3 mg/L kirletici içeren ortamda 25.6 mg/g ve 60.2 mg/L'de 37.8 mg/g olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 *C. aponinum* maksimum spesifik BBR ve RBBR giderimlerinin ( $q_m$ ) karşılaştırılması (pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25- 45 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

|           | BBR                      |      |                          | RBBR                     |      |                          |
|-----------|--------------------------|------|--------------------------|--------------------------|------|--------------------------|
| T<br>(°C) | C <sub>o</sub><br>(mg/L) | %B   | q <sub>m</sub><br>(mg/g) | C <sub>o</sub><br>(mg/L) | %B   | q <sub>m</sub><br>(mg/g) |
| 25        | 41.7                     | 91.1 | 33.5 ± 1.8               | 37.2                     | 59.7 | 21.3 ± 1.1               |
|           | 57.5                     | 64.9 | 36.1 ± 1.6               | 57.2                     | 61.2 | 33.9 ± 1.5               |
| 35        | 46.9                     | 59.9 | 26.5 ± 0.5               | 40.0                     | 73.0 | 14.5 ± 0.1               |
|           | 66.3                     | 48.4 | 33.3 ± 2.4               | 65.1                     | 70.0 | 18.5 ± 2.2               |
| 45        | 42.6                     | 54.4 | 27.3 ± 1.5               | 48.3                     | 65.2 | 25.6 ± 3.1               |
|           | 62.7                     | 42.3 | 41.1 ± 3.2               | 60.2                     | 59.6 | 37.8 ± 1.1               |



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında kaplıca sularından elde edilen *C. vulgaris* mikroalgi ve *C. aponinum* siyanobakterisi ile BBR ve RBBR boyalarının biyoremediasyon çalışması yapılmıştır. Bu mikroorganizmaların en iyi kirletici giderimi yaptığı ortamları bulmak amacıyla farklı pH, başlangıç boya konsantrasyonu, farklı sıcaklık ve başlangıç biyokütle konsantrasyonlarında denemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada test edilen *C. vulgaris* ve *C. aponinum* mikroorganizmalarının kirletici içeren ortamlarda alkali pH derecelerini tolere edebildiği görülmüştür.

*C. vulgaris* en yüksek BBR ve RBBR biyoremediasyonunu, pH 7.5’da sırasıyla %79.8 ve %54.3 verimle gerçekleştirmiştir. Daha önceki çalışmalar göstermektedir ki bazı siyanobakteriler ve mikroalgler de farklı boya alkali pH daki besiyerlerinde ortamdan uzaklaştırabilmektedir. Örneğin, El-Kassas ve Mohamed (2014) tarafından yapılan bir raporda, *C. vulgaris*’in tekstil azo boyası biyogiderimini pH 8.05’te gerçekleştirildiği gösterilmiştir. *C. vulgaris* ile yapılan başka bir araştırmada, Methyl Red, Orange II, G-Red (FN-3G), bazik katyonik ve bazik fuksin gibi kirleticilerin biyolojik olarak arıtılmasının pH 7’de gerçekleştiği belirtilmiştir (El-Sheekh vd. 2009).

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, *C. vulgaris* 9 mg/L BBR içeren ortamda %97.6, 22.6 mg/L kirletici içeren ortamda da %96.7 verimle boya giderimi yapmıştır. Bunun yanı sıra 10.1 mg/L RBBR içeren besiyerinde giderim %76.8 olarak belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, *C. vulgaris* farklı boyaların gideriminde kullanılmış ve en yüksek verim 5 mg/L Bazik Fuksin içeren ortamda %91.2 olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen tez çalışmasında ise, *C. vulgaris* biyokütlesi ortama uygulanan kirleticileri El-Sheekh vd. (2009) tarafından bildirilenden daha yüksek verimlilikle ortamdan uzaklaştırmıştır. Chu vd. (2009) Supranol Red 3BW, Laneset Red 2GA ve Levafix Navy Blue EBNA boyalarının immobilize *C. vulgaris* tarafından ortamdan uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Aynı çalışmada kullanılan *C. vulgaris* 7.25 mg/L Laneset Red 2GA boyasını %44 verimle ortamdan uzaklaştırmıştır. Tez çalışmasında ise ortama uygulanan boyalardan BBR, termotolerant *C. vulgaris* tarafından %90’dan daha fazla verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Bununla birlikte, tez çalışmasında, kirletici konsantrasyonundaki artış ile boya gideriminde azalma gözlemlenmiştir. Daha önce yapılan başka bir çalışmada da, ortamdaki boya içeren tekstil suyu miktarının artması ile *C. vulgaris* tarafından boyanın uzaklaştırılmasının azaldığı belirtilmiştir (Lim vd. 2010). Hernández-Zamora vd. (2015), artan kirletici konsantrasyonları ile *C. vulgaris* tarafından Congo Red boyasının uzaklaştırma verimlerinin azaldığını göstermiştir. Aynı çalışmada, 5 mg/L Congo Red varlığında en yüksek giderimin %83 olduğu, bunun yanı sıra 25 mg/L boya içeren ortamda giderimin %58'e düştüğü gösterilmiştir.

Artan sıcaklık ve biyokütle konsantrasyonunun *C. vulgaris* boya giderimine etkisi incelendiğinde, *C. vulgaris* mikroalginin sıcaklığı 35 °C'ye kadar tolere edebildiği görülmüştür. Ayrıca sıcaklığın 45 °C'ye yükselmesi ile mikroalg gelişmesi azalmış ve hücreler ölmüştür. Bu sonuç, hücrelerin yeşilden kahvrengeye doğru renk değiştirmesi ile gözlemlenmiştir. Bu nedenle 45 °C'de BBR içeren ortamda boya giderimi mümkün olmamıştır. RBBR içeren ortamda ise çalışmada kullanılan *C. vulgaris* ancak 25 °C'de boya biyoremediasyonu yapabilmıştır. Bunun sebebi mikroalgin aynı anda sıcaklık ve artan boya konsantrasyonu gibi iki stres koşulunu birden tolere edememesidir. RBBR boyası BBR boyasına göre test edilen mikroalge daha toksik etki yapmıştır.

Converti vd. (2009), *C. vulgaris* mikroalginin gelişmesinin sıcaklık artışından etkilendiğini belirtmiştir. Aynı çalışmada, mikroalg gelişmesinin 30 °C'ye kıyasla 35 °C'de %17'lik bir düşüşe sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca 35 °C üzerinde mikroalgal hücreler artan yüksek sıcaklığa dayanamayarak ölmüştür. Gerçekleştirilen tez çalışmasında da, test edilen *C. vulgaris*'in benzer gelişme karakteri gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle *C. vulgaris* en iyi kirletici biyoremediasyonunu 25 °C'de göstermiştir.

Tez çalışmasında kullanılan *C. vulgaris* biyokütle konsantrasyonu %10'dan %20'ye artırıldığında daha yüksek verimle boya giderimi yapmıştır.

Daha önce yapılan bir çalışmaya göre, mikroalgal biyokütlenin artması ile boya gideriminin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Boduroğlu vd. (2013), 0.21 g/L, 0.32

g/L, 0.43 g/L ve 0.53 g/L *Gonium* sp. biyokütlesi ile yaptıkları denemelerde, 25 °C’de 25 mg/L Remazol Blue konsantrasyonunda 0.21 g/L ve 0.32 g/L biyokütle içeren ortamda, inkübasyonun dokuzuncu gününde giderim oranlarının sırası ile %79.5 ve %85 olarak gerçekleştiğini belirtmiştir. Baldev vd. (2013) *Coelastrella* sp. mikroalg ile 100 mg/L boya içeren ortamda, %5, %10, %15 ve %20 mikroalg konsantrasyonlarının Rhodamine B giderimine etkisini incelemiş ve biyokütle miktarının artmasıyla boya gideriminde bir miktar artış olduğunu göstermiştir. Ancak, aynı çalışmada, biyokütle konsantrasyonunun %5, %10, %15 ve %20 şeklinde artırılmasıyla giderimin aynı oranda artmadığı da belirtilmiştir. Tez çalışmasında ise 25 °C’de, *C. vulgaris*’in %10 (v/v) ve %20 (v/v) biyokütlesi ile 40 mg/L BBR içeren ortamda biyogiderim sırası ile %48.3 ve %59.6; aynı konsantrasyonda RBBR içeren besiyerinde ise biyokütlenin %10 (v/v)’dan %20 (v/v)’ye artırılmasıyla giderim %18.3 daha fazla yapılmıştır.

Mikroalgal biyokütlenin 1 gramı ile kirletici giderim miktarı, 25 °C’de RBBR içeren BG11 besiyerinde, BBR içeren ortamlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, mikroalgin iki farklı kirletici ortamında gelişme kapasitesi ile test edilen BBR ve RBBR kirleticilerinin farklı giderim oranları ile ilişkilidir. Bununla birlikte, *C. vulgaris*, her iki kirleticiyi içeren ortamda benzer büyüme oranına sahiptir. Ayrıca, mikroalgal biyokütle, uygulanan RBBR’yi BBR’den daha yüksek verimle ortamdan uzaklaştırmıştır. Aynı miktarda biyokütle miktarına sahip fakat daha yüksek biyogiderim oranı gözlemlendiğinde, mikroalglerin kuru ağırlığının bir gramı başına uzaklaştırılan boya miktarı da aynı oranda yüksek değere sahip olacaktır. Bu nedenle, 25 °C’de RBBR içeren ortamlardaki  $q_m$  değerleri, BBR içeren ortamlardaki maksimum spesifik boya giderim değerlerinden daha yüksektir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde tez çalışmasında kullanılan termofil *C. aponinum* siyanobakterisinin boya biyoremediasyonuna ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, siyanobakteriler farklı boyaların biyoremediasyonu için kullanılmıştır (Dellamatrice vd. 2017, İsmail vd. 2020, Bela ve Malliga 2015, Ghazal vd. 2016, Abou-El-Souod ve El-Sheekh 2016, Rai vd. 2019).

Tekstil atıksularının biyolojik arıtımında siyanobakterilerin kullanıldığı çalışmalarda, araştırmacılar bu kirleticilerin giderilmesi için gerekli optimum pH’ı mikroalglerle göre

daha alkali olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan tez çalışmasında, *C. aponinum* en yüksek BBR ve RBBR biyoremediasyonunu pH 9.5’da sırası ile %96.5 ve %69.8 olarak gerçekleştirmiştir. Brahmbhatt ve Jasrai (2016) tarafından yapılan bir çalışmada *Oscillatoria* sp.’nin test edilen mavi ve kırmızı boyayı pH 10’da ortamdan uzaklaştırması tez çalışmasında bulunan optimum pH’yı desteklemektedir. Karacakaya vd. (2009) *Synechocystis* sp. ve *Phormidium* sp. siyanobakterilerini kullandıkları çalışmada, Reactive Red boyasının pH 9.5’da, Remazol Blue ve Reactive Black B boyalarının pH 8.5’te en yüksek verimle giderildiğini bulmuşlardır. Daha önce Ertuğrul vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen bir başka araştırmada, *Phormidium* sp. siyanobakterisinin Remazol Blue ve Reactive Black B boyalarını pH’ı 8.5 olan ortamlardan maksimum verimle uzaklaştırdığı gösterilmiştir.

Brahmbhatt ve Jasrai (2016) yaptıkları çalışmada mavi boyanın ortamdan uzaklaştırılmasında, biyogiderim verimlerini, *Spirogyra* sp. için %78.29 ve *Oscillatoria* sp. için %76.48 olarak on dört günlük inkübasyon sonunda bulmuştur. Bununla birlikte, Dellamatrice vd. (2017), *Anabaena flos-aquae* UTCC64, *Phormidium autumnale* UTEX1580 ve *Synechococcus* sp. PCC7942 ile yaptığı araştırmada, 3 farklı tekstil boyası kullanmış ve *Anabaena flos-aquae* UTCC64’nin bu boyalardan 200 mg/L konsantrasyonda olan RBBR’yi, 14 gün inkübasyon süresi sonunda, ortamdan hiç uzaklaştıramadığını, diğer siyanobakterilerin ise ancak yaklaşık %11 verimle boya giderimi yapabildiğini belirtmiştir. Tez çalışmasında, *C. aponinum* on günlük inkübasyon sunucunda, yaklaşık 20 mg/L BBR konsantrasyonunda %96.9 ve 19.4 mg/L RBBR boyasında %77.3 biyogiderim verimi yaparak oldukça yüksek verim sağlamıştır.

*C. aponinum* boya biyoremediasyon veriminin kirletici konsantrasyonunun artmasıyla bir miktar azaldığı görülmüştür. Benzer sonuçlar daha önce siyanobakterilerle boya biyoremediasyonu çalışmalarında da gösterilmiştir. Örneğin Chia vd. (2014) gerçekleştirdikleri araştırmada, *Scenedesmus quadricauda* ile Indigo Blue giderimi gerçekleştirmiş ve başlangıç kirletici konsantrasyonunun artmasıyla boya gideriminin azaldığını göstermiştir. Karacakaya vd. (2009) de benzer şekilde kullandıkları Reactive Red, Remazol Blue ve Reactive Black B boyalarının 25 mg/L’den 75 mg/L’ye artırılmasıyla, *Synechocystis* sp. ve *Phormidium* sp. siyanobakterilerinin boya gideriminde azalma tespit etmişlerdir.

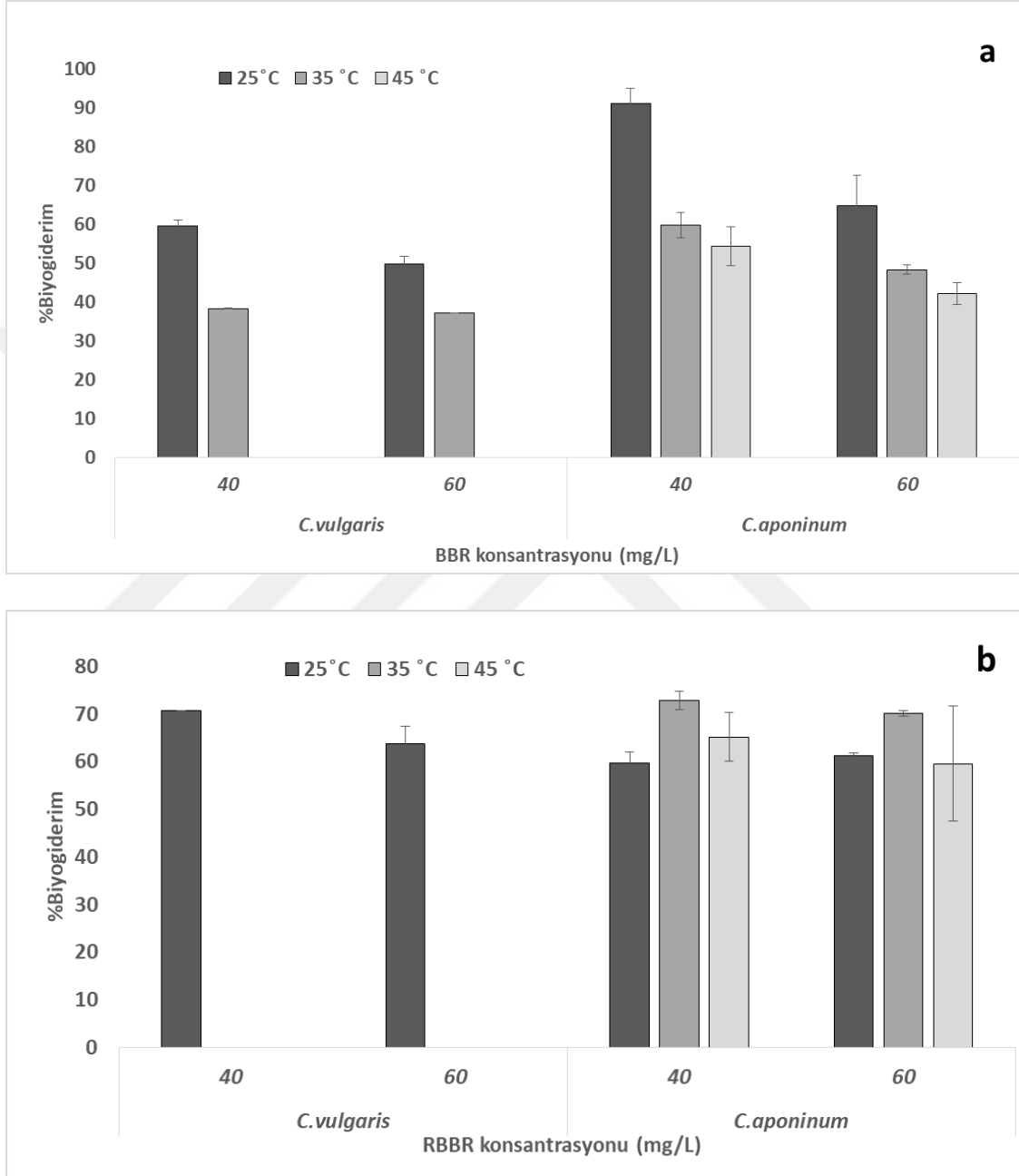
*C. aponinum*'un artan sıcaklık ve biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi incelendiğinde, *C. aponinum* siyanobakterisinin test edilen bütün sıcaklık derecelerinde (25 °C, 35 °C ve 45 °C) gelişebildiği ve etkin boya biyoremediasyonu yapabildiği görülmüştür.

Önceki çalışmalar, *C. aponinum* biyokütlesinin ve büyüme oranının 35-40 °C arasındaki sıcaklıklarda 45 °C'ye kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmiştir (Gris vd. 2017, Meng vd. 2018). Mevcut çalışmada da, *C. aponinum*, 25 °C ve 45 °C'ye kıyasla 35 °C'de en yüksek biyokütleyle ulaşmıştır. Bu nedenle 35 °C'de RBBR boyası test edilen diğer sıcaklıklardan daha yüksek verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Tez çalışmasında *C. aponinum* ile yapılan BBR ve RBBR biyoremediasyon çalışmalarında, biyokütle konsantrasyonu %10'dan %20'ye çıkarıldığında daha yüksek verimle biyogiderim yapmıştır. BBR içeren ortamda en yüksek biyogiderim, 25 °C'de gerçekleşirken; RBBR içeren besiyerinde en yüksek biyogiderim 35 °C'de gerçekleşmiştir. En yüksek boya giderimleri %20 (v/v) biyokütle ile, BBR içeren ortamda 25 °C'de %91.1; RBBR biyoremediasyonu ise 35 °C'de %73 olmuştur. Brahmbhatt ve Jasrai (2016) yaptıkları çalışmada algal biyokütlenin arttırılması ile mavi ve kırmızı boya giderim oranlarının arttığını göstermişlerdir. Bir diğer çalışmada da immobilize *Scenedesmus quadricauda* ABU12 siyanobakterisinin en yüksek miktarda biyokütle kullanıldığında İndigo Blue boyasını daha verimli şekilde ortamdan uzaklaştırdığı gösterilmiştir (Chia vd. 2014).

Tez çalışmasında, *C. aponinum* maksimum spesifik boya giderimleri de incelenmiştir. RBBR içeren ortamdaki  $q_m$  değerleri BBR içeren ortamlardakinden daha düşük bulunmuştur. Bunun sebebi, siyanobakterinin 35 °C'de, 25 °C ve 45 °C'de RBBR içeren ortamlarda, BBR içeren ortama göre daha yüksek büyüme oranı göstermesiyle ilişkilidir. *C. aponinum*, 35 °C'de, 25 °C'deki gelişme kapasitesinin yaklaşık 2 veya 3 katı daha fazla gelişme göstermiştir. Biyokütle miktarının bu kadar yüksek olması ile, siyanobakterin  $q_m$  değerlerinin daha düşük değerlere sahip olması beklenen bir sonuç olmaktadır.

*C.vulgaris* ve *C. aponinum* BBR ve RBBR boya biyoremediasyonu karşılaştırıldığında, test edilen tüm parametrelerde *C. aponinum* siyanobakterisi öne çıkmaktadır (Şekil 5.1a ve b).



Şekil 5.1 Farklı sıcaklıklarda ve artan kirletici konsantrasyonlarında *C. vulgaris* ve *C. aponinum* BBR (a) ve RBBR (b) biyoremediasyonunun karşılaştırılması (*C. vulgaris* pH: 7.5; *C. aponinum* pH: 9.5; Biyokütle konsantrasyonu: %20 (v/v); T: 25 °C, 35 °C, 45 °C; Işık şiddeti: 2400 lux; İnkübasyon süresi: 10 gün)

Şekil 5.1a'da özetlendiği üzere, *C. aponinum* yaklaşık 40 mg/L BBR içeren ortamda 25 °C ve 35 °C'de *C. vulgaris*'den daha fazla boya biyoremediasyonu yapmaktadır. Şekil 5.1b'de ise *C. vulgaris*'in RBBR boyasını ancak 25 °C'de ortamdan uzaklaştırabildiği, artan sıcaklıktan olumsuz etkilenerek 35 °C'de biyoremediasyon yapamadığı görülmektedir. *C. aponinum* ise RBBR içeren ortamlarda sıcaklık artışı ile daha etkin biyoremediasyon yapmaktadır.

Boyar maddelerin mikroalg ve siyanobakterilerce ortamdan uzaklaştırılmasında bu mikroorganizmaların içerdikleri azo redüktaz, lakkaz, polifenol oksidaz, katalaz gibi enzimlerin etkin olduğu gösterilmiştir (Biyouki vd. 2018, Collivignorelli vd. 2019, El-Sheekh vd. 2009). Örneğin, daha önceki bazı çalışmalarda, *C. vulgaris* mikroalginin azo redüktaz enzimi ile boyar maddelerin biyogiderim sürecinde etkili oldukları belirlenmiştir (Hernández-Zamora vd. 2015). Siyanobakteriler ile ilgili yapılan araştırmalarda, siyanobakterilerin lakkaz, katalaz ve polifenol oksidaz gibi enzimlere sahip olduğu belirlenmiştir (Priya vd. 2011, Afreen vd. 2017). Son yıllarda yapılan bir araştırmaya göre *Nostoc muscorum*, *Nostoc humifusum*, *Spirulina platensis*, *Anabaena oryzae*, *Wolleea saccata*, *Oscillatoria* sp. siyanobakterilerinin lakkaz ve lignin peroksidaz aktivilerinin olduğu gösterilmiştir (Ellatif vd. 2020).

Yapılan tez çalışmasında da kullanılan *C. vulgaris* mikroalgi ile *C. aponinum* siyanobakterisinin test edilen kirleticileri enzimatik yolla parçaladıkları öngörülmektedir. Ortamdaki besiyeri uzaklaştırıldıktan sonra kalan biyoküttele herhangi bir boya rengine rastlanmamıştır. Bu gözlem, kullanılan mikroorganizmaların ürettikleri enzimler ile kirleticileri parçaladıklarını göstermiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar ve tez çalışması karşılaştırıldığında, *C. aponinum* siyanobakterisinin yüksek pH, artan boya konsantrasyonu ve sıcaklık gibi birden fazla stres koşuluna dayanabildiği ve diğer çalışmalarda kullanılan siyanobakterilere oranla daha yüksek verimle biyogiderim yapabildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, gerçekleştirilen tez çalışmasında, termotolerant *C. vulgaris* ve termofil *C. aponinum* mikroorganizmalarının etkin BBR ve RBBR biyoremediasyonu yaptığı

bulunmuştur. Bununla birlikte, termofil *C. aponinum* siyanobakterisinin yüksek alkali ve sıcaklık gibi farklı stres koşullarını tolere etmesi boya içeren atıksularda büyük kullanım potansiyelinin olduğunu göstermiştir. Bu özellikleri ile termofil *C. aponinum* boya içeren atıksuların biyoremediasyonunda kullanılabilecek iyi bir adaydır.





## KAYNAKLAR

- Abou-El-Souod, G. W., & El-Sheekh, M. M. (2016). Biodegradation of Basic Fuchsin And Methyl Red. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(2), 279-286.
- Afreen, S., Bano, F., Ahmad, N., & Fatma, T. (2017). Screening and optimization of laccase from cyanobacteria with its potential in decolorization of anthraquinonic dye Remazol Brilliant Blue R. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 10, 403-410.
- Ajaz, M., Shakeel, S., & Rehman, A. (2020). Microbial use for azo dye degradation—a strategy for dye bioremediation. *International Microbiology*, 23(2), 149-159.
- Aksu, Z., & Tezer, S. (2005). Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. *Process Biochemistry*, 40(3-4), 1347–1361. doi:10.1016/j.procbio.2004.06.007
- Anonim. 2020. Web sitesi: <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Belgeler/yay%C4%B1nlar/yay%C4%B1nlar%202018/TEKNIK%20OZET%20TR.pdf>. Erişim Tarihi: 14.10.2020
- Anonymous. 2020. Web sitesi: [https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/remazolbrilliantbluer62654258078111?lang=en&region=TR&gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2IkhA3xsnMhuKDV7SfaUrO0QETCVAosho-h-sJcPTYlyWNR9amHbqy9xoCT8cQAvD\\_BwE](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/remazolbrilliantbluer62654258078111?lang=en&region=TR&gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2IkhA3xsnMhuKDV7SfaUrO0QETCVAosho-h-sJcPTYlyWNR9amHbqy9xoCT8cQAvD_BwE). Erişim Tarihi: 14.10.2020
- Anonymous. 2020. Web sitesi: [https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/brilliantbluer82597610459211?lang=en&region=TR&gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2Ikpc0Xe66kU1x62Br768KPQ9lj3PTWGsfc0lJf2kzQTWTh1ocxVid\\_hoCrakQAvD\\_BwE](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/brilliantbluer82597610459211?lang=en&region=TR&gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2Ikpc0Xe66kU1x62Br768KPQ9lj3PTWGsfc0lJf2kzQTWTh1ocxVid_hoCrakQAvD_BwE). Erişim Tarihi: 14.10.2020
- Anonymous. 2020. Web sitesi: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/r0378?lang=en&region=U>. Erişim Tarihi: 14.10.2020
- Baldev, E., MubarakAli, D., Ilavarasi, A., Pandiaraj, D., Ishack, K. S. S., & Thajuddin, N. (2013). Degradation of synthetic dye, Rhodamine B to environmentally non-toxic products using microalgae. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 105, 207-214.
- Bela, R. B., & Malliga, P. (2015). Treatment of textile dye effluent using marine cyanobacterium *Lyngbya* sp. with different agrowastes and its effect on the growth of cyanobacterium. *Journal of Environmental Biology*, 36(3), 623.
- Benkhaya, S., Mrabet, S., & El Harfi, A. (2020). Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon*, 6(1), e03271.

- Biyouki, A. Y., Noroozifar, M., Farazmand, A., & Assadi, M. (2018). Biodegradation of Coloured Textile Industrial Wastewater using *Chlorella vulgaris*. *Asian Journal of Chemistry*, 30(3), 575-578.
- Boduroğlu, G., Kılıç, N. K., & Dönmez, G. (2014). Bioremoval of Reactive Blue 220 by *Gonium* sp. biomass. *Environmental technology*, 35(19), 2410-2415.
- Brahmbhatt, N. H., & Jasrai, R. T. (2016). The role of algae in bioremediation of textile effluent. *methods*, 21, 28.
- Chia, M. A., Odoh, O. A., & Ladan, Z. (2014). The indigo blue dye decolorization potential of immobilized *Scenedesmus quadricauda*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(4), 1920.
- Chu, W. L., See, Y. C., & Phang, S. M. (2009). Use of immobilised *Chlorella vulgaris* for the removal of colour from textile dyes. *Journal of Applied Phycology*, 21(6), 641.
- Clark, M. 2011 a. The chemistry of reactive dyes and their application processes, In: Handbook of Textile and Industry. Levis, D. M. (eds), Handbook of Textile and Industry, 303-364. UK
- Clark, M. 2011 b. Environmentally friendly dyes, In: Handbook of Textile and Industry. Chavan, R. B. (eds), Handbook of Textile and Industry, 515- 561
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Miino, M. C., & Damiani, S. (2019). Treatments for color removal from wastewater: State of the art. *Journal of environmental management*, 236, 727-745.
- Converti, A., Casazza, A. A., Ortiz, E. Y., Perego, P., & Del Borghi, M. (2009). Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(6), 1146-1151.
- Dellamatrice, P. M., Silva-Stenico, M. E., Moraes, L. A. B. D., Fiore, M. F., & Monteiro, R. T. R. (2017). Degradation of textile dyes by cyanobacteria. *brazilian journal of microbiology*, 48(1), 25-31.
- Drobac-Čik, A., Dulic, T.I., Stojanovic, D.B., & Svircev, Z.B. (2007) The Importance of Extremophile Cyanobacteria in the Production of Biologically Active Compounds. *Proc. Naturel Sciences Matica srpska Novi Sad*, 112, 57-66.
- El-Kassas, H. Y., & Mohamed, L. A. (2014). Bioremediation of the textile waste effluent by *Chlorella vulgaris*. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(3), 301-308.
- Ellatif, S. A., El-Sheekh, M. M., & Senousy, H. H. (2020). Role of microalgal ligninolytic enzymes in industrial dye decolorization. *International Journal of Phytoremediation*, 1-12.
- El-Sheekh, M. M., Gharieb, M. M., & Abou-El-Souod, G. W. (2009). Biodegradation of dyes by some green algae and cyanobacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(6), 699-704.

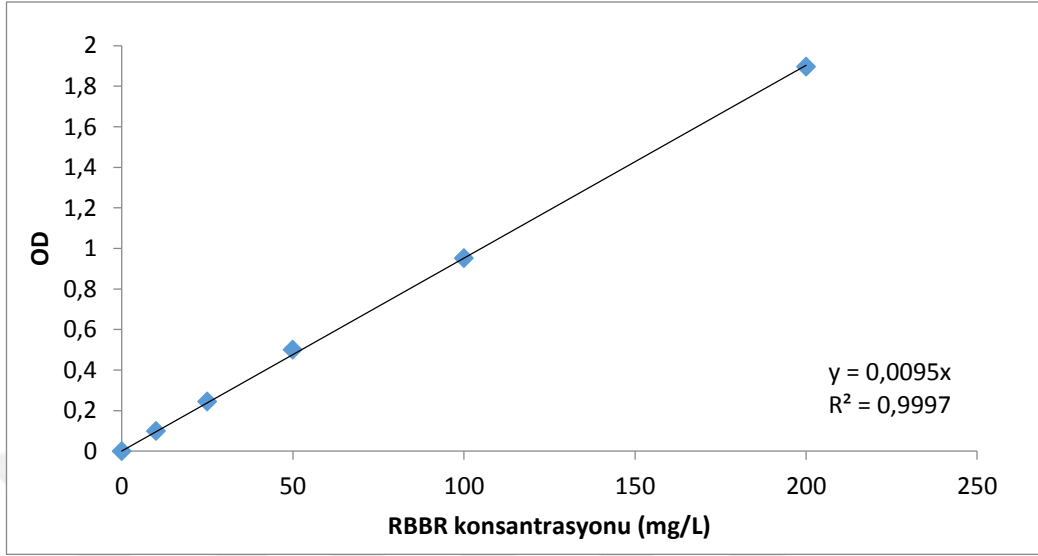
- Ertuğrul, S., Bakır, M., & Dönmez, G. (2008). Treatment of dye-rich wastewater by an immobilized thermophilic cyanobacterial strain: *Phormidium* sp. *Ecological Engineering*, 32(3), 244-248.
- Forgacs, E., Cserhati, T., & Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment international*, 30(7), 953-971.
- Ghazal, F. M., Battah, M. G., Abd El-Aal, A. A., Eladel, H. M., & Adly, S. E. (2016). Studies on the efficiency of cyanobacteria on textile wastewater treatment. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 7(4), 2925-2931.
- Goswami, R. K., Mehariya, S., Verma, P., Lavecchia, R., & Zuorro, A. (2020). Microalgae-based biorefineries for sustainable resource recovery from wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 101747.
- Gris, B., Sforza, E., Morosinotto, T., Bertucco, A., & La Rocca, N. (2017). Influence of light and temperature on growth and high-value molecules productivity from *Cyanobacterium aponinum*. *Journal of Applied Phycology*, 29(4), 1781-1790.
- Gupta, V. K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal—a review. *Journal of environmental management*, 90(8), 2313-2342.
- Hernández-Zamora, M., Cristiani-Urbina, E., Martínez-Jerónimo, F., Perales-Vela, H. V., Ponce-Noyola, T., del Carmen Montes-Horcasitas, M., & Cañizares-Villanueva, R. O. (2015). Bioremoval of the azo dye Congo Red by the microalga *Chlorella vulgaris*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(14), 10811-10823.
- İsmail, G. A., Allam, N. G., El-Gemizy, W. M., & Salem, M. A. (2020). The role of silver nanoparticles biosynthesized by *Anabaena variabilis* and *Spirulina platensis* cyanobacteria for malachite green removal from wastewater. *Environmental Technology*, 1-15.
- Karacakaya, P., Kılıç, N. K., Duygu, E., & Dönmez, G. (2009). Stimulation of reactive dye removal by cyanobacteria in media containing triacontanol hormone. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3), 1635-1639.
- Katheresan, V., Kansedo, J., & Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(4), 4676-4697.
- Lim, S. L., Chu, W. L., & Phang, S. M. (2010). Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. *Bioresource technology*, 101(19), 7314-7322.
- Meng, F., Cui, H., Wang, Y., & Li, X. (2018). Responses of a new isolated *Cyanobacterium aponinum* strain to temperature, pH, CO<sub>2</sub> and light quality. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 1525-1532.
- Mezhoud, N., Zili, F., Bouzidi, N., Helaoui, F., Ammar, J., & Ouada, H. B. (2014). The effects of temperature and light intensity on growth, reproduction and EPS synthesis of a thermophilic strain related to the genus *Graesiella*. *Bioprocess and biosystems engineering*, 37(11), 2271-2280.

- Ogugbue, C. J., Sawidis, T., & Oranusi, N. A. (2011). Evaluation of colour removal in synthetic saline wastewater containing azo dyes using an immobilized halotolerant cell system. *Ecological Engineering*, 37(12), 2056–2060.
- Omar, H. H. (2008). Algal decolorization and degradation of monoazo and diazo dyes. *Pak J Biol Sci*, 11(10), 1310-1316.
- Oyebamiji, O. O., Boeing, W. J., Holguin, F. O., Ilori, O., & Amund, O. (2019). Green microalgae cultured in textile wastewater for biomass generation and biodegradation of heavy metals and chromogenic substances. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100247.
- Pandey, A., Singh, P., & Iyengar, L. (2007). Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *International biodeterioration & biodegradation*, 59(2), 73-84.
- Pavithra, K. G., & Jaikumar, V. (2019). Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 75, 1-19.
- Priya, B., Uma, L., Ahamed, A. K., Subramanian, G., & Prabakaran, D. (2011). Ability to use the diazo dye, CI Acid Black 1 as a nitrogen source by the marine cyanobacterium *Oscillatoria curviceps* BDU92191. *Bioresource technology*, 102(14), 7218-7223.
- Pumas, C., Vacharapiyasophon, P., Peerapornpisal, Y., Leelapornpisid, P., Boonchum, W., Ishii, M., & Khanongnuch, C. (2011). Thermostability of Phycobiliproteins and Antioxidant Activity from Four Thermotolerant *Cyanobacteria*. *Phycological Research*, 59, 166–174.
- Rai, J., Kumar, D., & Gaur, J. P. (2019). Sorption of malachite green (a cationic dye) and heavy metals by dead biomass of *Phormidesmis molle* (cyanobacteria)-dominated mat. *Water and Environment Journal*, 33(1), 51-60.
- Rippka, R. (1988). Isolation and purification of cyanobacteria. *Methods in enzymology*, 167, 3-27.
- Sen, S. K., Raut, S., Bandyopadhyay, P., & Raut, S. (2016). Fungal decolouration and degradation of azo dyes: a review. *Fungal Biology Reviews*, 30(3), 112-133.
- Singh, L., & Singh, V. P. (2015). Textile dyes degradation: A microbial approach for biodegradation of pollutants. In *microbial degradation of synthetic dyes in wastewaters* (pp. 187-204). Springer, Cham.
- Yadav, A. K., Jena, S., Acharya, B. C., & Mishra, B. K. (2012). Removal of azo dye in innovative constructed wetlands: Influence of iron scrap and sulfate reducing bacterial enrichment. *Ecological Engineering*, 49, 53–58. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.08.032
- Zhou, G. J., Ying, G. G., Liu, S., Zhou, L. J., Chen, Z. F., & Peng, F. Q. (2014). Simultaneous removal of inorganic and organic compounds in wastewater by freshwater green microalgae. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16(8), 2018-2027.

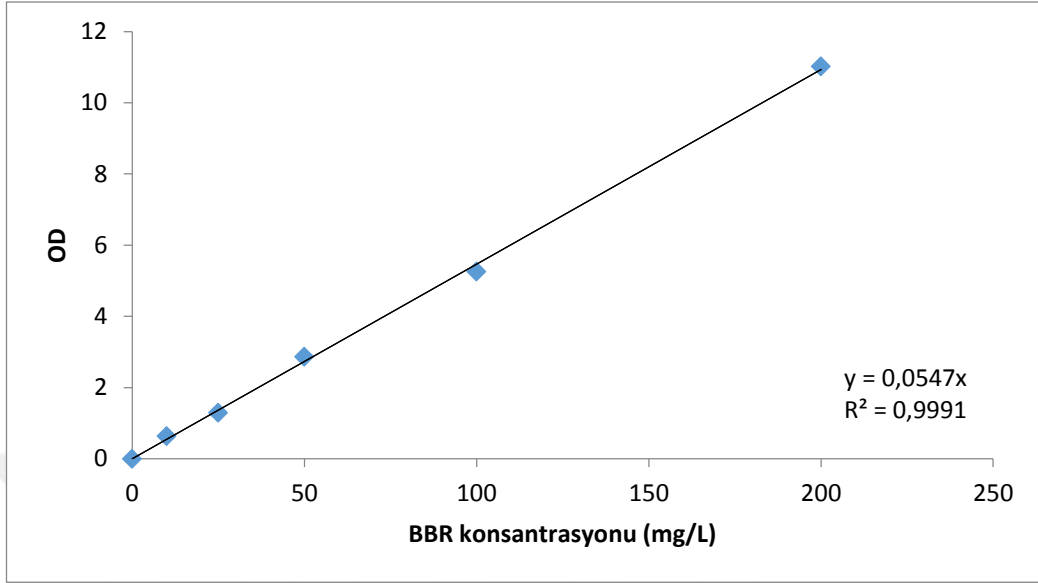
## **EKLER**

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>EK 1 RBBR (Remazol Brilliant Blue R) standardı.....</b> | <b>52</b> |
| <b>EK 2 BBR (Brilliant Blue R) standardı.....</b>          | <b>53</b> |
| <b>EK 3 RR-120 (Reactive Red 120) standardı.....</b>       | <b>54</b> |

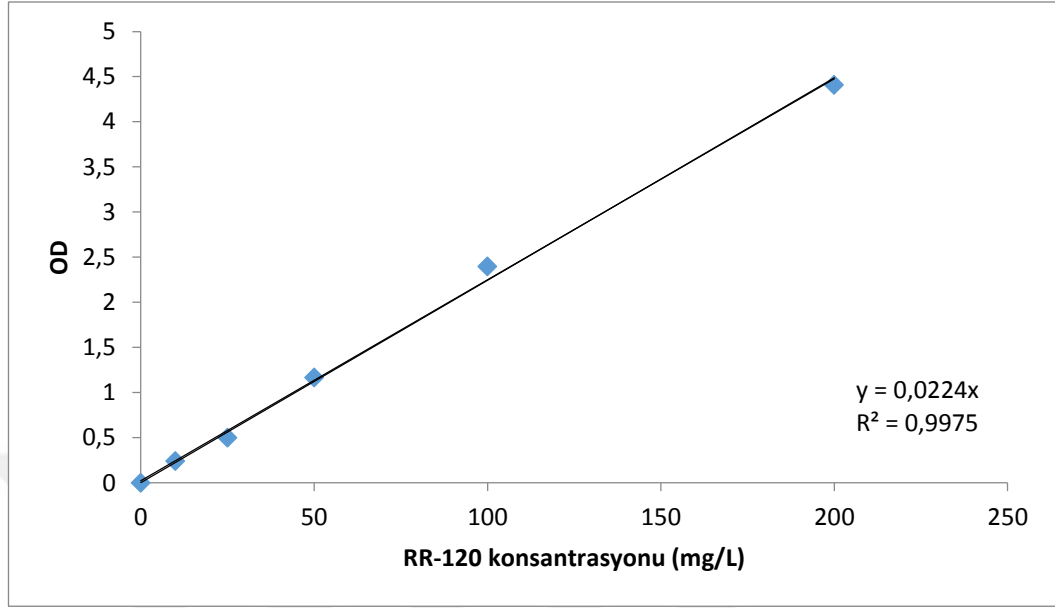
### EK 1 RBBR (Remazol Brilliant Blue R) standardı



## EK 2 BBR (Brilliant Blue R) standardı



### EK 3 RR-120 (Reactive Red 120) standardı





## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra ERKOÇ  
Doğum Yeri : Yenimahalle/ANKARA  
Doğum Tarihi : 14/10/1996  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Bekir Gökdağ Lisesi (2014)  
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2018)  
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı (2021)

### Yayınlar

1. Brilliant Blue R and Remazol Brilliant Blue R bioremediation by thermophile *Cyanobacterium aponinum* (Under review)
2. Investigation of thermotolerant *Chlorella vulgaris* dye bioremoval capacity under different conditions (Under review)