

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ATIK SULARIN BİYOLOJİK ARITIMINA SURFAKTANLARIN ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

Ülküye Dudu GÜL

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2010**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

ATIK SULARIN BİYOLOJİK ARITIMINA SURFAKTANLARIN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Ülküye Dudu GÜL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

Yapılan çalışmada filamentli fungus olan *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* türleri tarafından Remazol Blue reaktif boyası giderimine 6 adet surfaktanın etkisi incelenmiştir. *A. versicolor* için Dodesiltrimetil amonyum bromür (DTAB) ve Cetilpridium Klorol Monohidrat (CPCM), *R. arrhizus* için DTAB, Alkiltrimetil amonyum bromür (CTAB) ve Dodesilbenzen Sulfonik Asit Sodyum tuzu (DBS) surfaktanları kullanılmıştır. Surfaktanlı ortamda pH (3-7), boya ($50- 800 \text{ mg l}^{-1}$) ve surfaktan (0,1- 2 mM) konsantrasyonunun hem üremekte olan hücrelerin hem de üretilmiş biyokütlenin boya giderimine etkisi araştırılmıştır.

Denemelerde en iyi boya gideriminin, DTAB surfaktanı bulunan ortamda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Her iki fungus içinde optimal boya giderim koşulları pH'ı 6 olan 1 mM DTAB ve 100 mg l^{-1} boya bulunan ortam olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda melaslı besiyerinde üremekte olan *A. versicolor* türü 3 günlük inkübasyon süresi sonunda %100 boya giderimi gerçekleştirmiş ve biyo giderim kapasitesi 66.5 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Aynı koşullarda ve aynı miktarda biyokütleyle sahip üretilmiş *A. versicolor* türünün 6 saatlik inkübasyon sonunda canlı hücresi %87.8 ve ölü hücresi ise %71.4 boya giderimi gerçekleştirmiştir. Üretilmiş canlı ve ölü fungusu ait biyo giderim kapasitesi ise 40.2 ve 27.5 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Aynı koşullarda *R. arrhizus* fungusu 5 günlük inkübasyon süresi sonunda melaslı besiyerinde üremekte iken %97.1 boya giderimi yapmış ve boya giderim kapasitesi 27.22 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Üremekte olan fungus hücresi ile aynı miktarda üretilmiş *R. arrhizus* türünün optimal koşullarda 8 saatlik inkübasyon süresi sonunda canlı hücresi %56.8 ve ölü hücresi %51.7 boya giderimi yapmıştır. Bu türe ait boya giderim kapasitesi ise canlı hücre için 19.1 mg g^{-1} , ölü hücre için 18.1 mg g^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Denenen her iki fungus da 1 mM DTAB'li melaslı besiyerinde üremekte olan hücrelerle en iyi boya giderimi yapmıştır. Boyama işleminde kullanılan DTAB'nin işlem sonucu oluşan boyalı tekstil atık sularında bulunduğu bilinmektedir. Tez çalışması sonucunda en yüksek boya giderimi yapan *A. versicolor* fungusunun bu tür atık suların arıtımında kullanım kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir.

Aralık 2010, 108 sayfa

Anahtar Kelimeler: Surfaktan, Remazol Blue, Biyolojik arıtım, Melas

ABSTRACT

THE EFFECT OF SURFACTANTS ON BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT

Ülküye Dudu GÜL

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

Supervisor: Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

In this study, the effect of six surfactants on Remazol Blue reactive dye removal by filamentous fungi *Aspergillus versicolor* and *Rhizopus arrhizus* were examined. Dodecyl trimethyl ammonium bromide (DTAB) and Cetyltrimethyl ammonium chloride (CTAB) were used for *A. versicolor* and DTAB, Alkyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) and Dodecylbenzenesulphonic acid sodium salt (DBS) were used for *R. arrhizus*. In the presence of surfactant the effect of pH (pH 3-7), dye (50-800 mg l⁻¹) and surfactant (0,1-2 mM) concentration on dye removal by both the growing fungus in medium and harvested biomass.

In the assays it was determined that maximum dye removal occurred in the presence of DTAB. Optimal dye removal conditions were pH 6, 1 mM DTAB and 100 mg l⁻¹ dye concentration for all of the fungi. In optimal conditions the growing *A. versicolor* culture dye removal was 100% and the dye removal capacity was 66.5 mg g⁻¹ at the end of 3 days. In the same conditions the same amount of harvested biomass dye removal were 87.8% for living culture and 71.4% for dead culture. The dye removal capacity of living and dead culture were 40.2 ve 27.5 mg g⁻¹ at the end of 6 hours. In the optimum conditions the growing *R. arrhizus* strain in molasses medium decolorized 97.1% dye and dye removal capacity was 27.22 mg g⁻¹ at the end of 5 days. In the same condition the same amount of harvested living biomass and dead biomass removed 56.8% and 51.7% dye at the end of 8 hours. The dye removal capacity were 19.1 mg g⁻¹ for living and 18.1 mg g⁻¹ for dead biomass.

Both of the fungi that were examined in the study have shown maximum dye removal activity in the presence of 1 mM DTAB while they were growing in the medium. It is known that DTAB, is used in dyeing process and finds at the waste water of textile industry with dye. It is shown that *A. versicolor* which had maximum dye removal activity can use for treatment of textile waste water in this study.

December 2010, 108 pages

Key Words: Surfactant, Remazol Blue, Biological waste water treatment, Molasses

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince her türlü desteği, yardımı ve anlayışı gösteren sayın danışmanım öğretim üyesi Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ'e (Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü) teşekkürlerimi sunarım. Tezimin deney aşamalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümündeki Biyoteknoloji Laboratuvarında çalışan araştırma görevlisi ve diğer arkadaşlarıma, beni bu süreçte her zaman destekleyen ve yol gösteren ama sürecin sonunu göremeyen biricik annem rahmetli Ganimet EVREN'e ve çalışmalarımı tamamlayabilmem için desteğini esirgemeyen babam Tandoğan EVREN'e, zor anlarımda eksikliklerini hiç hissetmediğim sevgili kardeşlerime, çalışmalarımnda bana her zaman destek olan, her türlü sıkıntı ve zorlukları benimle paylaşan sevgili eşim Duran GÜL'e, deney yaparken annesinin yokluğuna katlanan oğlum her şeyim Hüseyin Berker GÜL'e sonsuz teşekkürler...

Ülküye Dudu GÜL

Ankara, Aralık 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1 Boyalar.....	3
2.1.1 Boyaların sınıflandırılması.....	4
2.1.1.1 Çözünürlüklerine göre sınıflandırılması.....	4
2.1.1.2 Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma.....	4
2.1.1.3 Boyama özelliklerine göre sınıflandırılması.....	5
2.1.1.4 Tekstil atık suyundaki boyaların olumsuz etkisi.....	7
2.2 Surfaktanlar.....	9
2.2.1 Surfaktanların özellikleri.....	9
2.2.2 Surfaktanların sınıflandırılması.....	11
2.2.2.1 Anyonik surfaktanlar.....	12
2.2.2.2 Katyonik surfaktanlar.....	13
2.2.2.3 İyonik olmayan surfaktanlar.....	13
2.2.2.4 Zwitteriyonik surfaktanlar.....	13
2.2.3 Surfaktan boya etkileşimleri.....	15
2.2.4 Surfaktanların boya gideriminde kullanımı.....	17
2.3 Atık Su.....	19
2.4 Atık Su Arıtım Yöntemleri.....	19
2.4.1 Fiziksel arıtım yöntemleri.....	19
2.4.2 Kimyasal arıtım yöntemleri.....	20
2.4.3 Biyolojik arıtım yöntemleri.....	20
2.4.3.1 Biyodegradasyon.....	21
2.4.3.2 Biyosorpsiyon.....	21
2.4.3.3 Biyobirikim.....	21
2.5 Tekstil Atık Suyundan Boya Gideriminde Fungusların Kullanımı.....	22
2.5.1 Aspergillus cinsine ait türlerin boya gideriminde kullanımı.....	27
2.5.2 Rhizopus cinsine ait türlerin boya gideriminde kullanımı.....	29
2.5.3 Candida cinsine ait türlerin boya gideriminde kullanımı.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1 Materyal.....	35
3.1.1 Mikroorganizma.....	35
3.1.2 Boya solüsyonu hazırlanması.....	35
3.1.3 Surfaktan solüsyonu hazırlanması.....	35
3.2 Yöntem.....	36
3.2.1 Üremekte olan mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar.....	37
3.2.1.1 Mikroorganizma kültür koşulları.....	37
3.2.1.2 Surfaktan Seçimi.....	38
3.2.1.3 Mikroorganizma alıştırma çalışmaları.....	38

3.2.1.4 Sürfaktan etkisi.....	38
3.2.1.5 pH etkisi.....	39
3.2.1.6 Boya konsantrasyonunun etkisi.....	39
3.2.1.7 Sürfaktan konsantrasyonunun etkisi.....	39
3.2.2 Biyosorpsiyon alışmaları.....	39
3.2.2.1 Biyoktle hazırlanması.....	40
3.2.2.2 Sürfaktan etkisi.....	40
3.2.2.3 pH etkisi.....	40
3.2.2.4 Sürfaktan ve boya konsantrasyonlarının etkisi.....	40
3.2.2.5 Biyoktle eşidinin etkisi.....	41
3.3 Analiz Yöntemleri.....	41
3.3.1 Boya konsantrasyonunun belirlenmesi.....	41
3.3.2 Kuru Ağırlığın Belirlenmesi.....	41
3.3.3 Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan formüller.....	42
4. ARAşTIRMA BULGULARI.....	43
4.1 Sürfaktan Seçimi.....	43
4.2 remekte Olan <i>A. versicolor</i> Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan alışmalar.....	44
4.2.1 Optimum pH belirlenmesi.....	45
4.2.2 Optimum boya konsantrasyonunun belirlenmesi.....	47
4.2.3 Optimum DTAB konsantrasyonunun belirlenmesi.....	49
4.3 remekte olan <i>A. versicolor</i> kültürü ile CPCM kullanılarak yapılan alışmalar.....	53
4.3.1 Optimum pH belirlenmesi.....	53
4.3.2 Optimum CPCM konsantrasyonunun belirlenmesi.....	55
4.4 <i>A. versicolor</i> kültürü kullanılarak DTAB ile yapılan biyosorpsiyon alışmaları.....	56
4.4.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi.....	57
4.4.2 Optimum boya ve DTAB konsantrasyonunun belirlenmesi.....	57
4.4.3 Biyoktlenin Etkisi.....	60
4.5 remekte Olan <i>R. arrhizus</i> Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan alışmalar.....	61
4.5.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi.....	62
4.5.2 Optimum boya konsantrasyonunun belirlenmesi.....	64
4.5.3 Optimum DTAB konsantrasyonunun belirlenmesi.....	66
4.6 remekte Olan <i>R. arrhizus</i> Kültürü ile CTAB Kullanılarak Yapılan alışmalar.....	69
4.6.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi.....	70
4.7 remekte Olan <i>R. arrhizus</i> Kültürü ile DBS Kullanılarak Yapılan alışmalar.....	71
4.8 <i>R. arrhizus</i> Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan Biyosorpsiyon alışmaları.....	72
4.9 remekte Olan <i>Candida tropicalis</i> Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan alışmalar.....	73
5.TARTIşMA VE SONUÇ.....	75
5.1 <i>A. versicolor</i> Kültürü ile Yapılan alışmalar.....	75
5.2 <i>R. arrhizus</i> Kültürü ile Yapılan alışmalar	78
5.3 <i>C. tropicalis</i> Kültürü ile Yapılan alışmalar	81

5.4 Çalışmada Kullanılan Sürfaktanların ve Mikroorganizmaların Karşılaştırılması.....	82
KAYNAKLAR.....	91
EKLER	103
EK 1 Remazol Blue boyasının 20, 40, 60, 80 mgI⁻¹ konsantrasyonlarda standart eğrisi.....	104
EK 2 <i>Aspergillus versicolor</i> yaş ve kuru ağırlık standardı.....	105
EK 3 <i>Rhizopus arrhizus</i> yaş ve kuru ağırlık standardı.....	106
EK 4 DTAB surfaktanı konsantrasyonunun Remazol Blue boyasının dalga boyuna etkisi.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGELER DİZİNİ

A.v	<i>Aspergillus versicolor</i>
R.a.	<i>Rhizopus arrhizus</i>
C.t.	<i>Candida tropicalis</i>
CPCM	Cetilpridium Klorol Monohidrat
CTAB	Alkiltrimetil amonyum bromür
DBS	Dodesilbenzen Sulfonik Asit Sodyum tuzu
DTAB	Dodesiltrimetil amonyum bromür
HDTAB	Hegzadesiltrimetil amonyum bromür
SDS	Sodyum dodesil sulfat
(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonyum sülfat
KH ₂ PO ₄	Potasyumdihidrojen fosfat
q_m	Kurutulmuş bir gram hücredeki maksimum boya miktarı (mgg ⁻¹)
X_m	Maksimum kurutulmuş hücre kütesini (gl ⁻¹),
C_{oRB}	Başlangıç boya konsantrasyonu (mgI ⁻¹)
C_{fRB}	Son boya konsantrasyonu (mgI ⁻¹)
C_{oCPCM}	Başlangıç CPCM surfaktanı konsantrasyonu (mM)
C_{oCTAB}	Başlangıç CTAB surfaktanı konsantrasyonu (mM)
C_{oDBS}	Başlangıç DBS surfaktanı konsantrasyonu (mM)
C_{oDTAB}	Başlangıç DTAB surfaktanı konsantrasyonu (mM)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Reaktif boyaların kimyasal yapısı.....	6
Şekil 2.2	Surfaktan molekülünün şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.3	Surfaktan monomerlerinin misel oluşumu.....	10
Şekil 2.4	Surfaktan misellerinin farklı şekilleri.....	10
Şekil 2.5	Surfaktanların sınıflandırılması İyonik olmayan a. Anyonik b. katyonik c. ve zwitter iyonik d.....	12
Şekil 2.6	<i>Aspergillus versicolor</i>	29
Şekil 2.7	<i>Rhizopus oryzae</i> (<i>Rhizopus arrhizus</i>).....	31
Şekil 2.8	<i>Candida tropicalis</i>	33
Şekil 4.1	Surfaktanın boya giderimine (%BG) etkisi.....	45
Şekil 4.2	Boya giderimine (%BG) pH'ın etkisi.....	46
Şekil 4.3	Fungal gelişime pH'ın etkisi	47
Şekil 4.4	Başlangıç boya konsantrasyonunun fungal boya giderimine (%BG) etkisi...48	48
Şekil 4.5	Başlangıç boya konsantrasyonunun fungal gelişime etkisi.....	48
Şekil 4.6	Başlangıç surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi.....	50
Şekil 4.7	Başlangıç surfaktan konsantrasyonunun fungal gelişimine (kuru ağırlık) etkisi.....	50
Şekil 4.8	Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine(% BG) etkisi.....	51
Şekil 4.9	CPCM'nin boya giderimine (%BG) etkisi.....	54
Şekil 4.10	Boya giderimine (%BG) pH'ın etkisi.....	54
Şekil 4.11	Başlangıç CPCM konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi.....	55
Şekil 4.12	DTAB'nin boya biyosorpsiyonuna (%BB) etkisi.....	56
Şekil 4.13	Boya biyosorpsiyonuna (%BB) pH'ın etkisi.....	58
Şekil 4.14	Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun biyosorpsiyonuna (% BB) ikili etkisi.....	59
Şekil 4.15	Boya biyosorpsiyonuna (%BB) biyokütlenin etkisi.....	61
Şekil 4.16	DTAB'nin <i>R. arrhizus</i> fungusunun boya giderimine (%BG) etkisi.....	63

Şekil 4.17 pH'ın boya giderimine (%BG) etkisi.....	63
Şekil 4.18 pH'ın fungal gelişime etkisi.....	64
Şekil 4.19 Başlangıç boya konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi.....	65
Şekil 4.20 Başlangıç boya konsantrasyonunun fungal gelişime etkisi.....	65
Şekil 4.21 Başlangıç surfaktan konsantrasyonunun fungal gelişime etkisi.....	66
Şekil 4.22 Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine (% BG) etkisi.....	67
Şekil 4.23 Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine (% BG) etkisi.....	68
Şekil 4.24 CTAB'nin fungal boya giderimine (%BG) etkisi.....	70
Şekil 4.25 pH'ın boya giderimine (%BG) etkisi.....	71
Şekil 4.26 DBS'nin boya giderimine (%BG) etkisi.....	72
Şekil 4. 27 DTAB'nin boya giderimine (% BG) etkisi.....	74
Şekil 5.1 a. Surfaktanların melaslı besiyerinde boya giderimi, b. Surfaktanların sudaki KMK değerleri.....	84
Şekil 5.2 DTAB'nin suda ve melaslı besiyerinde tek başına gerçekleştirdiği boya giderimi.....	85
Şekil 5.3 <i>Rhizopus arrhizus</i> (R.a.), <i>Aspergillus versicolor</i> (A:v.) funguslarının boya giderimine (%BG) pH etkisi.....	86
Şekil 5.4 <i>Rhizopus arrhizus</i> (R.a.), <i>Aspergillus versicolor</i> (A:v.) boya giderimine (%BG) başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi.....	87
Şekil 5.5 <i>Rhizopus arrhizus</i> (R.a.), <i>Aspergillus versicolor</i> (A:v.) boya giderimine (%BG) başlangıç surfaktan konsantrasyonunun etkisi.....	87
Şekil 5.6 <i>Rhizopus arrhizus</i> (R.a.), <i>Aspergillus versicolor</i> (A:v.) ve <i>Candida</i> <i>tropicalis</i> (C.t.) türlerinin boya giderimine (%BG) DTAB etkisi.....	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Sürfaktanların sınıflandırılması.....	14
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan sürfaktanlar.....	36
Çizelge 4.1 Sürfaktan seçimi.....	43
Çizelge 4.2 Artan DTAB konsantrasyonlarında ve düşük boya konsantrasyonlarında A. <i>versicolor</i> fungusunun gram hücresi başına düşen maksimum spesifik boya miktarı (q_m) ve boya giderimi.....	52
Çizelge 4.3 Başlangıç boya ve sürfaktan konsantrasyonunun boya biyosorpsiyonuna (% BB) ikili etkisi.....	56
Çizelge 4.4 Artan DTAB konsantrasyonlarında gram hücre başına düşen maksimum spesifik boya miktarları.....	60
Çizelge 4.5 Artan Remazol Blue (RB) konsantrasyonlarında gram hücre başına düşen maksimum spesifik boya miktarları.....	60
Çizelge 4.6 Artan DTAB konsantrasyonlarında gram hücre başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarları.....	69
Çizelge 4.7 Farklı DTAB konsantrasyonlarında gram canlı ve ölü <i>R. arrhizus</i> hücresi başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarları ve boya biyosorpsiyonu.....	73
Çizelge 5.1 Sürfaktanın fungal gelişime (X_m) ve boya giderimine (BG) etkisi.....	76
Çizelge 5.2 Farklı sürfaktan konsantrasyonunda gram hücre başına düşen maksimum spesifik boya miktarı.....	78
Çizelge 5.3 Sürfaktanın fungal gelişime (X_m) ve boya giderimine (BG) etkisi.....	80
Çizelge 5.4 Farklı sürfaktan konsantrasyonunda gram hücre başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarları.....	81
Çizelge 5.5 Farklı sürfaktan konsantrasyonunda gerçekleşen boya giderimi.....	81

1. GİRİŞ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su kirliliğine etki eden unsurlar; sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı, zirai mücadele ilaçları ve kimyasal gübreler olarak gruplandırılabilir. Sanayinin çevre üzerindeki olumsuz etkisi diğer faktörlerden çok daha fazladır. Sanayi kuruluşlarının sıvı atıkları ile su kirliliğine ve dolaylı olarak da yine su kirliliğine bağlı, toprak ve bitki örtüsü üzerinde aşırı kirlenmelere neden olduğu ve doğa tahribine yol açtığı bilinmektedir.

Endüstriyel atık suları gıda, tekstil, kâğıt ve selüloz, kimya petrol, kömür madenleri, metal, sentetik kauçuk/plastik ve diğer işletmelerden çıkan sulardır. Tekstil endüstrisi diğer endüstriyel sektörlere nazaran deşarj hacmi ve çıkış suyu kompozisyonu göz önüne alındığında çevreyi en çok kirleten endüstri olarak nitelendirilmektedir (Şen ve Demirer 2003,Uzal vd. 2005).

Tekstil endüstrisi başta olmak üzere endüstriyel atık suları akarsu, deniz ve alıcı ortamlara bırakılmadan önce çeşitli yöntemlerle arıtılmalıdır, ayrıca atık su yöntemlerine göre zehirli maddeler ve inhibitörlerden belirli oranda arıtılması gerekmektedir (Talarposhiti vd. 2000, Uğurlu 2003).

Günümüzde tekstil ve hazır giyim sektörü Türkiye imalat sanayi içinde önemli bir yere sahiptir. İmalat sanayi içinde istihdamda, üretimde ve ihracatta önemini sürdürmektedir. Tekstil endüstrisinde ürün çeşitliliğini artırmak ve de ürünlere kaliteli özellikler kazandırmak amacıyla çeşitli kimyasal maddelerin kullanımı söz konusudur. Bu kimyasallar tekstil atık suları ile birlikte yer üstü ve yer altı sularına karışan kirletici maddelerdir. Organik maddeler, renk, toksik maddeler ve inhibitör bileşikler, adsorplanabilir klorlu bileşikler (AOX) ve tuzlar tekstil atık sularında bulunan önemli kirleticilerdir (Şen ve Demirer 2003). Özellikle tekstil ürünlerine renk kazandırmak amacı ile kullanılan sentetik boyalar bu kimyasallar arasında en önemlileridir.

Tekstil atık suları yüksek konsantrasyonda boya, biyokimyasal Oksijen ihtiyacı (BOI), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) ve askıda katı madde (AKM) içerir (Kestioğlu ve Yalılı 2006). Boya kazanlarından kaynaklanan atık suyun karakteristik yapısı; boyanın çeşidine, fabrikada uygulanan işlemlere, boyamada kullanılan teknolojiye ve yardımcı bağlayıcı maddelerin konsantrasyonuna bağlı olarak her zaman değişiklik gösterir (Talarposhiti vd. 2000).

Tekstil sanayinde kullanılan tek kimyasal madde boyalar değildir. Boyarların dışında: poliakrilatlar, fosfonatlar, deflokulasyon ajanları (lignin gibi), boyarmaddeyi liflere fikse eden ajanlar da bulunabilmektedir (Vandevivere vd. 1998). Tekstil atık sularında sentetik boyaların yanı sıra surfaktanlar da bulunmaktadır. Surfaktanlar çözücü ve boya dağılımını düzenleyici özelliklerinden dolayı boyama işleminde ıslatıcı, dağıtıcı ve düzgün boyama yapıcı ajan olarak kullanılmaktadır (Kartal ve Akbaş 2005). Düzgün boyama yapıcı ajanlar tekstil ürününe tutunmada boya ile yarışa girerek boyanın kumaşa affinitesini düşürür ve boya düzgün bir şekilde tekstil ürünü üzerinde hareket oranını arttırır ve böylece kumaşın daha iyi boyanmasını sağlamaktadır (Bagha vd. 2007). Boyama işleminde kullanılan boyalar gibi surfaktanlar da tekstil atık suları ile birlikte yer altı ve yer üstü sularına karışmaktadır.

Bu çalışmanın amacı tekstil atık sularında bulunan boyaların mikrobiyal giderimine farklı özellikteki surfaktanların etkisini belirlemektir. Çalışmada hem anyonik hem de katyonik özellikteki surfaktanların anyonik boya giderimine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada mikroorganizma üretmek için şeker fabrikası atığı olan melas içeren besiyeri kullanılmıştır. Melas ucuz olmasının yanı sıra mikrobiyal gelişime olanak sağlayan iyi bir karbon kaynağıdır. Maliyeti düşürmek amacıyla tez çalışmasında melaslı besiyeri kullanımı tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan mikroorganizmaların başarılı bir şekilde boya giderimini gerçekleştirdiği daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Surfaktan maddelerinde tek başlarına atık sularda boyarmaddeler gibi kirleticileri giderdiği bilinmektedir. Yapılan çalışma hem mikroorganizma hem de surfaktanın bir arada olduğu ortamda boya giderimini araştırdığı için orijinal bir çalışmadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Boyalar

Bir materyale kendiliğinden veya uygun reaksiyon maddeleri sayesinde renk veren organik maddelere boya denir. Renk madde üzerine düşen ışınların absorpsiyon yansıma değerleri ile ilgili ortaya çıkar (Aksu ve Tezer 2000). Boya molekülleri görünür ışığı (400- 750 nm dalga boyunda) absorbe eden ve boyanın elyafın üzerine ve içine tutunmasını sağlayan kromojen gruplar içerir. Kromojen gruplar ‘kromofor’ adı verilen grupları içeren aromatik yapılardır. Kromofor organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlardır. Kromofor gruplar kimyasal yapılarına göre; Nitroso, Nitro, Azo, Etilen, Karbonil, Karbon- Azot, Kükürt grupları olmak üzere 7 gruba ayrılırlar (Vandevivere vd. 1998). Bir ya da birden çok bağ içerirler. Bu bağlar ışığı absorblayarak boyanın parlak renkli görünümünü sağlamaktadırlar. Azo sınıfı kromofor grubu boyalar yaygın olarak bulunmaktadır (Sarıoğlu ve Dean 1998).

Boya molekülünde moleküle elektrolitik çözünme özelliği kazandıran ve boya molekülünün tuz meydana getirmesini sağlayan ‘Oksorom’ kısmı bulunmaktadır. Oksorom denilen elektron verici hidroksil, amin, karboksil ve sulfo gibi birinci dereceden yer değiştiriciler ile anti oksorom denilen karbonil, nitroza gibi ikinci dereceden yer değiştiricilerin moleküle bağlanmasıyla molekül bileşik liflere karşı affinite kazanarak boya niteliği kazanır ve renk koyulaşır (Yakartepe 1998, Tezer 2002, Tatlı 2003). Boyanın asidik veya bazik olduğunu oksorom grupları belirler ve bu gruplara örnek olarak $-NR_2^+$, $-NH_2^+$, $-OH^-$, $-Br^-$ ve Cl^- gösterilebilir (Temiz 1994).

Boyalar genel olarak, anyonik- direkt boyalar, asit ve reaktif boyalar, katyonik- bazik boyalar ve iyonik olmayan- dispers boyalar şeklinde sınıflandırılabilir (Mishra ve Tripathy 1993, Fu ve Viraraghavan 2001).

2.1.1 Boyaların sınıflandırılması

Boyalar; çözünürlük, kimyasal yapı, boyama özellikleri gibi çeşitli karakteristikleri göz önüne alınarak sınıflandırılır (Kurbanova vd. 1998).

Boyalar karakteristiklerine göre üç grup da sınıflandırılır.

2.1.1.1 Çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

Çözünürlüklerine göre boyalar suda çözünen ve suda çözünmeyen boyalar şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Suda çözünen boyalar; anyonik, katyonik, zwitter iyon karakterli boyalar olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Suda çözünmeyen boyalar ise organik çözücülerde çözünen, substratta çözünen, geçici çözünürlüğü olan, polikondenzasyon, elyaf içinde oluşturulan boyalar ve pigmentler olmak üzere gruplandırılmaktadır (Özgürses 2003).

Remazol Blue çözünürlüğüne göre sınıflandırmada suda çözünen anyonik boyalar grubunda yer almaktadır. Suda çözünen boya molekülünde en az bir tane tuz oluşturabilen grup bulunur. Anyonik suda çözünen boyalar suda çözünen grup olarak en fazla sülfonik ($-SO_3^-$), az olarak da karboksilik ($-COO^-$) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler ($-SO_3Na$ ve $-COONa$) (Hameed vd. 2007). Dünya çapında en çok kullanılan boya sınıflarından biridir ve Türkiye 'de poliamid boyama sektöründe en büyük pazar payına sahiptir (Arslan Alaton ve Teksoy 2007).

2.1.1.2 Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma

Kimyasal yapılarına göre boyalar; azo, nitro ve nitroso, polimetin, arilmetin, aza (18) annulen, molekül ve kükürt boyalar olmak üzere 7 sınıfa ayrılmaktadır (Özgürses 2003).

Remazol Blue azo grubu içerdiğinden, kimyasal yapıya göre sınıflandırmada azo boyalar sınıfına girer. Azo boyalar organik boyaların en önemli sınıfını oluştururlar. Azo grubu boyalar (monoazo, diazo, triazo v polyazo) şunda var olan en geniş (yaklaşık olarak 26.000 boya) kimyasal boya grubudur (Zohra vd. 2008). Kükürt ve küpe boyalar dışında tüm boyaların yapısında azo grubu vardır. Azo boyalar, yapılarındaki kromofor grup olan azo (- N=N -) grubu ile karakterize edilir (Kaykıoğlu ve Debik 2006) .

Azo boyalarından alifatik grup içerenlerin renk şiddeti düşüktür. Haslık özellikleri farklıdır. Doğal boyalarda azo grubuna rastlanmaz, bu boyaların tümü sentetik olarak elde edilirler. Bu boyaların bazıları suçul toksidite yada alerjik etkiler gösterir ve indirgeyici şartlarda, kanserojenik olan aromatikaminleri üretirler (Silva vd. 2004).

2.1.1.3 Boyama özelliklerine göre sınıflandırılması

Boyama özelliklerine göre boyalar; asit, bazik, direkt, mordan, reaktif, küpe, inkişaf, metal-kompleks, dispersiyon, pigment boyalar şeklinde sınıflandırılmaktadır (<http://www.turkcebilgi.com/boyarmaddeler/ansiklopedi#ansiklopedi> 2010).

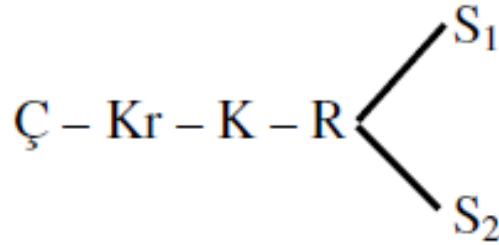
Remazol Blue boyama özelliğine göre sınıflandırmada reaktif boya sınıfında bulunmaktadır. Reaktif boyalar uygun koşullar altında lif ile kimyasal reaksiyona girerek, kovalent bağ oluşturur. Kovalent bağ kurma özelliğine sahip tek boya sınıfıdır.

Reaktif boyalar yüksek renkli organik bir madde olup daha çok tekstil boyama işinde kullanılır. Reaktif boyalar, boyama işlemi esnasında kimyasal reaksiyona girerek boya molekülü ile elyaf molekülü arasında kovalent bağ oluşturur. Bütün reaktif boyalarda ortak olan özellik hepsinin kromofor taşıyan renkli grup yanında bir reaktif, birde moleküle çözünürlük sağlayan grup içermesidir (Clarke ve Anliker 1980).

Reaktif boyaların oluşturdukları kovalent bağlar sayesinde boya molekülleri elyafın bir parçası olur ve yıkama gibi işlemlerle kolay çözünüp gitmez. Diğer boyalarda ise yıkandıkça boya kendini bırakmakta ve zamanla yok olmaktadır. Dolayısıyla reaktif boyalar bugün tekstilde en yaygın olarak kullanılan boya türü olmuştur. Son yıllarda geliştirilen metotla reaktif boyalar yün, ipek, orlon, akrilik karışımları ve poliamid boyanmasında da kullanılırlar (Başer ve İnanıcı 1990). Karakteristikleri küçük ve basit molekül yapılarına sahip olmalarıdır. Küçük parçacık özelliği life hızlı bir şekilde nüfuz etmelerini sağlar. Çok parlak renklere sahip reaktif boyalar basit yapılarının sonucu olarak spektrumlarında çok dar ve yüksek pikler gösterirler. En çok mavi, kırmızı ve sarı renklerin eldesi için kullanılırlar (Clarke ve Anliker 1980).

Reaktif boyalar genel olarak reaktif grubun kimyasal yapısına göre veya bu grubun kimyasal reaktivitesinin derecesine göre sınıflandırılırlar.

Reaktif boyanın kimyasal yapısı;



Şekil 2.1 Reaktif boyaların kimyasal yapısı

Ç: Çözünürlük sağlayan grup

Kr: Kromofor grup

K: Köprü grup

R: Reaktif grup

S₁: Substitusyon reaksiyonu sırasında yer değiştiren grup

S₂: Diğer substituentlerdir.

Reaktif boyaların avantajları, dezavantajlarından fazla olduğundan tercih edilen boyalardır.

Avantajları:

1. Yıkama haslıkları iyi, ışık haslıkları mükemmeldir.
2. Parlak ve canlı renkler vardır.
3. Maliyetleri direkt ve küpe boyalar arasındadır.
4. Hemen tüm sürekli ve yarı sürekli yöntemler uygundur.
5. Düzgün boyama elde etmek kolaydır.
6. Renk paleti mükemmeldir.
7. Yüksek ölçüde tekrarlanabilirlik mevcuttur (Tezer 2002).

Dezavantajları:

1. Klor haslıkları ve bazik çözelti haslıkları iyi değildir.
2. Bazik işlemlerde özellikle sıcaklık yüksek ise liflere kovalent olarak bağlanan boyanın bir kısmı kopar ve lifle reaksiyona girme yeteneğini kaybeden boyarmadde sekline dönüşür.
3. Reaktif boyalarla boyama ya da baskı sonrası işlemler uzun ve zaman alıcıdır (Mc Kay ve Poots 1980).

2.1.1.4 Tekstil atık suyundaki boyaların olumsuz etkisi

Tekstil endüstrileri başta olmak üzere sentetik boyaların ve pigmentlerin kullanıldığı endüstrilerde, organik içerik ve rengin her ikisinin de yüksek olduğu atık sular üretilir. Dünya çapında yılda 7.105 ton, yaklaşık 10.000 farklı ticari boya ve pigment üretilmektedir (Sponza vd. 2000, Kaykıoğlu ve Debik 2006, Gomez vd. 2007). Boyama işlemi sırasında boyanın yaklaşık %10-15'nin atık su akımına geçtiği hesaplanmıştır (Gomez vd. 2007). Tekstil endüstrisinde ürünlerin her kg'ı başına yaklaşık olarak 40-65 L atık su meydana gelmektedir (Manu ve Chaudhari 2002). Dünyada her yıl yaklaşık

280.000 ton boyalı atık su alıcı ortama deşarj edilmektedir (Mass ve Chaudhari 2005). Boyalar su kirliliğinin en belirgin sinyalleridir ve bazı boyalar 0.005 mg l^{-1} gibi çok düşük konsantrasyonlarda bile gözle görülebilirler (O'Neill vd. 1999).

Ticari olarak kullanılan sentetik boyaların büyük bir kısmını toksik, karsinojenik ve mutajenik özelliklere sahip olan azo boyalar oluşturmaktadır (Seesuriyachana vd. 2007).

Boya çeşitleri ve uygulama tipleri göz önünde tutulduğunda, azo-reaktif boyalar %20-30'luk market payı ile en çok kullanılan boyalardır. Kullanılan bu boyaların %15'i yıkama gibi işlemler sonrasında çevreye karışmaktadır (Carliell vd. 1995, Phillips 1996, Swamy 1998).

Tekstil atık sularında bulunan boyalar arıtılmadıkları takdirde çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Atık suda bulunan boyaların ışık geçirimini azaltması sonucu sucul yaşamdaki fotosentetik aktivite de olumsuz yönde etkilemekte, bu durum canlı topluluklarına oldukça toksik etki yapmaktadır (Aksu 2005).

Boyalar, görünümü, ışık geçirgenliğini ve gaz çözünürlüğünü etkilediklerinden dolayı alıcı ortama verilmeden önce mutlaka rengin giderilmesi gereklidir (Banat vd. 1996).

Memeli hayvanlarda azo boyaların indirgenmesi bağırsaktaki bazı bakteriler ve karaciğerdeki hepatik enzimler tarafından gerçekleştirilmektedir. İndirgenme sonucu ortaya çıkan aromatik yapıdaki moleküller canlıya toksik etkide bulunmaktadır (Rafii vd. 1995).

Boya içeren atık suların ulaştıkları alıcı ortama olumsuz etkilerinin yanı sıra insan bünyesine ulaşması, böbrek fonksiyonlarına, üreme sistemine, karaciğer, beyin ve merkezi sinir sistemine sert tahribatlar yapabilir (Özcan ve Özcan 2005).

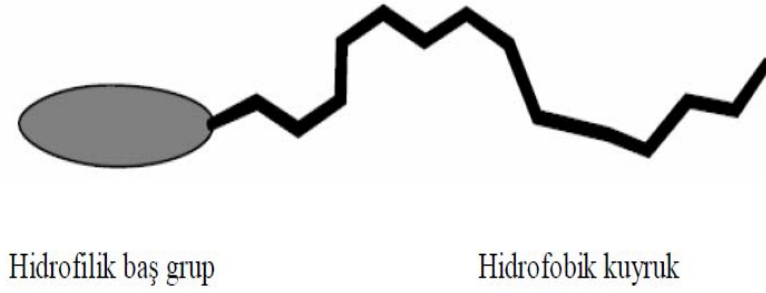
2.2 Surfaktanlar

Surfaktan kelime olarak "yüzeyi saran" anlamına gelmektedir. Surfaktan maddeler, suyun yüzey gerilimini düşürürler. Bu nedenle "yüzey aktif" maddeler olarak anılırlar (Holmberg vd. 2003). Surfaktanlar su-petrol yüzeyi, hava-su yüzeyi, sıvı-katı yüzeyi gibi farklı yüzeyleri bir araya getiren özellik gösterirler. Surfaktan denince akla, alkil sülfat, alkil sülfonat, etoksillenmiş yağ asitleri, sodyum tuzları gibi organik türevler gelir. Surfaktanlar genellikle yapısal olarak uzun bir molekülün ucundaki ilgisi fazla grupla karakterize edilir. Surfaktanlar bu grubun kimyasal durumu açısından iyonik ve iyonik olmayan (noniyonik) olmak üzere nitelendirilir (Hamme vd. 2006).

Surfaktanların geniş uygulama alanları vardır. Surfaktanlar tarafından nötral moleküllerin çözünürleştirilmesinden kozmetik, misel katalizi, ayırma işlemleri, tekstil boyaması gibi geniş ölçüde faydalanılır (Scamehorn 1986).

2.2.1 Surfaktanların özellikleri

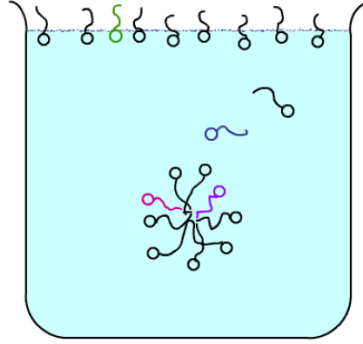
Surfaktanlar, aynı molekülde biri hidrofilik (polar) diğeri hidrofobik (apolar) olan iki grubun varlığı ile karakterize edilir. Hidrofilik (su- sever) kısım baş grup ve hidrofobik (yağ- sever) kısım da kuyruk grup olarak isimlendirilir (Hamme vd. 2006). Molekülün su sever kısmı küresel formlar, yağ sever kısmı ise çubuk formlar oluşturur (Şekil 2.2). Molekülün su-sever kısmı, aynı zamanda yük taşıyan kısımdır. Surfaktanlar, düşük konsantrasyonlarda monomer halinde bulunurlar. Her monomer elektriksel yüke sahiptir (Holmberg vd. 2003).



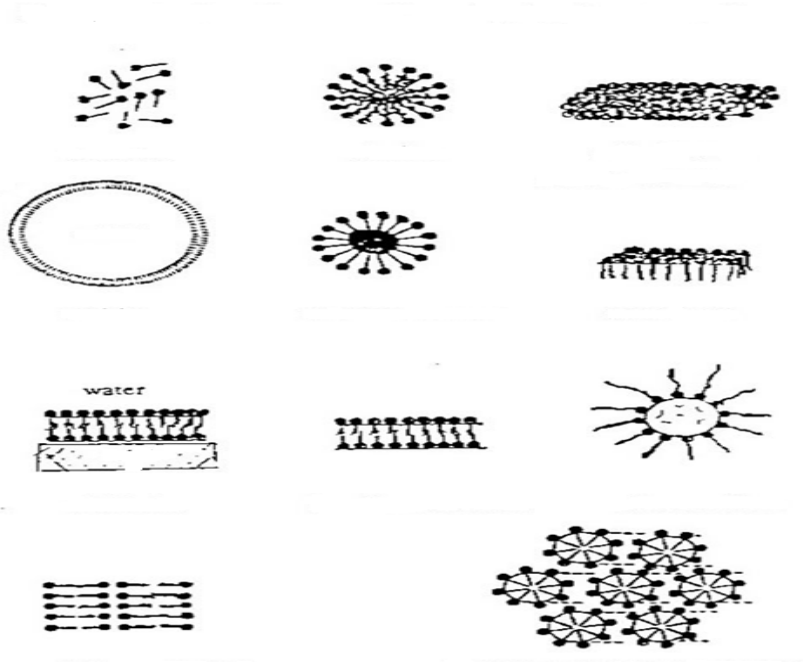
Şekil 2.2 Surfaktan molekülünün şematik gösterimi

Surfaktanlar, belli konsantrasyonlara ulaştıklarında (Kritik Misel Konsantrasyonu-KMK) çeşitli şekillerde "miseller" oluştururlar (Şekil 2.3). Miseller; küresel, çubuk şekilli, silindirik ve sekiz köşeli olabilirler (Şekil 2.4). Misel oluşumu, surfaktan moleküllerinin hidrokarbon kısımları arasındaki hidrofobik etkileşmenin baş gruplar arasındaki elektrostatik itme ve hidratasyon ile dengelenmesi sonucu oluşur. Miseller ancak bir kritik misel konsantrasyonunun (KMK) üzerinde surfaktan molekül ve iyonlarının bir araya gelmesiyle meydana gelir ayrıca şekil ve büyüklük bakımından değişebilen ve sürekli hareket halinde olan sistemlerdir (Anianson 1976, Atkins 1998).

Sulu çözeltilerde surfaktanların davranışı, hidrofobik kısmının çözeltilerden ayrılma ve hidrofilik kısmının çözeltilere doğru yönelme eğilimi ile tayin edilir. Bu çift yönlü eğilim, ara yüzeylerde surfaktanların adsorpsiyonu ve miseller gibi agregatların oluşumunu sağlamaktadır (Holmberg vd. 2003).



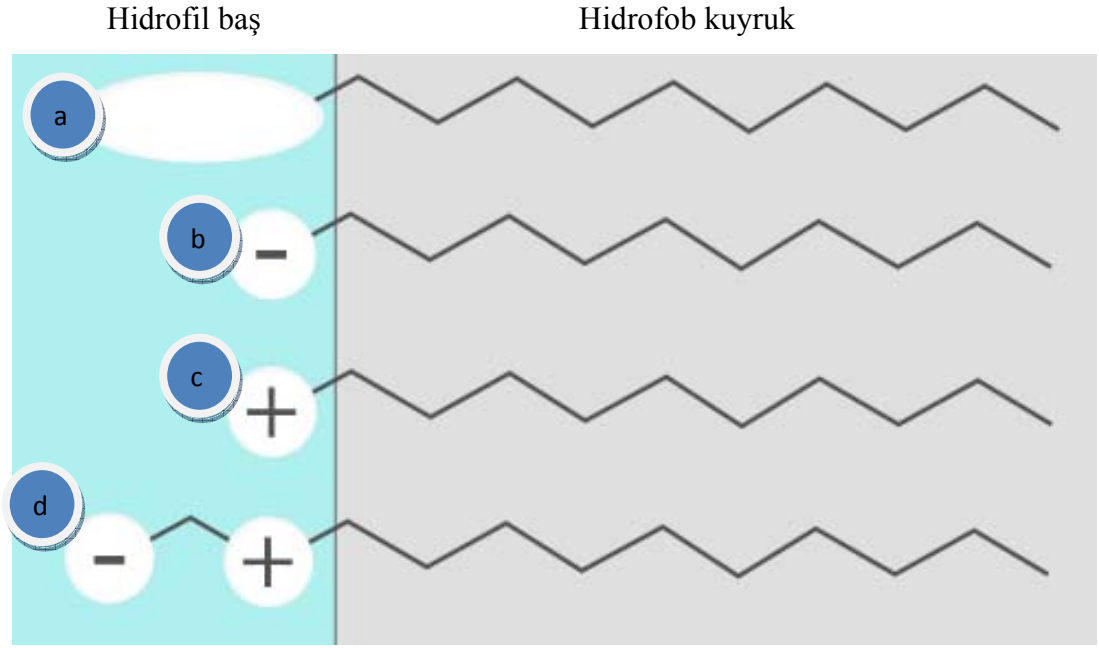
Şekil 2.3 Sürfaktan monomerlerinin misel oluşumu



Şekil 2.4 Sürfaktan misellerinin farklı şekilleri (mnh-tr.com/p21.html, 2010)

2.2.2 Sürfaktanların sınıflandırılması

Sürfaktanlar, polar baş grupların yapısına bağlı olarak sınıflandırılır (Şekil 2.5). Eğer baş grup negatif olarak yüklenmiş ise sürfaktan anyonik bir sürfattandır. Buna karşın katyonik sürfaktanlar pozitif yüklenmiş bir baş grup içerir. Yüksüz sürfaktanlar genellikle iyonik olmayan olarak adlandırılır. Hem negatif hem de pozitif olarak yüklenmiş grup içeren sürfaktanlar ise zwitter iyonik sürfaktanlardır (Holmberg vd. 2003).



Şekil 2.5 Surfaktanların sınıflandırılması (<http://en.wikipedia.org/wiki/Surfactant>)
a. İyonik olmayan b. Anyonik c. Katyonik ve d. Zwitter iyonik

2.2.2.1 Anyonik surfaktanlar

Anyonik surfaktanlarda polar baş grup olarak, karboksilat, sülfat, sülfonat ve fosfat bulunmaktadır. Anyonik surfaktanlar, surfaktanların büyük bir kısmını meydana getirir ve diğer surfaktan sınıflarına göre daha büyük miktarda kullanılmaktadırlar. Bunların daha çok kullanılmasının nedeni imalatının daha kolay ve ucuz olmasıdır. Karşıt iyon olarak çoğunlukla sodyum, potasyum, amonyum, kalsiyum ve değişik protonlanmış alkil aminler kullanılmaktadır. Sodyum ve potasyum suda çözünürlüğü artırırken, kalsiyum ve magnezyum yağdaki çözünürlüğünü artırır. Amin/alkanol amin tuzları hem yağ hem de suda çözünen ürünler verir. Bu surfaktan maddeler iyi temizleme özelliklerinden dolayı daha çok çamaşır ve bulaşık deterjanlarında ve şampuanlarda kullanılmaktadır.

(http://www.scienceinthebox.com/en_UK/glossary/surfactants_en.html, Holmberg vd. 2003).

2.2.2.2 Katyonik surfaktanlar

Katyonik surfaktanlar birçok yüzeyde güçlü olarak adsorplandığından dolayı yüzey modifikasyonlarında kullanılmaktadırlar. Katyonik surfaktanların büyük bir çoğunluğu, katyonik yük taşıyan azot atomuna dayanmaktadır. Hem amin hem de kuaterner amonyuma dayalı ürünler oldukça fazladır. Aminler, yalnızca protonlanmış durumda surfaktan olarak fonksiyon gösterirler, bu nedenle yüksek pH değerlerinde kullanılamazlar. Kuaterner amonyum bileşiklerinin pH'a karşı duyarlılığı yoktur. Kuaterner olmayanlar da çok değerlikli anyonlara karşı oldukça yüksek hassasiyete sahiptir (http://www.scienceinthebox.com/en_UK/glossary/surfactants_en.html, Holmberg vd. 2003).

2.2.2.3 İyonik olmayan surfaktanlar

İyonik olmayan surfaktanlar, diğer bütün surfaktan türleri ile uyumludur. Sert sulara karşı hassasiyetleri yoktur. İyonik surfaktanların tersine fizikokimyasal özellikleri, elektrolitler tarafından belirgin bir şekilde etkilenmez. Etoksilatlanmış bileşiklerinin fizikokimyasal özellikleri sıcaklığa çok bağlıdır. İyonik bileşiklerin tersine bunlar yüksek sıcaklıklarda suda daha az çözünür ve daha hidrofobik hale gelirler. İyonik olmayan surfaktantlar, polar grup olarak ya bir polietere ya da polihidroksil birimlerine sahiptir. İyonik olmayanların büyük bir kısmında polar grup, oksietilen birimlerinden oluşan bir polieterdir (Holmberg vd. 2003).

2.2.2.4 Zwitteriyonik surfaktanlar

Zwitteriyonik surfaktanlar en küçük surfaktan sınıfıdır. Bunlar genellikle asit ve bazlarda kararlıdır. Göz ve deride çok düşük tahribat gösterdiklerinden dolayı birçok türünün şampuan ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılması uygundur. Zwitteriyonik surfaktanlar, farklı işaretle iki yüklü grup içerirler. Pozitif yük, genellikle amonyumken, negatif yük kaynağı en yaygın olarak karboksilatlar olmasına rağmen değişebilir. Zwitteriyonikler, sık sık amfoterikler olarak adlandırılır (Holmberg vd. 2003).

Amfoterik bir surfaktan, düşük pH'dan yükseğe gidildikçe katyonikten zwitteriyonikler yolu ile anyoniğe değişir. Ne asit ne de baz merkezi, sürekli olarak yüküdür. Amfoterik surfaktanın pH değişimi ile yükünde meydana gelen değişim, doğal olarak köpük oluşturma, ıslatma ve temizleme gibi bazı özelliklerini etkiler. Bunlar tamamen çözeltinin pH değerine bağlıdır. İzoelektrik noktada fizikokimyasal davranışları genellikle iyonik olmayanlar ile benzerdir. İzoelektrik noktanın altında ve üstünde, katyonik ve anyonik karaktere doğru yavaş yavaş bir kayma olur.

DTAB, CTAB, HDTAB katyonik surfaktanları alkil amonyum bromürlerdir. Alkil amonyum bromürlerin genel formülü, C_nTAB biçimindedir. Burada n, bir tam sayıdır ve 8, 10, 12, 14, 16 gibi değerler alırlar. N sayısı moleküldeki alifatik zincirin uzunluğunu belirtmektedir. Örneğin: DTAB molekülünde n sayısı 12'dir. ($C_{12}TAB$). DTAB molekülünde bromür atomu iyonize durumdadır.

Çizelge 2.1 Surfaktanların sınıflandırılması

Tür	İsim
Anyonik	Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) Dodesil Benzen sülfonik asit sodyum tuzu (DBS) Sodyum stearat Potasyum <i>n</i> - oksalat
Katyonik	Dodesiltrimetil amonyum bromür (DTAB) Hegzadesiltrimetil amonyum bromür (HDTAB) Cetilpridium Klorol Monohidrat (CPCM) Alkiltrimetil amonyum bromür (CTAB)
İyonik Olmayan	Poli oksietilen alkol Alkilfenol etoksilat Polisorbat 80 Penta etilenglikolmonodesil eter
Zwitteriyonik	Dodesil betain Zwittergent 3-14 propil sülfobetain

Dodesilbenzen Sülfonik Asit Sodyum tuzu (DBS) ve Sodyum dodesil sülfat (SDS) ise anyonik surfaktanlardır. SDS kuyruk kısmını oluşturan 12 Karbon atomuna bağlı sülfat

gruptan oluşmaktadır, sülfat grup molekülün amfilik baş kısmı oluşturmaktadır. DBS ise kuyruk kısmını 18 karbon atomuna bağlı benzen ve sülfat grubundan oluşmaktadır.

2.2.3 Sürfaktan boya etkileşimleri

Sürfaktanlar tekstil endüstrisinde özellikle boyama işleminde ıslatıcı, boyayı yayıcı ve düzgün boya dağılımını sağlayıcı ajanlar olarak kullanılmaktadır. Anyonik azo boyalar olan Methyl Orange (MO) ve Congo Red (CR)'in farklı ikiz katyonik surfaktanlar ve Dodesiltrimetil amonyum bromür (DTAB) 'ün sıvı solüsyondaki etkileşimleri spektrofotometrik yöntemlerle araştırılmıştır. Sürfaktan boya arasında agregasyon surfaktan konsantrasyonu Kritik Misel Konsantrasyonu altında iken gerçekleşmektedir. Anyonik boya agregasyonu absorpsiyon bantı yoğunluğunda düşüşe neden olmuştur. İleri surfaktan eklenmesi surfaktan miselleri varlığında boyanın adsorbsiyon spektrum karakteristiğini etkilemiştir. Uzun menzilli elektrostatik kuvvetler ve kısa menzilli hidrofobik etkileşimler sıvı solüsyonlarda boya surfaktan agregasyonunu etkileyen en önemli faktörlerdir. İkiz katyonik surfaktanlar normal katyonik surfaktanlara göre anyonik boylarla daha güçlü kompleksler oluşturmaktadır. Kumaş boyama işleminde KMK değerinin altındaki düşük konsantrasyondaki surfaktanların boyanın daha düzgün dağılımını sağlayan ajanlar olarak kullanımı önerilmiştir (Bagha vd. 2007).

Asit boyalar ile surfaktan arasındaki etkileşimi ve boyların yün boyamadaki rollerini açıklamak için birçok araştırma yapılmıştır. Böyle etkileşimler spektrofotometrik ölçümlerle çalışılmıştır (Nemoto ve Funahashi 1981).

Sürfaktanlar ve boyların sulu çözeltilerdeki etkileşimleri boyama teknolojisi açısından önemlidir. Simoncic ve Span (1998) tarafından yapılan çalışmada anyonik azo boyalar olan C.I. Acid Orange 7 (A07) ve C.L Acid Red 88 (AR88) ile katyonik surfaktanlar olan Dodesil prinidyum klorit (DPC) ve Setilprinidyum klorit (CPC) ve anyonik surfaktan olan Sodyum dodesil sülfat (SDS) arasındaki etkileşimleri incelenmiştir. Sürfaktan katyon-hassas membran elektrotu ile potantiyometrik teknikler kullanılmıştır. Sürfaktan konsantrasyonunda ölçümler saf suda 25 °C'de yapılmıştır. Deneysel

ölçümler serbest ve bağlı surfaktan katyon konsantrasyonu ile boya surfaktan kompleks (K) formasyonu ve standart serbest entalpi değişimleri hesaplamaları ile ilgili opsiyon sağlamıştır. Aynı deney koşulları altında elde edilen sonuçlara göre CPC ve A 07 arasında kompleks oluşumu, DPC ve A07 arasındakine göre yüksek K değerleri ile beraber daha düşük surfaktan konsantrasyonlarında gerçekleşmiştir. Sonuçlara göre daha çok hidrofobik boya olan AR88'in kullanıldığı DPC- AR88 sisteminde ise boya surfaktan etkileşimleri DPC- A07 sistemindekine göre daha kuvvetlidir. Elektrostatik çekim etkileşimleri zıt yüklü boya ve surfaktanlar arasındaki kompleks oluşumu için çok önemlidir. Çalışmada aynı yüklü olan A07 ve SDS surfaktanı arasında herhangi bir kompleks oluşmadığını göstermiştir. Buna göre itici elektrostatik etkileşimler aynı yüklü A07 ve SDS 'nin kompleks oluşturmasını engellemiştir (Simoncic ve Span 1998).

Simoncic ve Kert (2002) anyonik azo boya olan C.I. Acid Red 88 (AR88) ile katyonik surfaktan olan Dodesiltrimetil amonyum bromür (DTAB) etkileşimleri DTAB ve iyonik olmayan surfaktan Triton X-100 (TX100) karışımında 25 °C'de DTAB katyon seçici elektrodu temelli potansiyometrik yöntemle araştırmıştır. Bu amaçla sıvı solüsyondaki mononükleer kompleks formasyonu kullanılmıştır. Farklı TX 100 konsantrasyonlarına sahip solüsyonlardaki DTAB- AR88 kompleksi oluşum için bileşik sabitleri (K_1) belirlenmiş ve ikili karışımlardan elde edilenlerle kıyaslanmıştır. Ortamdaki TX 100 miselleri DTAB- AR88 kompleksinin stabilizesini ve K_1 değerini düşürmüştür. K_1 değerindeki düşüş, solüsyondaki DTAB- TX 100 ile AR88- TX100 arası etkileşimlerden kaynaklanmıştır. TX100 hidrofobik ve hidrofilik dengeyi bozmuştur. Ortama TX 100 eklenmediği zaman hidrofobik karakterli anyonik boya olan AR88 katyonik surfaktan olan DTAB ile güçlü bağlar oluşturduğu görülmüştür (Simoncic ve Kert 2002).

Surfaktanların tayininde çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kolorimetrik yöntemle özellikle karşıt yüklü boyalarla surfaktan tayininin yapılabileceğini gösteren bilimsel kaynaklar vardır (Chirila vd. 2000).

Wang ve Langly (1975) Methyl Orange adlı boyayı kullanarak katyonik bir surfaktan olan Cetylmethyl benzyl ammonium chlorit'i spektrofotometrik olarak tayin etmişlerdir. Methyl Orange (MO) yönteminin temel prensibi asidik koşullarda kloroform ekstraksiyonuyla su kloroform faz ayrımıyla, spektrofotometrik ölçümleri ve boya ile katyonik surfaktanın oluşturduğu kompleksin oluşumunu içermektedir. Çalışmada su örnekleri pH'ı 3 olan tampon çözeltide 50 ml kloroform ve MO ile muamele edildikten sonra ortama 0.10 ile 1.25 mg l⁻¹ konsantrasyonları aralığında katyonik surfaktan eklenmiştir. Boya ve katyonik surfaktan kloroform çözeltisinde reaksiyona girerek boya surfaktan kompleksini oluşturmuştur. Kloroform sudan ağır olduğu için oluşan yoğunluk farkından dolayı kloroform fazı su fazından ayrılmıştır. Kloroform tabakasındaki MO kompleksinin oluşturduğu sarı ışık yoğunluğu spektrofotometrik olarak ölçülebilmektedir. Oluşan kompleksin 300 ile 500 nm dalga boylarında absorpsiyon eğrisi oluşturulmuş ve oluşturulan bu eğride hem 50 hem de 100 mikrogram surfaktan örneklerinin maksimum absorpsiyonunun 415 nm'de gerçekleştiği tespit edilmiştir (Wang ve Langly 1975).

Torralba vd. (2005) anyonik surfaktan olan sodyum dodesil sülfat (SDS)'in surfaktan konsantrasyonu temeline dayalı olarak spektrofotometrik tayini yapmıştır. Referans yöntemin temeli anyonik surfaktan SDS nin katyonik boya olan Metilen Blue (MB) nun kloroform ekstraksiyonunda reaksiyona girmesine dayanmaktadır. Surfaktan konsantrasyonu 0.2 ile 1.7 mg l⁻¹ arasındadır. Referans yöntem kullanılarak yıkama suyu örneklerinden elde edilen sonuçlar farklılık göstermemekle birlikte % 95'lik güvenilirliğe sahiptir. Bu yöntem aynı zamanda çevre dostu bir yolla sudaki surfaktan miktarını belirlemeyi sağlamıştır (Torralba vd. 2005).

2.2.4 Surfaktanların boya gideriminde kullanımı

Son yıllarda yapılan çalışmalar, tekstil boyalarının sıvı ortamlardan uzaklaştırılmasında surfaktanların kullanımı ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Surfaktanlar daha çok adsorban maddelerin modifiye edilmesi amaçlı kullanılmıştır (Chatterjee vd. 2009, Özdemir vd. 2009, Sudipta vd. 2009).

Janos ve Smidova (2005) tarafından yapılan çalışmada basit boyalar olan Metilen Blue, Malaşit Yeşili, Rodamin B ve Kristal Viyoletin farklı özellikteki surfaktan varlığında Demir Humat adlı sorbent kullanılarak sorpsiyonu araştırılmıştır. Surfaktanlardan iyonik olmayan Triton X 100 ve katyonik olan Cetiltrimetil amonyum bromürün çok az etki gösterdiği saptanmıştır. Buna karşın düşük konsantrasyondaki anyonik surfaktan olan Sodyum dodesil sülfat (SDS) katyonik olan boyaların sorpsiyonunu artırmıştır. Surfaktan konsantrasyonu yüksek olduğunda ise sorpsiyonda azalma gözlenmiştir. Bu durumun surfaktan misellerinin oluşumu ve misellerin boyayı çözmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Buradaki mekanizma pseudo-second-order kinetik eşitliği ile açıklanmıştır. Boya sorpsiyon oranının kontrolündeki ana mekanizma difüzyon olarak tanımlanmıştır (Janos ve Smidova 2005).

Yapılan diğer bir çalışmada ise iyonik olmayan surfaktan triton TX-100 (TX-100) ve anyonik surfaktan sodyum dodesil sülfat (SDS) emdirilmiş Sitozan hidrojel (CS) tanelerinin anyonik boya olan Congo Red'in sıvı sistemden uzaklaştırılmasındaki performansı araştırılmıştır. CS/TX-100 tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi tüm TX-100 (% 0.005- 0.1) konsantrasyonlarında artmıştır. CS/SDS tanelerinde ise SDS nin konsantrasyonu % 0.01'in üzerinde artmaya devam ettiği sürece tanelerin adsorpsiyon kapasitesi düşmüştür. Kuru ağırlıktaki adsorpsiyon kapasitesi CS/TX 100 için 318.47 mgg⁻¹ ve CS/SDS için 223.25 mgg⁻¹ olarak belirlenmiştir. CS tanelerine iyonik olmayan surfaktan emdirilmesi şeklindeki modifikasyon anyonik boya adsorpsiyonunu artırıcı etki göstermiştir (Chatterjee vd. 2009).

Özdemir vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada; surfaktanla modifiye edilmiş zeolitin gerçek tekstil atık suyundan boya giderimini araştırmıştır. Denemeler tam yataklı kolon reaktöründe, zeolitin yüzeyi katyonik surfaktan olan Hegzadesiltrimetil amonyum bromür (HTAB) ile modifiye edilerek yapılmıştır. Boya gideriminde en iyi performans 1 g l⁻¹ HTAB konsantrasyonu ile modifiye edilmiş zeolit ve HTAB akış hızı 0.0015 l min⁻¹ olduğu zaman gerçekleşmiştir. Atık su boya yoğunluğu, akış hızı ve yatak yüksekliği gibi faktörlerin etkisi de araştırılmıştır. Atık su %25, %50 ve %75 gibi oranlarda seyreltilerek atık su sertliğinin etkisine de bakılmış. Doğal zeolit için en uygun modifikasyon koşulları düşük surfaktan konsantrasyonunda (1 gl⁻¹) ve 0.015

l_{min}^{-1} akış hızında belirlenmiş olup, en yüksek boya giderimi bu koşullarda gözlenmiştir. Katyonik surfaktan anyonik olan zeolitin yüzeyini sarmış ve anyonik boyanın adsorpsiyonunu artırarak, boya giderimini olumlu yönde etkilemiştir (Özdemir vd. 2009).

2.3 Atık Su

Endüstri kuruluşlarından, imalathanelerden, atölyelerden, tamirhanelerden, küçük sanayi sitelerinden ve organize sanayi bölgelerinden kaynaklanan her türlü işlem ve yıkama artığı suları, proses suları ile karıştırılmadan ayrı olarak işlem görüp uzaklaştırılan kazan ve soğutma suları endüstriyel atık su olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2004).

2.4 Atık Su Arıtım Yöntemleri

Atık su arıtımı, suların çeşitli kullanımlar sonucu atık su haline dönüşerek yitirdikleri kimyasal, fiziksel ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin biri veya bir kaçı olarak tanımlanabilir. Atık su arıtımı ile ilgili birçok yöntem geliştirilmiştir (Slokar ve Marechal 1998, Forgacs vd. 2004). Genel olarak atık su arıtımını fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım olmak üzere üç gruba ayırılır (Clark vd. 1971, Sundstorm 1979, Tezer 2002).

2.4.1 Fiziksel arıtım yöntemleri

Kirletici maddelerin fiziksel özelliklerine (maddenin boyutları, vizkozitesi ve özgül ağırlığı) bağlı olarak uygulanan arıtma yöntemleridir. Fiziksel arıtma yöntemlerinden bazıları;

- Izgaralar
- Kum tutucular

- Çökeltme tankları
- Filtrasyon havuzları (Kocaer ve Alkan 2002, Cing 2001)'dir.

2.4.2 Kimyasal arıtma yöntemleri

Kirletici maddelerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak, dışarıdan kimyasal madde eklemek suretiyle yapılan arıtma yöntemleridir. Bu yöntemler;

- Koagülasyon ve Flokleştirme (Robinson vd. 2001).
- İyon Değişiriciler
- Klorlama
- Ozonlama (Perkins vd. 1995)'dir.

2.4.3 Biyolojik arıtma yöntemleri

Biyolojik arıtma yöntemleri; atık sudaki çözülmüş organik kirleticilerin biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda uzaklaştırıldığı yöntemlerdir. Bunlardan bazıları;

- Biyolojik filtreler
- Aktif çamur ve modifikasyonları (Başbüyük vd. 1998)
- Stabilizasyon havuzları ve modifikasyonları.
- Anaerobik sistemler'dir (<http://www.biotecharticles.com/Environmental-Biotechnology-Article/Methods-of-Wastewater-Treatment-353.html>, 2010).

Bu yöntemde kirletici maddeler mikroorganizmalar tarafından atık su ortamından uzaklaştırılır. Atık suların biyolojik arıtımında kullanılan başlıca mikroorganizmalar; bakteriler, mantarlar ve alglerdir (Dönmez 2002, Sadettin ve Dönmez 2007).

Biyolojik arıtım yöntemleri tekstil endüstrisi için önerilen fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemlerine göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin düşük olması veya alıcı ortamlar için daha az zararlı yan ürünlerin oluşması gibi avantajlarından dolayı tekstil endüstrisi

atık sularının arıtımı için en uygun çözüm olarak kabul edilmiştir (Kocaer ve Alkan 2002).

Son yıllarda en çok araştırılan konular arasında tekstil atık sularındaki en önemli kirlilik kaynağı olan boyaların mikrobiyal hücreler üzerinde adsorpsiyonu yer almaktadır. Bu amaçla bakteri, maya, fungus ve alg gibi değişik tipte organizmalar boyaların sulu ortamlardan giderimi için kullanılmaktadırlar (Özmihçi ve Kargı 2004).

Son yıllarda geliştirilen biyolojik yöntemlerde yer alan mekanizmalar; biyodegradasyon, biyobirikim ve biyosorpsiyon'dur.

2.4.3.1 Biyodegradasyon

Biyolojik araçlarla kimyasal bileşiklerin parçalanmasına biyodegradasyon denir. Bu işlevin tam olarak yapılmasına ise minerilizasyon denir. Örneğin organik bir molekülün su, karbondioksit ve ya diğer inorganik bileşenlerine kadar parçalanması. Belli bir grup mantarda boya giderimi esnasında biyodegradasyon yapabilmektedir. Boya degradasyonu ve minerilizasyonu beyaz kök mantarları tarafından başarılı bir şekilde yapılmaktadır (Kaushik ve Malik 2009).

2.4.3.2 Biyosorpsiyon

Organik kirleticilerin ve boya veya ağır metal gibi inorganik kirleticilerin biyolojik materyal kullanılarak sıvı ortamdan uzaklaştırılmasına biyosorpsiyon denir. Biyolojik materyal olarak bakteri, mantar ya da alglerden elde edilen ölü yada canlı mikrobiyal biyokütle kullanılmaktadır (Aksu ve Karabayır 2008).

2.4.3.3 Biyobirikim

Biyobirikim mikroorganizmaların kirleticileri hücre yapısına alarak biriktirme yeteneğinden yararlanılması temeline dayanan bir yöntemdir. Genellikle arıtım yapay besin ortamlarında gerçekleşir. Böylelikle boya içeren atık sularda üreyebilen

mikroorganizmaların üreme verimi arttırılır, dolayısıyla bünyelerinde biriktirdikleri kirletici derişimi artar (Dönmez 2002).

Atık ve çevre biyoteknolojisinin en önemli amaçlarından birisi atıkların içeriğini doğanın parçalayabileceği düzeye indirgemektir. Normalde doğada mikroorganizmalar belirli bir hızda organik molekülleri yıkar. Biyolojik arıtım yöntemleri de doğadaki arıtım modellerinin modifiye şeklidir. Biyoteknoloji çalışmalarında bu modeller erlenlerle, havuzlarla, fermentörlerle uygulanarak en uygun arıtım koşulları belirlenir.

2.5 Tekstil Atık Suyundan Boya Gideriminde Fungusların Kullanımı

Tekstil atık suyundan boyaların gideriminde fungusların kullanımı ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Boya gideriminde kullanılan funguslar arasında *Phanerochaete chrysosporium* (Cripps vd. 1990, Ollikka vd. 1993, Fu ve Viraraghavan 2001), *Trametes versicolor* (Heinfling vd. 1997, Swamy ve Ramsay 1999, Demir vd. 2004), *Coriolus versicolor* (Knapp ve Newby 1999, Kapdan vd. 2000, Asgher vd. 2008), *Rhizopus arrhizus* (Aksu ve Tezer 2000, Aksu vd. 2010), *Aspergillus niger* (Fu ve Viraraghavan 2002, Ali vd. 2008, Taskin ve Erdal 2010), *Aspergillus versicolor* (Tastan vd. 2010) gibi türleri sayabiliriz.

Yapılan çalışmalarda fungusların boya gideriminde özellikle ligninolitik enzimlerin rol aldığı vurgulanmıştır. Tekstil endüstrisinde boyaların renk gideriminde yer alan üç fonksiyonel enzimin Lignin peroksidaz (LiP), Mangan peroksidaz (MnP) ve H₂O₂ bağlı peroksidazlar olduğu belirtilmiştir. Lakkaz'da belirli türler tarafından salgılanan diğer bir fonksiyonel enzimdir (Beilen ve Li 2002). *Candida oleophila* (Lucas vd. 2006) ve *Candida tropicalis* (Dönmez 2002, Aksu ve Dönmez 2005) türleri boya giderimi yaptığı bilinen mayalar arasındadır.

Cripps vd. (1990) *P.chryosporium* fungusunun azo ve heterosiklik boya Orange II, Tropaeolin O, Congo Red, Azure B boyalarını biyolojik olarak yıktığını göstermiştir. Bu çalışmada boya giderimi oranının boya kompleksliği, azot varlığı ve kültürdeki ligninolitik aktiviteye bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Düşük azot

konsantrasyonunda boyanın %90'ı yüksek azot konsantrasyonunda ise boyanın %63-93'ü giderilmiştir. Genellikle azot sınırlamasının sağlanması, ligninolitik aktiviteyi arttırmıştır. Lignin peroksidaz ve Mn bağımlı peroksidaz aktivitesi arttırılması sonucunda renk gideriminin arttığı gözlenmiştir (Cripps vd. 1990).

Beyaz çürükçül fungus olan *T. versicolor* kültür filtratının Orange II boyasının renk giderimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Renk giderim hızı ve genişliğinin fungus tam kültür süzüntüsünün yaşına (üreme safhasına) bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. 12 gün üretilmiş *F. trogii*, *Pleurotus sajor-caju* ve *P. chrysosporium* ME446 kültür filtratlarının da renk giderim yetenekleri araştırılmıştır. *P. chrysosporium* ME446 kültürü kullanılan 4 boyanın hiçbirinin rengini giderememiştir. Enzim inhibitörü olan siyanid ve azid, kültür filtratının boyarmadde giderim yeteneğini inhibe etmiştir. Kültür filtratının ısı ile muamelesi de renk giderim aktivitesini sonlandırmıştır. Bu çalışmada elde edilen renk giderim aktivitesi mangan bağımsız bir aktivitedir. Sonuçlar Orange II'nin renginin gideriminde hem H₂O₂ bağımlı ve hem de H₂O₂ bağımsız enzimlerin rol oynayabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada kültür süzüntüsünün yaşı ile boya giderim aktivitesinin ilişkisi olduğu ortaya çıkmıştır (Yeşilada ve Özcan 1998).

Çok geniş türlere sahip olan beyaz kök fungusları kimyasal endüstri atıklarındaki diazo bağlı kromofor içeren boya giderimini başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Kimyasal endüstri atığı olan ve kromofora sahip olan stilbene sulfonik asit giderimi 390 nm dalga boyunda pH 7 de takip edilmiştir. Çalışmada 5 farklı tür olan *P. chrysosporium* 586, *C. versicolor* D, *Piptoporus betulinus*, *Pleurotus ostreatus* ve *C. versicolor* M kültürleri denenmiş ve %70-80 boya giderimi tespit edilmiştir. Bu türler içinde en başarılısının *C. versicolor* türü olduğu görülmüştür. Beş türde nitrojen sınırlı besi yerinde atık suyun %5 ile %40 arasında renk giderimini gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kimyasal endüstri atıklarının biyolojik arıtımında kullanılabilecek potansiyele sahip 5 farklı beyaz kök funguslarını göstermiştir (Knapp ve Newby 1999).

Abadulla vd. (2000) tarafından yapılan diğer bir çalışmada *Trametes hirsuta* türü ve bu organizmadan saflaştırılan Lakkaz enziminin alüminyum üzerine sabitleştirildiği bir membran reaktör sistemi kullanarak triarylmethane, indigoid, azo ve anthraquinonic

boyarlarının renk giderimini ve boyaların toksisitelerinin azaltılması araştırılmıştır. Lakkazın alüminyum üzerine sabitleştirilmesi ile enzimin termal stabilitesinin ve halojenler bakır şelatörler ve boya eklenmesi gibi bazı enzim inhibitörlerine karşı toleransının artırılması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda anthraquinonic ve indigo carmine (Acid Blue 7)'nin azo boyalardan 2 kat daha hızlı parçalandığı gözlenmiştir. Ve anthraquinonic boyaların biyoreaktör sisteminde %80 oranında toksisitesinin azaldığı saptanmıştır (Abadulla vd. 2000).

Tekstil boyaları olan Dimaren Blue X3LR ve Remazol Brilliant Blue R'nin renk giderimi için iki farklı beyaz çürükçül fungus türü kullanmıştır. *P. chrysosporium* ME 446 türü tüm çalışma aşamalarında inkübasyon periyotları boyunca belirgin bir renk giderimi sağlayamamıştır. *F. trogii* türü Dimaren Blue X3LR için 50 mg l⁻¹ konsantrasyondaki boyayı 4 saate %92 oranında, 100 mg l⁻¹ konsantrasyondaki boyayı 8 saate %92 oranında ve 200 mg/L konsantrasyondaki boyayı 10 saate %98 oranında gidermiştir. *F. trogii* türü Remazol Brilliant Blue R için ise 50 mg l⁻¹ konsantrasyondaki boyayı 8 saate %87 oranında, 100 mg l⁻¹ konsantrasyondaki boyayı 12 saate %92 oranında ve 200 mg l⁻¹ konsantrasyondaki boyayı 16 saate %96 oranında renksizleştirdiği rapor edilmiştir (Özsoy ve Ünyayar 2001).

Minussi vd. (2001), 4 adet çürükçül fungusun (*T. versicolor*, *Trametes villosa*, *P. chrysosporium* ve *Lentinus edodes*) katı besiyerinde hazırlanan kültürlerini tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan reaktif boyaların (Reactive Blue 19, Reactive Red 195, Reactive Yellow 145 ve Reactive Black 5) renk gideriminde kullanılmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda tüm boyarmaddelerin renginin giderildiği gözlenirken en hızlı renk giderimi *L. edodes* türü tarafından gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Bu tür 7 gün içinde tüm boyaların renklerini tamamen gidermiştir.

Shin vd. (2002), Hint keneviri üzerine sabitleştirdikleri *T. versicolor* ATCC 20869 suşunun renk giderim aktivitesini araştırmışlardır. 4 haftalık inkübasyon süresi sonunda, sabitleştirilmiş fungusun Amaranth boyasının (50 mg l⁻¹) rengini glikoz eklemesi yapılmaksızın 5 mg l⁻¹ h⁻¹ oranında giderdiği belirlenmiştir. 1 g l⁻¹ glikoz eklemesi yapıldığında boyanın çok daha hızlı (8 mg l⁻¹ h⁻¹) parçalandığı gözlenmiştir. Bu çalışma

sonucunda renk giderimi siklusunun sayısı arttıkça giderim veriminin azaldığı anlaşılmıştır.

Mohorcic vd. (2004), kültüre edilmiş funguslarca (*Bjerkandera adusta*, *Irpex lacteus* ve *Hypoxyton fragiforme*) Reactive Black 5 sentetik tekstil boyasının renginin giderimini çalışmışlardır. Bu çalışmada fungal aktivite besiyerinin renginin değişimine bağlı olarak değerlendirilmiştir. *B. adusta* türü içeren sıvı kültürlerde 10 günden daha kısa bir sürede besi yerinin renginin siyah-mavi'den sarı renge dönüştüğü gözlenmiştir. Bu fungus misellerle sabitleştirilmiş 5L'lik bir karıştırmalı tank biyoreaktöründe kültüre edilmek için seçilmiştir. Bu reaktörde 0.2 gl⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda boyarmaddenin rengi 20 günde giderilmiştir. 3 farklı dalga boyundaki (436, 525 ve 620 nm) spektral absorpsiyon katsayıları göz önünde bulundurulduğunda final sıvısının rengi hemen hemen ekolojik olarak kabul edilebilir bir seviyededir. Oksidatif enzimler (Lakkaz, Lignin peroksidaz, Mn (mangan) bağımlı ve Mn-bağımsız peroksidaz)'in aktivitelerinin ölçümleri, *B. adusta* türü tarafından Reactive Black 5 diazo boyasının renginin gideriminden Lignin peroksidaz ve Mn-bağımlı peroksidaz'ın sorumlu olduğunu göstermiştir.

Machado vd. (2005), Remazol Brilliant Blue R (RBBR) tekstil boyasını tropikal ekosistemden izole edilmiş 125 basidiomycete fungusunda ligninolitik aktiviteyi değerlendirmek amacıyla substrat olarak kullanmışlardır. Seçilmiş bu funguslar katı besiyerinde geliştirildiğinde ekstrasellüler renk giderim aktivitesi göstermişlerdir. Ayrıca organoklorinlerle kontamine olmuş toprakta da renk giderim aktivitesi incelenmiştir. 106 fungus malt extract agarda (MEA, %2) gelişmesi sırasında RBBR boyasının rengini gidermiştir. Bu 106 fungusun 96'sı referans olarak kullanılan *P.chrysosporium* türünden daha güçlü misel gelişimi ve renk giderim aktivitesi göstermiştir. Şeker kamışı posası (B6S) içeren katı besiyerinde geliştirilen 35 fungusun ekstrasellüler ekstralarının renk giderimi ve peroksidaz aktivitesi araştırılmıştır. Bu fungusların tümü peroksidaz aktivitesi göstermiştir, fakat bunların 5'i RBBR boyasının rengini giderememiştir. Ligninolitik enzimlerin farklı şekilleri 12 fungus ekstraktında belirlenmiştir. Mn-bağımlı peroksidaz (MnP) *Peniophora cinerea*, *Psilocybe castanella*, *Trametes villosa* türüne ait 3 suş, *T. versicolor*, *Melanoporia nigra* ve *Trichoptum byssogenum* türleri tarafından üretilmektedir. 12 fungusun tümünün Lakkaz aktivitesine

sahip olduğu belirlenmiştir. *Trogia buccinalis* türü en yüksek renk giderimi aktivitesi gösterirken MnP üretmemektedir. MnP üretmeksizin RBBR'nin renk giderimi Lentinum'un 3 suşunda da gözlenmiştir. Peroksidaz ve Lakkaz'ın yüksek seviyeleri ile RBBR'nin renginin giderimi arasında bir bağlantı saptanamamıştır. Ekstraselüller eksratlarca RBBR'nin renginin giderimi *P.castanella*, *L.crinitus*, *P.cinerea* ve *T.villosa* türünün 2 suşunun pentaklorofenol ve teksaklorobenzenle kontamine olmuş topraklarda gelişimleri boyunca da belirlenmiştir. Bu funguslar organoklorin bileşiklerin varlığında geliştirildiklerinde steril topraklara oranla daha yüksek renk giderimi göstermişlerdir (Machado vd. 2005).

T. versicolor türünden saflaştırılmış Mangan peroksidaz (MnP) Mn bağımlı reaksiyonlarla azo boyalar olan Amarant, Reaktif Black 5 ve Cibacron Brilliant Yellow gibi boyaların giderimini gerçekleştirebilirken, anthraquinon boya olan Remazol Brilliant Blue R (RBBR) giderimini gerçekleştirememiştir. Buna karşılık saflaştırılmış Lakkaz RBBR giderimini azo boyalara göre çok daha hızlı gerçekleştirmektedir. Amarant ve RB5 azo bağlarıyla ilişkili orto pozisyonunda hidroksil grup ve meta pozisyonunda sülfonat grup içerdiği için MnP peroksidaz tarafından hızlıca parçalanmıştır (Champagne ve Ramsay 2005).

Tunus'un kuzeybatısındaki çürümüş akasya ağaçlarından izole edilen *T. trogii* B6J suşunun katı besi yerinde tekstil boyalarının renklerini giderdiği belirlenmiştir. Renk giderimi, besiyerine Cu^{+2} eklendiğinde daha hızlı olmasına rağmen Cu^{+2} varlığında ve yokluğunda da gerçekleşmiştir. Fungus Neolane Blue, Neolane Yellow, Neolane Pink ve Bezaktiv S-BF Turquoise boyalarının renklerini yüksek değerlerde giderirken Basacryl Yellow ve Maxilon Blue içeren plaklarda Cu^{+2} varlığında bile fungusun gelişimi ve renk giderimi kabiliyetinin yavaşladığı gözlenmiştir. Benzer sonuçlar bu fungusun saflaştırılan Lakkaz enzimi ile yapılan çalışmada da elde edilmiştir (Mechichi vd. 2006).

Üç beyaz kök fungusu olan *Pleurotus ostreatus* (*P. ostreatus*), *C. versicolor* ve *F. trogii* türlerinin Remazol Brilliant Blue Royal (RBBR) ve Dimeran Blue CL-BR (DB) boyalarının giderimi üzerine çalışılmıştır. Boya giderim deneyleri 48 saatlik statik koşullarda 30°C'de ve pH 5'de yapılmıştır. Çalışmada pH değeri, kuru ağırlık, boya

konsantrasyonu, Lakkaz aktivitesi ve protein içeriği analiz edilmiştir. Lakkaz her iki boyanın gideriminden sorumlu olan enzimdir. En yüksek ve en düşük boya giderimi *F. trogii* ve *P. ostreatus* türleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Tüm boya konsantrasyonları *P. ostreatus* türünün büyümesinde toksik etki yapmıştır, sadece 60 mg l⁻¹ DB *C. versicolor* için toksik etki göstermiştir. En yüksek ve en düşük Lakkaz aktivitesi *F. trogii* ve *P. Ostreatus* türlerinde belirlenmiştir. SDS-PAGE deneyleri sonucunda DB ve RBBR'nin gideriminden sorumlu enzimin Lakkaz olduğu tespit edilmiştir (Erkut vd. 2007).

2.5.1 *Aspergillus* cinsine ait türlerin boya gideriminde kullanımı

Aspergillus, dünyanın her yerine yayılmış yaklaşık 200 fungus türünden oluşmuş bir cinstir. Yuvarlak hücrelerden oluşmuş mayalardan farklı olarak, *Aspergillus* türleri hif olarak adlandırılan hücre zincirlerinden oluşan iplikli fungus türleridir.

İzole edilen *Aspergillus foetidus* fungusu Dimeran adı verilen azo reaktif boyalarını içeren besiyerini başarılı bir şekilde renksizleştirmiştir. 48 saatte büyüyen kültür %95 boya giderimi yapmıştır. Yapılan çalışmada renksizleştirme işlemi fungusun eksponansiyel büyüme fazında glikoz gerekliliğinde gerçekleşmektedir. Fungus karışık boya içeren besiyerinde 72 saatlik büyüme süreci sonunda besi yerini renksizleştirmiştir. Boya konsantrasyonu arttıkça boya giderim yüzdesi düşmüştür. Fungus 5 mg l⁻¹ krom ve %1 Sodyum klorit içeren besi yerinde hem gelişme göstermiş hem de boya giderimini gerçekleştirmiştir. Nişasta besiyerinde gelişimi ve boya giderim işlemini sağlayan ucuz ve alternatif karbon kaynağı olarak kullanılmıştır (Sumathi ve Manju 2000).

Aspergillus ochraceus NCIM-1146 kültürünün tekstil boyası olan Reaktif Blue -25 boyasının giderimi üzerine araştırma yapılmıştır. Spektrofotometrik ve gözlemsel denemeler göstermiştir ki renk giderimi fungal adsorpsiyonu takip eden biyoparçalanma sonucu oluşmaktadır. 7 saat boyunca çalkalamalı ortamda gerçekleştirilen fungus 100 mg l⁻¹ Reaktif Blue -25'i 20 saat sonunda giderimini gerçekleştirmiştir. Besiyerine glikoz eklendiğinde daha hızlı adsorpsiyon ve 7 gün sonunda renk giderimi tespit edilmiştir (Parshetti vd. 2007) .

Aspergillus niger türü tarafından tekstil boyası olan Direk Viyolenin giderimi araştırılmıştır. pH 2, 3, 8 ve 9 da %92.4, %64.0, %91.4 ve %62.3 şeklinde en yüksek boya giderimi gözlemlenmiştir. Deneilerin sonunda sentetik boya COD değerini %76-91 düşürmüştür. Biyosorpsiyon oranları ve boya giderimi pseudo 1. ve 2. Sıralı kinetik modellerle değerlendirilmiştir (El-Rahim vd. 2009).

Fu ve Viraraghavan (2002) tarafından yapılan çalışmada ölü *A. niger* kültürünün biyosorpsiyon mekanizması ile anyonik direk boya olan Congo Red'in atık sudan uzaklaştırması üzerine çalışmıştır. NaHCO₃ ile muamele edilmiş biyokütlenin biyosorpsiyonunda pH, kinetik ve izoterm çalışmaları yapmışlardır. Biyosorpsiyonun en iyi gerçekleştiği pH değeri pH 6 olarak belirlenmiştir. *A. niger* biyokütlesiyle Congo Red biyosorpsiyonunda Langmuir, Freundlich ve BET modellerinin uygun olmadığı ve Radke_Prausnitz modelinin uygun olduğu görülmüştür. Fungal biyokütle 14.16 mgg⁻¹ boya giderim kapasitesi göstermiştir.

Karboksi metil selüloz üzerine immobilize edilmiş gelişmekte olan *Aspergillus fumigatus* türünün Reaktif Brilliant Blue KN-R boyası gideriminde başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada boya giderimindeki dominant mekanizma biyobirikim olarak kabul edilmiştir. Spektrofotometrik değerlendirmeler ve 3 set halinde yapılan deneyler sonucunda gelişmekte olan immobilize *A. fumigatus* fungusu boya giderimi metabolizma bağımlı biyobirikim ve metabolizma bağımsız biyosorpsiyon mekanizmaları tarafından gerçekleştirmektedir. Biyosorpsiyonda miseller arasına hapsolan boyanın immobilize matrikse adsorpsiyonu şeklinde gerçekleşmektedir. TEM şekilleri boyanın misellerin hücre içi yapısında toksik etki yaptığını göstermiştir. Araştırma bulgularına göre *A. fumigatus* fungusunun Reaktif Brilliant Blue KN-R boyasına 114.7 mg l⁻¹ nin altındaki başlangıç boya konsantrasyonlarında toleransı vardır. Başlangıç boya konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal gelişme olumsuz etkileniyor ancak boya giderim kapasitesi çok etkilenmiyor ve maksimum giderim kapasitesi 374.4 mg l⁻¹ başlangıç boya konsantrasyonunda 190.5 ± 2.0 mgg⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Wang ve Yong-You 2008).

Melashlı ortamda geliştirilen *A. versicolor* fungusunun Reaktif Remazol Blue boyası ve ağır metal giderimi araştırılmıştır. Melashlı besiyerinde pH 5 ve pH 6 da fungus

tarafından boya giderimi farklı boya konsantrasyonlarında denenmiş ve boyakonsantrasyonu artıkça boyarmadde gideriminin azaldığı tespit edilmiştir. *A. versicolor* fungusunun 7 günlük inkübasyon süresi sonunda pH 5'te 31.7 mg^l⁻¹ ve pH 6'da 25.4 mg^l⁻¹ Remazol Blue boyası olan ortamda % 100 boya giderimini gerçekleştirdiği saptanmıştır (Taştan vd. 2010).



Şekil 2.6 *Aspergillus versicolor*

(http://americasbestairandwater.com/12955.html?*session*id*key*=*session*id*val*, 2010)

2.5.2 *Rhizopus* cinsine ait türlerin boya gideriminde kullanımı

Filamentli bir fungus cinsi olan *Rhizopus* sporlarla ürer ve hızlı bir şekilde gelişme özelliğine sahiptir. Doğada yaygın bir şekilde bulunmaktadır. *Rhizopus* cinsine ait türlerin boya giderimi ile ilgili çalışmalar literatürde mevcut bulunmaktadır. Yapılmış çalışmalarda daha çok ölü mikroorganizma biyokütlesi kullanılmıştır.

Bir zygomycete olan *Rhizopus oryzae* türünün tekstil atık sularındaki boyaların rengini giderdikleri ve kimyasal beyazlatıcılar gibi toksik bileşikleri parçaladıkları saptanmıştır. Bu fungusların optimal sıcaklığı (25-45 °C) ve pH (3-5) ayarlanmış 1 g l⁻¹ glikoz içeren besiyerinde 24 saat içerisinde rengin %92-95'i, kimyasal oksijen ihtiyacının %50'si, adsorblanabilir organik halojenlerin %72'si ve konsantre edilebilir halojenlerin %37'sini giderdiği gözlenmiştir. Çalışmada patates dekstroz broth besiyerinde gelişmekte olan *R. oryzae* türünün süpernetant ve biyoküttele boya

gideriminde rol alan ligninolitik enzimler olan lignin peroksidaz (LiP), mangan peroksidaz (MnP) ve Lakkaz enzimlerinin aktivitesi araştırılmıştır. Enzim çalışmaları göstermiştir ki her üç enzim aktivitesinin de kültür süpernetantında bulunmadığı saptanmıştır. Buna karşılık biyokütlede 7. günde maksimum MnP aktivitesi ($0.08 \pm 0.005 \text{ Ug}^{-1}$ misel) ve 6. günde en yüksek Lakkaz aktivitesi ($0.30 \pm 0.02 \text{ Ug}^{-1}$ misel) tespit edilmiştir. Her iki enzimde boya gideriminde önemli rol oynamaktadır. *R. oryzae*'nin boya gideriminde bu enzimlerin etkili olduğu gösterilmiştir (Nagarathnamma ve Bajpai 1999).

Fırında kurutulmuş *R. arrhizus* biyokütlesi tarafından yaygın olarak kullanılan 3 reaktif boyanın pH, başlangıç boya ve metal iyon konsantrasyonunun biyosorpsiyonuna etkisi araştırılmıştır. Biyokütle asidik ortamda pozitif yüklenmekte ve boya da anyonik yapıdadır, dolayısıyla pH 2 de en yüksek boya alımı gerçekleşmiştir. Reactive Orange 16 boyası fungus tarafından 200 mgg^{-1} olarak maksimum adsorpsiyonla alınmıştır. Ortamda yüksek konsantrasyonda Kadmiyum bulunması biyokütlenin adsorpsiyon kapasitesini belirgin olarak etkilememektedir. Tüm boyalar için %100 giderim gerçekleşmiştir (O'Mahony vd. 2002).

Filamentli fungus olan kurutulmuş *R. arrhizus* fungusu tarafından metal kompleks boya olan Yellow RL'nin biyosorpsiyonuna başlangıç solüsyonu pH sınırı, boya konsantrasyonunun ve Sodyum klorit tuzu konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır. Tuzun varlığında ve yokluğunda fungusun maksimum boya giderimi pH 2 de gerçekleşmiştir. Boya konsantrasyonu 1000 mg l^{-1} ve tuz konsantrasyonu ise 50 mg l^{-1} ye kadar çıkartıldığında boya gideriminde artış görülmüştür. Fungusun 100 mg l^{-1} kuru biyokütlesi tuzun bulunmadığı ortamda 85.4 mgg^{-1} boya giderimini gerçekleştirmiştir. Biyosorpsiyon ortamına tuz eklendiğinde ise bu değer 60.8 mgg^{-1} olmakta ve biyosorpsiyon kapasitesi %28.8 azalmaktadır. Redlich–Peterson ve Langmuir–Freundlich modelleri biyosorpsiyon eşitliği verilerini açıklamak için uygun bulunmuştur (Aksu ve Balibek 2010).

Aksu vd. (2010) tarafından Sodyum dodesil sulfat (SDS) anyonik surfaktanın *R. arrhizus* tarafından Metilen Blue boyasının biyosorpsiyonuna etkisi araştırılmıştır.

Fungus surfaktan bulunmayan ortamda pH 10'da maksimum boya giderimi gerçekleştirirken ortama SDS eklenmesi pH değerinde değişikliğe neden olmamıştır. Araştırma sonuçlarına göre SDS fungus tarafından boya giderimini olumlu yönde etkilemiş ve 1mM SDS varlığında boya giderimi surfaktan yokluğunda gerçekleşen boya gideriminin 4.5 kat daha fazlası olduğu saptanmıştır.



Şekil 2.7 *Rhizopus oryzae* (*Rhizopus arrhizus*)
(www.mycology.adelaide.edu.au/.../Rhizopus/)

2.5.3 *Candida* cinsine ait türlerin boya gideriminde kullanımı

Candida cinsine ait 200 civarında tür bulunmaktadır. Bu türlerin çoğu insanda hastalık etmenidir. Melaslı besiyerinde krem kıvamında beyaz renkli yapı oluşturur.

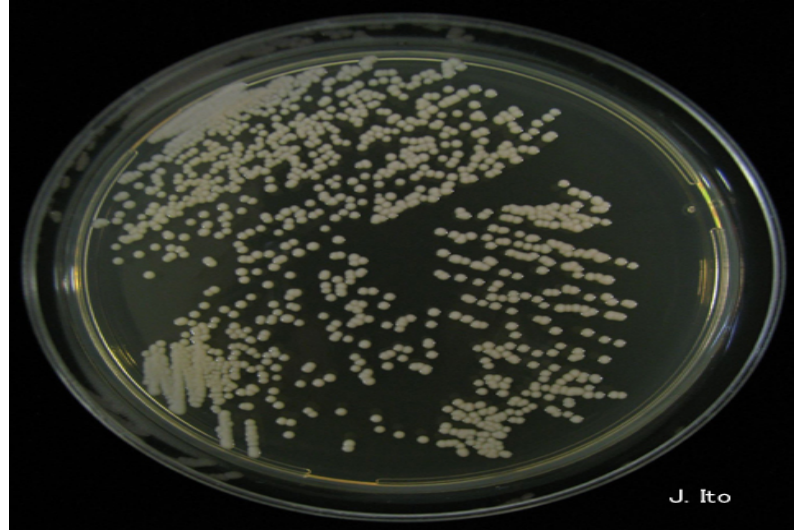
Dönmez (2002), tarafından Reaktif tekstil boyalarının (Remazol Blue, Reactive Black, Reactive Red) biyobirikimi, başlangıç pH'ı ve boya konsantrasyonu değiştirilerek, Melaslı besiyerinde büyütülen *Candida tropicalis* mayası ile incelenmiştir. Denenen tüm boyalar için optimum pH değeri pH 3 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra biyobirikim miktarı azalan boya konsantrasyonlarıyla artmıştır. Yüksek boya konsantrasyonlarının ise mayanın büyümesini inhibe ederek inkübasyon süresinin uzamasına neden olduğu belirlenmiştir (Dönmez 2002).

Remazol Blue ve Remazol Black 5 reaktif boyalarının renklerinin giderimi *C. tropicalis* kullanılarak araştırılmıştır. Aksu ve Dönmez (2005), adlı araştırmacılar tarafından sıvı besi yerinde sürdürülen bu çalışmada karbon kaynağı olarak melas kullanılmıştır. Sabit bir melas konsantrasyonunda, boya konsantrasyonu 1000 mg^l⁻¹'e kadar arttırıldığında mayanın her iki boyanında rengini giderebilmesine rağmen 300-1000 mg^l⁻¹ arasında test edilen tüm boya konsantrasyonlarının mayanın gelişimini inhibe ettiği sonucuna varılmıştır. Her iki boya için; sabit bir boya konsantrasyonunda melas konsantrasyonu 15 gl⁻¹'a arttırıldığında renk giderimi veriminin arttığı gözlenmiştir. 10 gl⁻¹ melas ve 1000 mg^l⁻¹ boya konsantrasyonu içeren besiyerinde her iki boyanın maksimum oranda renklerinin giderildiği saptanmıştır (Aksu ve Dönmez 2005).

Azo boyaların mayalar tarafından biyodegradasyonu üzerine yapılan bir araştırmada *Candida oleophila* türünün fenolik madde özümlemesi esnasında ticari tekstil azo boya olan Remazol Black 5'i içeren agarlı petriyelerin etkin bir şekilde rengini giderdiği saptanmıştır. Aerobik *C. oleophila* kültürü 200 mg^l⁻¹ boyanın tümünün giderimini yapmıştır ki bu başarı bu maya için daha önce hiçbir kaynakta rapor edilmemiştir. Bu performans 24 saatlik inkübasyonda 26 °C'de 5 gl⁻¹ glikoz varlığında elde edilmiştir. Çalışma bulgularına göre boya giderimi eksponansiyel büyüme fazında gerçekleşmekte ve kültür ortamında Lakkaz veya Mangan bağımlı peroksidaz aktivitesi ile ilgili deneyler yapılmış ve bu enzimlerin bulunmadığı belirlenmiştir. Boya giderim mekanizması tam olarak anlaşılacakla beraber azo bağları parçalayan azo redüktaz benzeri bir aktiviteden kaynaklandığı düşünülmüştür (Lucas vd. 2006).

Yang vd. (2003) *Debaryomyces polymorphus* ve *C. tropicalis* isimli iki maya ve *Umbelopsis isabellina* ve *Penicillium geastrivorus* isimli iki filamentli fungus türü ile yaptıkları araştırmada tüm bu maya ve fungusların 16- 48 saatte 100 mg^l⁻¹ Reaktif Black 5 (RB 5) boyasının tamamen giderdiğini göstermiştir. *D. polymorphus*, *C. tropicalis* ve *U. isabellina* kültürlerinin süpernetantlarında 60 – 424 UI⁻¹ Mangan bağımlı peroksidaz (MnP) varlığı tespit edilmiş ve bu enzimle boya degradasyonu olduğu belirlenmiştir. *P. geastrivorus* kültür ortamında herhangi bir ligninolitik enzim bulunmadığı, boya gideriminin misellerin biyosorpsiyonu ile gerçekleştiği belirlenmiştir. Beş azo boya ve bir anthraquinonic boyanın giderimi *D. polymorphus* türü tarafından %69-94 ve *C. tropicalis* türü tarafından %30-97 gerçekleşmiştir. Reactive

Brilliant Blue KNR ve Reactive Yellow M-3R dışında 4 azo boya olan Reactive Red M-3BE, Procion Scharlach H-E3G, Procion Marine H-EXL ve Reactive Brilliant Red K-2BP varlığı *D. polymorphus* türü tarafından MnP ($105-587 \text{ U l}^{-1}$) üretimini arttırmıştır. Diğer taraftan sadece Reaktif Red M-3BE ve Reaktif Brilliant Red K-2BP içeren ortamda *C. tropicalis* kültürlerinde MnP aktivitesi ($198-329 \text{ U l}^{-1}$) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.8 *Candida tropicalis*
(http://www.pf.chiba-u.ac.jp/gallery/fungi/c/Candida_tropicalis_colony.htm)

Boya giderimi ile ilgili yapılan kaynakça taraması sonucuna göre;

- Surfaktanların tek başına boya giderimi yaptığını,
- *A. versicolor* ve *R. arrhizus* funguslarının ve *C. tropicalis* mayasının boya giderimini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini,
- *A. versicolor*, *R. arrhizus* ve *C. tropicalis* türlerinin hem besiyerinde gelişmekte iken hem de üretilmiş biyokütlelerinin biyosorpsiyon mekanizması ile boya giderimi yaptığını,

gösteren kaynaklar bulunmaktadır.

- Surfaktanlı ortamda kurutulmuş *R. arrhizus* fungusunun sadece biyosorpsiyon mekanizması ile katyonik boya giderimi de araştırılmıştır. Aksu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada katyonik boya olan Methylene Blue'nun ölü fungus tarafından biyosorpsiyonuna anyonik surfaktan olan Sodium Dodesil sülfat (SDS) etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre SDS fungus tarafından katyonik boya giderimini arttırmıştır. Ölü fungusun anyonik surfaktan bulunan ortamda katyonik boya gideriminde kullanıldığını gösteren sadece bir tane kaynak bulunmaktadır.
- Ancak surfaktan bulunan ortamda canlı fungusların boya giderimini araştıran çalışma ise literatürde bulunmamaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Mikroorganizma

Tez çalışmasında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan *Aspergillus versicolor*, *Rhizopus arrhizus* ve *Candida tropicalis* saf kültürleri kullanılmıştır.

3.1.2 Boya solüsyonu hazırlanması

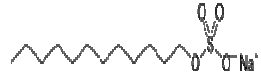


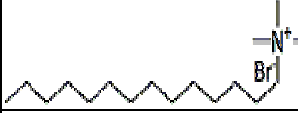
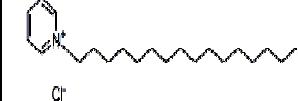
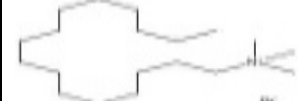
Remazol Blue stok solüsyonu, Aytemizler Tekstil Fabrikası'ndan (Ankara) toz halde alınan boyanın, %2 (w/v) konsantrasyonunda distile suda çözülmesiyle hazırlanmıştır. Bu stok solüsyondan istenilen miktarlar Melaslı besiyerine eklenerek deney düzenekleri hazırlanmıştır.

3.1.3 Sürfaktan solüsyonu hazırlanması

Çalışmada Dodesilbenzen Sulfonik Asit Sodyum tuzu (DBS) , Hegzadesiltrimetil amonyum bromür (HDTAB), Dodesiltrimetil amonyum bromür (DTAB), Cetilpridium Klorol Monohidrat (CPCM), Alkiltrimetil amonyum bromür (CTAB) ve Sodyum dodesil sülfat (SDS) kullanılmıştır.

Sürfaktanların stok solüsyonları 1 gl⁻¹ olacak şekilde surfaktanın distile suda çözülmesiyle hazırlanarak, istenilen miktarlarda Melaslı besiyerlerine eklenmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan surfaktanlar

Surfaktan	Sınıfı	Molekül Ağırlığı (g mol ⁻¹)	Kimyasal Formülü	Kimyasal Şekli
SDS	Anyonik	288.38	C ₁₂ H ₂₅ OSO ₃ Na	
DBS	Anyonik	348.48	C ₁₈ H ₂₉ NaO ₃ S	
DTAB	Katyonik	308.34	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ N(Br)(CH ₃) ₃	
CTAB	Katyonik	333.37	RN(Br)(CH ₃) ₃ R=C ₁₂ H ₂₅ + C ₁₄ H ₂₉ + C ₁₆ H ₂₃	
CPCM	Katyonik	358.07	C ₂₁ H ₃₈ ClN.H ₂ O	
HDTAB	Katyonik	364.46	C ₁₉ H ₄₂ BrN	

3.2 Yöntem

Boya giderimine surfaktan etkisinin belirlenmesinde iki yol izlenmiştir. İlk olarak Melashı besiyerinde üremekte olan hücrelerle yapılan denemelerde surfaktan bulunan ve bulunmayan ortamlardaki en iyi boy gideriminin olduğu pH, boya ve surfaktan konsantrasyonları belirlenmiştir.

Boya ve surfaktan içermeyen besiyerinde geliştirilmiş biyokütle ile yapılan biyosorpsiyon denemelerinde ise; surfaktanlı ve surfaktansız ortamlarda en iyi boya gideriminin gerçekleştiği pH, boya ve surfaktan konsantrasyonları ile biyokütle miktarı ve çeşidi saptanmıştır.

3.2.1 Üremekte olan mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar

Melashlı besiyerinde üremekte olan fungus ve maya kültürleri ile yapılan denemelerde alıştırma, surfaktan seçimi, pH, boya ve surfaktan konsantrasyonlarının etkisi araştırılmıştır.

3.2.1.1 Mikroorganizma kültür koşulları

Çalışmalarda 250 ml'lik erlenlerdeki 100 ml Melashlı kültür ortamının pH'sı; 0.1 M NaOH veya 0.1 M H₂SO₄ ile 6 olacak şekilde ayarlandıktan sonra istenilen miktarda Remazol Blue boyası ve seçilen surfaktan eklenmiştir.

Besiyerlerine 2 ml olacak şekilde inoküle edilen *A. versicolor* ve *C. tropicalis* kültürleri 25 °C'de 100 devir/dakika'lık çalkalamalı inkübatörde inkübasyona bırakılmıştır. Besiyerlerine yaş ağırlığı 0.09 g⁻¹ olacak şekilde steril koşullarda tartılarak hazırlanan *R. arrhizus* biyokütlesi inoküle edilmiş ve 30°C'de inkübatörde inkübasyona bırakılmıştır.

Melashlı besiyeri içeriği: (1 L için) (Aksu ve Dönmez 2005)

1.0 g..... (NH₄)₂SO₄,

0.5 g.....KH₂PO₄,

Melas Çözeltisi (yaklaşık 10 g⁻¹ sü kroza denk miktarda)

pH 6

Çalışmada mikroorganizma bulunmayan, aynı miktarda surfaktan ve boya içeren besiyerleri kontrol amacıyla kullanılmıştır.

3.2.1.2 Surfaktan seçimi

Çalışmalarda *A. versicolor*, *R. arrhizus* ve *C. tropicalis* kültürlerinin hem gelişimini engellemeyen hem de boya giderim kapasitesini arttıran surfaktanların seçimi amacıyla 100 mg^l⁻¹ boya ve 0.5 mM olacak şekilde DBS, HDTAB, DTAB, CPCM, CTAB ve SDS surfaktanları içeren melaslı besiyerlerinde kültürler geliştirilmiştir. *A. versicolor*, *R. arrhizus* ve *C. tropicalis* kültürleri 5 gün süre ile inkübe edilerek mikrobiyal gelişimi ve boya giderimi gözlenmiştir. Çalışmalarda mikroorganizma bulunmayan aynı miktarda boya ve surfaktan içeren ortamlar kontrol grubu olarak kullanılmıştır.

3.2.1.3 Mikroorganizma alıştırma çalışmaları

Çalışmada kullanılan mikroorganizmaların boya ve surfaktan bulunan ortamlarda geliştirilip bu kirleticilere adapte olmaları sağlanmıştır. Bu amaçla melaslı besiyerinde geliştirilen mikroorganizmalar 0.5 mM surfaktan ve 100 mg^l⁻¹ boya içeren ortamlara inoküle edilerek, 5 gün inkübe edilmiştir. Bu işlem üç kez ard arda tekrarlanarak aktif mikroorganizma kültürleri hazırlanmıştır. Tüm denemelerde bu şekilde aktifleştirilmiş kültürler inokülasyonlarda kullanılmıştır.

3.2.1.4 Surfaktan etkisi

Surfaktanın boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacıyla surfaktanlı ve surfaktansız ortamlarda aktive edilen *A. versicolor* ve *R. arrhizus* kültürlerinin pH 6'da 100 mg^l⁻¹ boya içeren, 0 ve 0.5 mM seçilmiş surfaktanlar bulunan 100 ml Melaslı besiyerinde boya giderimi analiz edilmiştir. *A. versicolor* ile yapılan denemelerde kültürler 3 gün, *R. arrhizus* kültürleri ile yapılan denemelerde ise kültürler 5 gün inkübe edilmiştir. *C. tropicalis* kültürünün ise pH 3'de 100 mg^l⁻¹ boya içeren ve 0 ve 0.5 mM seçilmiş

surfaktanlar bulunan 100 ml melaslı besiyerinde 5 günlük inkübasyon süresi sonrasında boya giderimi analiz edilmiştir.

3.2.1.5 pH etkisi

En yüksek boya gideriminin gerçekleştiği optimum pH derecesinin bulunması amacıyla, *A. versicolor* ve *R. arrhizus* kültürleri 100 mg^l⁻¹ boya ve 0.5 mM surfaktan içeren pH'ı 3, 4, 5, 6 ve 7 ye ayarlanan Melaslı besiyerinde 3 ve 5 gün süre ile geliştirilmiştir. Besiyerlerinin pH'ları 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl ile istenilen değere ayarlanmıştır.

3.2.1.6 Boya konsantrasyonunun etkisi

Denemelerde 0.5 mM seçilen surfaktan içeren ve içermeyen 50, 100, 200, 400 ve 800 mg^l⁻¹ boyalı 100 ml melaslı besiyerleri hazırlanıp, *A. versicolor* ve *R. arrhizus* aktif kültürleri inoküle edilmiştir. *A. versicolor* 3 gün, *R. arrhizus* 5 gün süre ile inkübe edilerek kültürlerin boya giderim kapasiteleri ve ürettikleri biyokütle miktarları belirlenmiştir.

3.2.1.7 Surfaktan konsantrasyonunun etkisi

Boya giderimine surfaktan konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacıyla 0.1, 0.5, 1 ve 2 mM surfaktan bulunan ve 100 ve 800 mg^l⁻¹ boya içeren 100 ml melaslı besiyeri hazırlanarak, aktif *A. versicolor* ve *R. arrhizus* kültürleri ile inoküle edilmiştir. *A. versicolor* 3 günlük ve *R. arrhizus* 5 günlük inkübasyon süresi sonunda boya giderimi ve mikrobiyal biyokütle belirlenmiştir.

3.2.2 Biyosorpsiyon çalışmaları

Biyosorpsiyon çalışmalarında öncelikle mikroorganizmalar boya ve surfaktan bulunmayan Melaslı besiyerlerinde geliştirildi ve elde edilen biyokütle belirli oranda surfaktan ve boya içeren 250 ml'lik erlenlerdeki 100 ml distile su ortamına aktarılmıştır.

Erlenler 25 °C’de 100 devir/dakika hızındaki çalkalamalı inkübatörde 48 saat süre ile inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi boyunca 1. 2., 4., 6., 8., 24. ve 48. saatlerde erlenlerden örnek alınarak boya analizi yapılmıştır.

3.2.2.1 Biyokütle hazırlanması

A. versicolor ve *R. arrhizus* türleri boya ve surfaktan bulunmayan melaslı besiyerinde geliştirilmiş ve bu besi ortamlarından kurutma kağıdı ile süzülüp, distile su ile yıkanmıştır. Elde edilen biyokütle tartıldıktan sonra deney düzeneklerinde canlı olarak kullanılmıştır.

Biyokütle çeşidinin etkisi denemelerinde ölü fungal hücreler, tartılan biyokütlenin 121 °C’de 15 dakika otoklavlanması sonrasında elde edilmiştir.

3.2.2.2 Surfaktan etkisi

Surfaktanın biyosorpsiyona etkisini araştırmak amacıyla hazırlanan biyoküteller 0.5 mM surfaktan bulunan ve bulunmayan 250 ml’lik erlenlerde 100 mg l⁻¹ boya içeren 100 ml distile su bulunan deney ortamlarına aktarılmış ve analizler yapılmıştır.

3.2.2.3 pH etkisi

Çalışmalarda fungusun surfaktan bulunan ortamda en iyi boya giderimi yaptığı ortam pH’ını belirlemek için farklı pH değerlerinde (pH: 3, 4, 5, 6 ve 7) test edilmiştir.

3.2.2.4 Surfaktan ve boya konsantrasyonlarının etkisi

Çalışmalarda fungusun en iyi boya biyosorpsiyonu yaptığı surfaktan ve boya konsantrasyonunu belirlemek için farklı surfaktan konsantrasyonlarında (0.5, 1 ve 2 mM) ve farklı boya konsantrasyonlarında (50, 100 ve 150 mg l⁻¹) boya giderimi analiz edilmiştir.

3.2.2.5 Biyokütle çeşidinin etkisi

Çalışmalarda boya biyosorpsiyonunu gerçekleştiren en iyi biyokütle miktarını belirlemek amacıyla 1, 2, ve 5 g olarak tartılan yaş mikroorganizma canlı ve ölü mikroorganizma kaynağı olarak kullanılmıştır. Ölü mikroorganizma 121°C’de 15’ otoklavlanarak elde edilmiştir. Hazırlanan canlı ve ölü fungus biyokütlesi seçilen pH, surfaktan ve boya konsantrasyonunu içeren deney ortamına aktarılarak, deneyler yürütülmüştür.

3.3 Analiz Yöntemleri

3.3.1 Boya konsantrasyonunun belirlenmesi

Her üç mikroorganizma için de; inkübasyon süresi boyunca günlük 2 ml örnekler alınıp, 10000 devir/dakika’da 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernetantlar 600 nm dalga boyunda spektrofotometrede analiz edilmiştir (Sadettin 2005). Farklı surfaktan konsantrasyonlarının boyanın spektrofotometrede analiz edilen dalga boyuna etkisi 0, 0.1, 0.5, 1 ve 2 mM DTAB bulunan ortamda 5 mg^l⁻¹ boyanın 400- 650 nm dalga boylarındaki absorban değerlerinin taraması yapılarak araştırılmıştır (EK 4). Spektrofotometrik analiz esnasında hücre bulunmayan Melaslı besiyeri kontrol olarak kullanılmıştır. Spektrofotometrik analizler laboratuvarında mevcut bulunan Shimadzu UV 2001 model spektrofotometre ve santrifüj işlemi de Med. Instruments MPW- 351 R model santrifüj kullanılarak yapılmıştır.

3.3.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi

İnkübasyon süresi sonunda mikrobiyal gelişim kuru ağırlık yöntemiyle belirlenmiştir. İnkübasyon süresi sonunda kurutma kâğıdı ile süzülen mikroorganizmalar etüvde (Nüve FN 400) 80 °C’de 12 saat kurutulmuş ve tartılmıştır.

3.3.3 Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan formüller

Mikroorganizmanın boya giderim verimi için kullanılan formül;

$$\% \text{ Boya giderim (BG)} = ((C_{\text{oRB}} - C_{\text{fRB}}) / C_{\text{oRB}}) \times 100$$

Gram başına düşen maksimum spesifik boya alımı (q_m) için kullanılan formül;

$$q_m = (C_{\text{oRB}} - C_{\text{fRB}}) / X_m$$

q_m : kurutulmuş bir gram hücredeki maksimum boya miktarı (mgg^{-1})

X_m : maksimum kurutulmuş hücre kütlesi (gl^{-1})

C_{oRB} : başlangıç boya konsantrasyonu (mgl^{-1})

C_{fRB} : son boya konsantrasyonu (mgl^{-1})

(q_m değerleri hesaplanırken mikroorganizma ve surfaktanının birlikte bulunduğu ortam değerinden sadece surfaktanın bulunduğu ortam değeri çıkarılmıştır.)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Sürfaktan Seçimi

Denemelerde kullanılan mikroorganizmaların 0.5 mM surfaktan ve 100 mg^l⁻¹ boya içeren melaslı besiyerlerinde 5 günlük inkübasyonları sonrasındaki gelişimleri ve boya giderimleri çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

SDS bulunan ortamda mikroorganizmalardan hiçbiri gelişmemiştir. DBS bulunan ortamda sadece *R. arrhizus* az miktarda gelişmiştir. DTAB, CTAB, CPCM ve HDTAB surfaktanları bulunan ortamda hem mikroorganizmalar gelişmiş hem de boya giderimi görülmüştür.

Çizelge 4.1 Sürfaktan seçimi (pH: 6; C_{ORB}: 100 mg^l⁻¹; C_{surfaktan}: 0.5 mM; S: 25 ± 1 °C; İs: 5 gün)

Sürfaktan	Mikroorganizma		
	<i>A. versicolor</i>	<i>R. arrhizus</i>	<i>C. tropicalis</i>
SDS	-	-	-
DBS	-	*	-
DTAB	***	***	**
CTAB	*	**	*
CPCM	**	*	*
HDTAB	*	*	*

(-: mikrobiyal gelişim ve boya giderimi yok; *: az gelişim ve boya giderimi; **: iyi gelişim ve boya giderimi; ***: çok iyi gelişim ve boya giderimi)

Tüm mikroorganizmalar DTAB bulunan ortamda en iyi gelişmiş ve boya giderimi yapmıştır. *A. versicolor* türü DTAB ve CPCM’nin, *R. arrhizus* türü DTAB ve CTAB’nin, *C. tropicalis* türü DTAB’nin bulunduğu ortamda gelişim göstererek boya giderimi gerçekleştirmiştir (Çizelge 4.1). DBS, CPCM ve HDTAB surfaktanları

bulunan ortamda *R. arrhizus* türünün boya giderimi görülmüş ve çok az fungal gelişim görülmüştür. Ancak DBS anyonik surfaktan olduğu için anyonik surfaktan ile anyonik boya etkileşimlerini araştırmak amacı ile bu fungus için DBS surfaktanı kullanılarak analiz yapılmıştır.

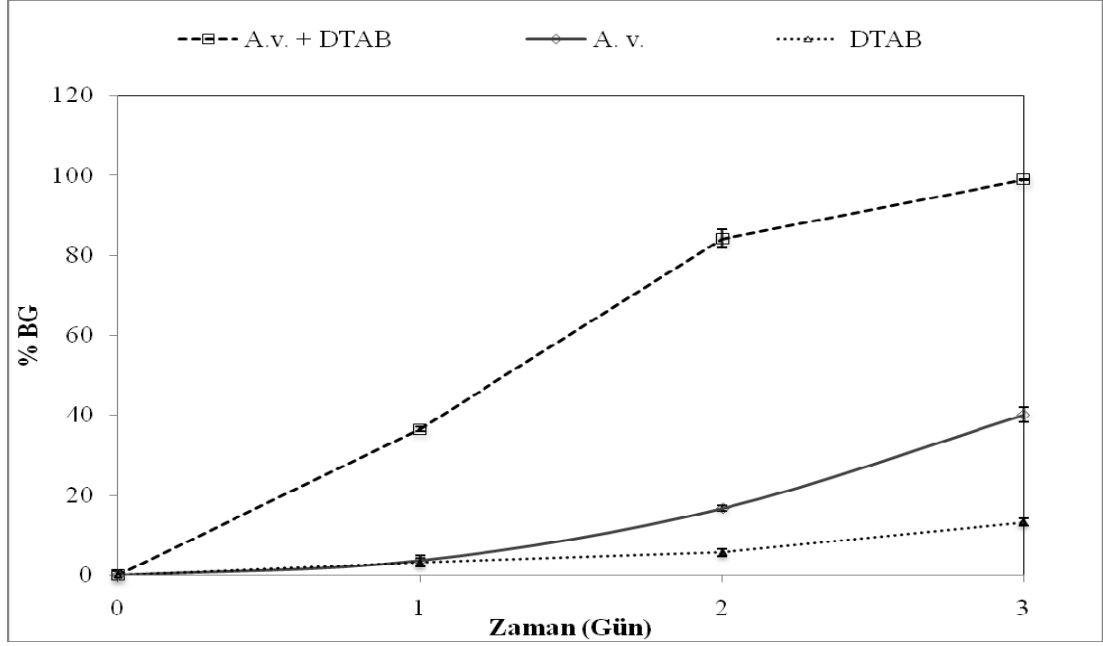
Çalışmaların devamında gelişmekte olan kültürlerle yapılan denemelerde *A. versicolor* için DTAB ve CPCM, *R. arrhizus* için DTAB, CTAB ve DBS, *C. tropicalis* için DTAB surfaktanlarının boya giderimine etkisi araştırılmıştır. Biyosorpsiyon deneylerinde ise hem *A. versicolor* hem de *R. arrhizus* için en iyi boya gideriminin gözlemlendiği DTAB surfaktanı kullanılmıştır.

4.2 Üremekte Olan *A. versicolor* Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Melashlı besiyerinde üremekte olan fungusun boya giderimine DTAB bulunan ortamda pH, boya ve surfaktan konsantrasyonlarının etkisi araştırılmıştır.

DTAB'nin boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacıyla 0.5 mM DTAB bulunan ve bulunmayan ortamlarda aktive edilen *A. versicolor* kültürünün üç günlük inkübasyon periyodu boyunca boya giderimi şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Surfaktanlı ortamda mikrobiyal boya giderimi surfaktansız ortama göre daha yüksektir. DTAB bulunmayan ortamda fungus tek başına %40.1 boya giderimi gerçekleştirmesine karşın DTAB bulunan ortamda toplam boya giderimi %98.9 olarak gerçekleşmiştir. Bu ortamda birinci gündeki boya giderimi değerine DTAB'siz ortamda gelişen fungus ancak üçüncü günde ulaşmıştır. DTAB'nin tek başına gerçekleştirdiği boya giderimi ise %13.2 olmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Surfaktanın boya giderimine (%BG) etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{oRB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün)

Surfaktanın fungal gelişime etkisi aynı deney serisinde kuru ağırlıkların belirlenmesi ile araştırılmıştır. Surfaktan bulunmayan ortamda gelişen fungusu ait kuru ağırlık 3.23 gl $^{-1}$ olarak belirlenmiştir. DTAB bulunan ortamda gelişen fungusu ait kuru ağırlık 0.97 gl $^{-1}$ şeklinde belirlenmiştir.

Bu sonuçlar surfaktanın mikrobiyal gelişimi azaltmasına rağmen boya giderimini oldukça arttırdığını göstermektedir.

4.2.1 Optimum pH belirlenmesi

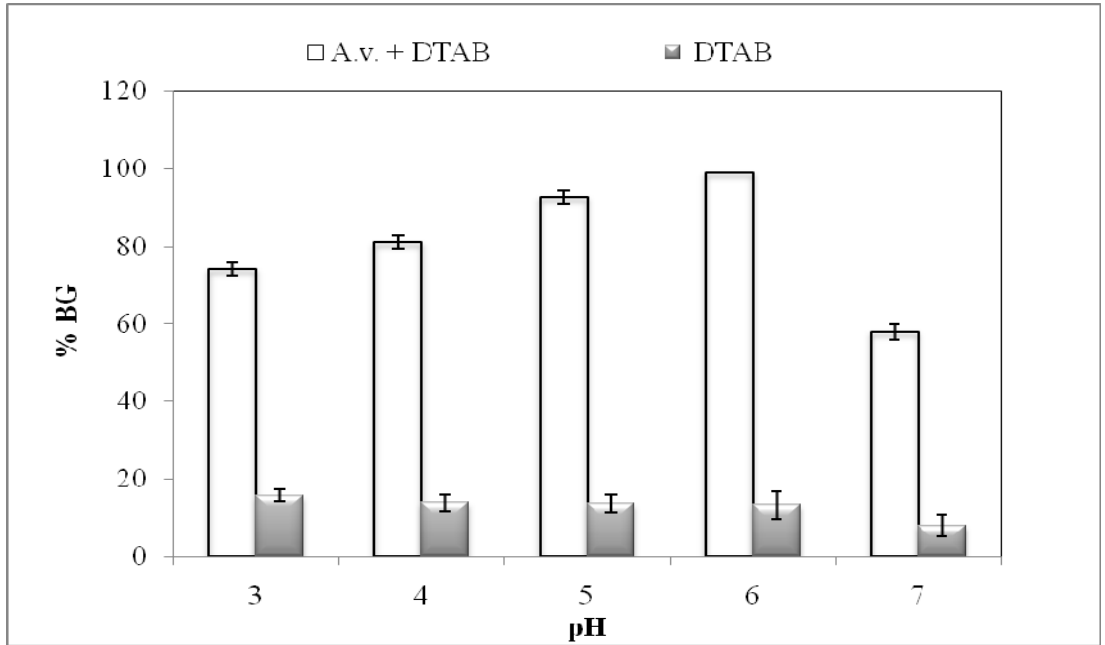
Çalışmalarda fungusun DTAB bulunan ortamda en iyi boya giderimi yaptığı besiyeri pH'ını belirlemek için farklı pH değerlerindeki besiyerlerine surfaktan eklenerek analiz edilmiştir.

Melashlı besiyerinde üç günlük inkübasyon süresi sonrasında fungus 0.5 mM DTAB bulunan ortamda toplam boya giderimi pH 3'te %74, pH 4'te %81, pH 5'te %92.7, pH

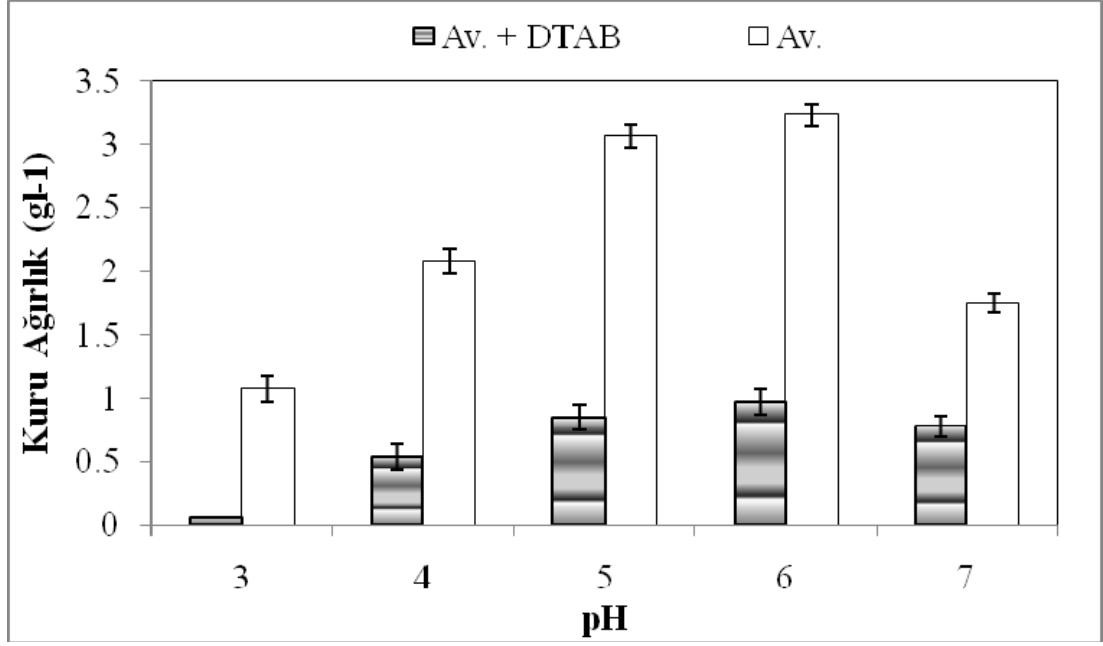
6'da %98.9 ve pH 7'de %58 olarak gerçekleştirmiştir. Ortam pH'sı arttıkça gideriminde artığı pH 6 dan sonra ise hızlı bir düşüş olduğu görülmüştür. Denemeler sonunda en iyi boya gideriminin pH 6 'da olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2).

Fungal gelişime pH etkisinde kuru ağırlık ile belirlenmiştir. DTAB bulunan ve bulunmayan ortamlarda en iyi gelişim pH 6'da gerçekleşmiştir (Şekil 4.3).

Hem boya giderim hesaplamaları hem de kuru ağırlık sonuçları DTAB bulunan ortamda optimal pH değerinin 6 olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.2 Boya giderimine (%BG) pH'ın etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BG; C_{ORB} : 100 $mg\ l^{-1}$; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: 25 \pm 1 $^{\circ}C$; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün.)



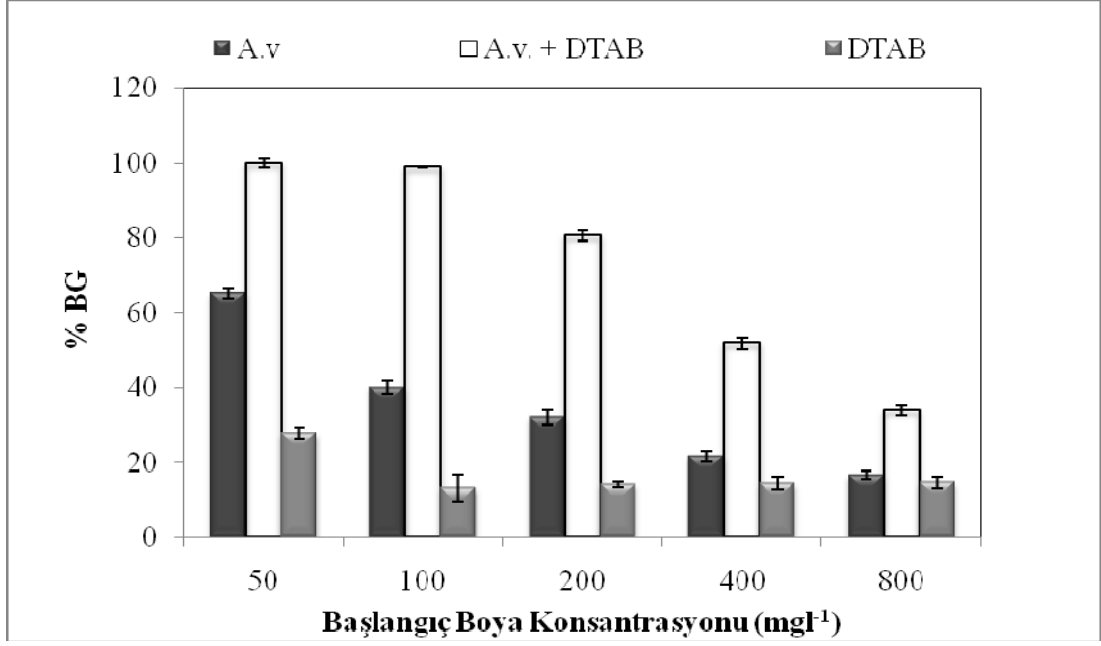
Şekil 4.3 Fungal gelişime pH'ın etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amoyum bromür; C_{oRB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün.)

4.2.2 Optimum boya konsantrasyonunun belirlenmesi

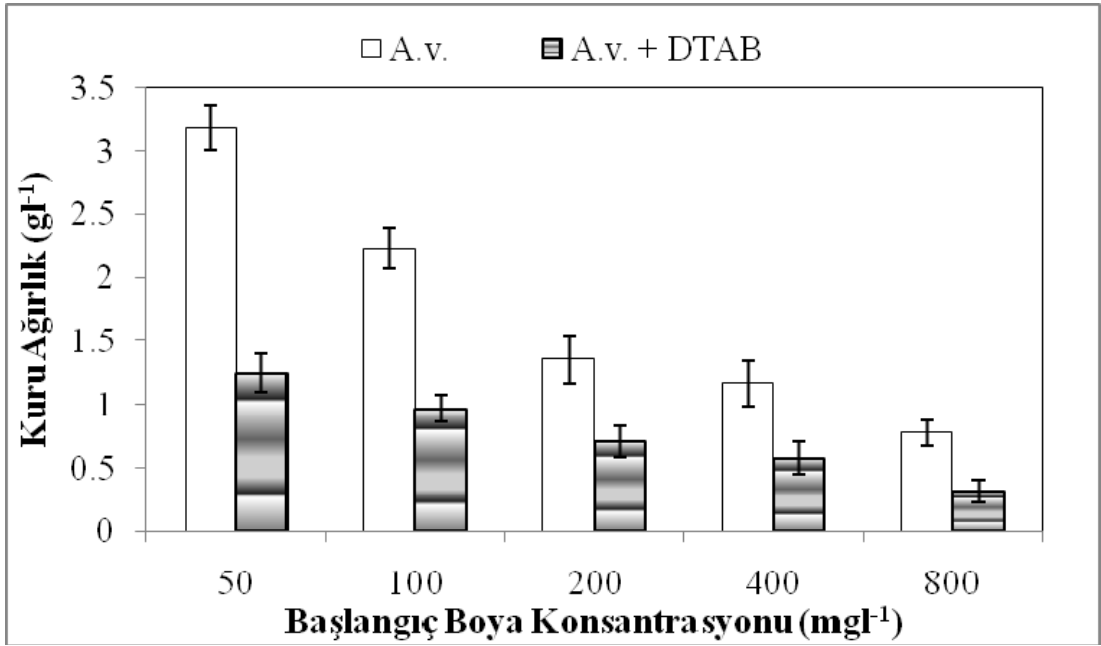
Boya giderimine başlangıç boya konsantrasyonunun etkisinin belirlenmesi amacıyla 50, 100, 200, 400 ve 800 mg l^{-1} olmak üzere 5 farklı boya konsantrasyonunda surfaktanlı (0.5 mM DTAB) ve surfaktansız ortamda geliştirilen *A. versicolor* fungusunun boya giderimi analiz edilmiştir.

A. versicolor türü 0.5 mM DTAB bulunan düşük boya konsantrasyonlarında en yüksek boya giderimi yapmıştır. Surfaktan bulunmayan ortamlara göre bulunan ortamlarda giderim yüzdesi fazladır. Boya konsantrasyonu arttıkça hem surfaktan bulunan hem de surfaktan bulunmayan ortamda giderim yüzdesinde de düşüş gözlenmiştir (Şekil 4.4).

Fungusun gelişimine boya konsantrasyonunun etkisi de belirlenmiştir. Boya konsantrasyonu arttıkça fungal gelişim olumsuz etkilenmiş ve kuru ağırlık değerleri düşmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Başlangıç boya konsantrasyonunun fungal boya giderimine (%BG) etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amoyum bromür; Av + DTAB: toplam % BG; pH: 6; S: 25 ± 1 °C; C_{oDTAB} : 0.5 mM; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün).



Şekil 4.5 Başlangıç boya konsantrasyonunun fungal gelişime etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amoyum bromür; pH: 6; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün).

Yapılan deneyde 50 ve 100 mg^l⁻¹ bulunan ortamda toplam boya giderim oranı yaklaşık %99 olup en yüksek değere ulaşılmıştır. Optimum boya konsantrasyonu 100 mg^l⁻¹ boya olarak belirlenmiş ve sonraki deneylerde bu değer kullanılmıştır.

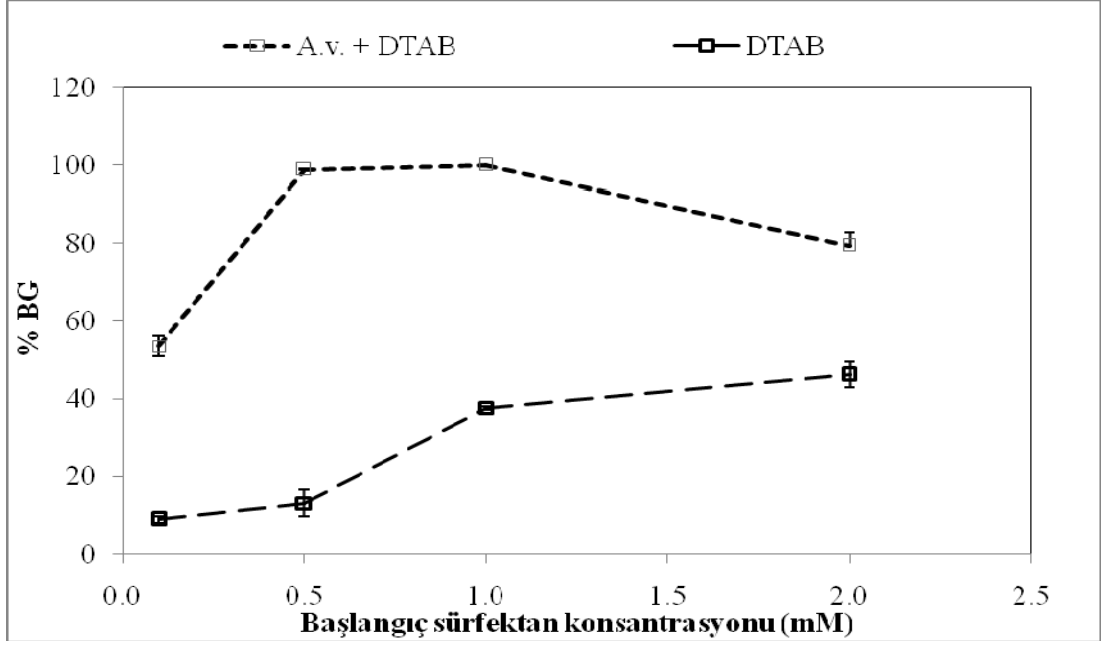
4.2.3 Optimum DTAB konsantrasyonunun belirlenmesi

Boya giderimine surfaktan konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacıyla farklı surfaktan konsantrasyonlarda (0.1, 0.5, 1 ve 2 mM DTAB) surfaktan bulunan ve 100 mg^l⁻¹ ve 800 mg^l⁻¹ boya içeren melaslı besiyeri hazırlanmış ve deneyler tamamlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda mikrobiyal biyokütle kuru ağırlık olarak belirlenmiştir.

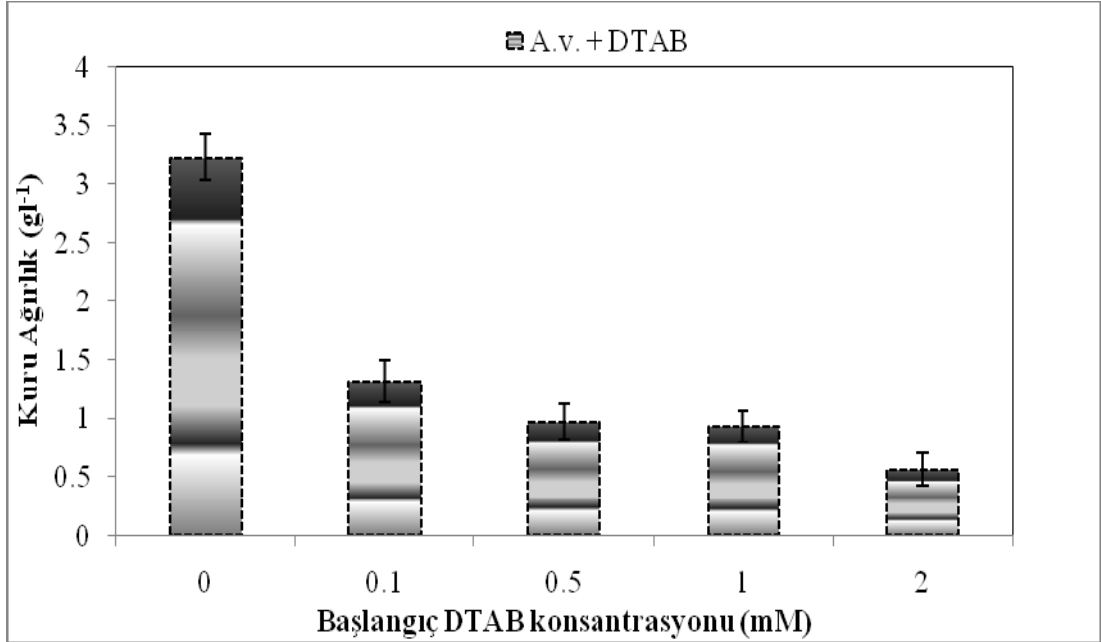
Düşük boya konsantrasyonu olan 100 mg^l⁻¹ boya bulunan ortamda surfaktan konsantrasyonu 1mM'a doğru arttıkça boya gideriminin arttığı, ancak daha yüksek konsantrasyonunda boya gideriminin düştüğü şekil 4.6'da görülmektedir. Sadece surfaktan içeren Melaslı besiyerinde ise artan surfaktan konsantrasyonu boya gideriminin arttığı belirlenmiştir. Denemeler sonunda hem funguslu hem de fungusuz ortamlarda boya gideriminin en iyi gerçekleştiği surfaktan konsantrasyonu 1 mM olarak belirlenmiştir.

Boya (100 mg^l⁻¹) içeren melaslı ortamda gelişen fungal biyokütlenin kuru ağırlık değeri 0.5 mM DTAB varlığında 0.97 g^l⁻¹, 1 mM DTAB varlığında 0.93 g^l⁻¹, 2 mM DTAB varlığında 0.56 g^l⁻¹ olarak belirlenmiştir. Surfaktan konsantrasyonundaki artış fungal kuru ağırlık değerlerini düşürmüştür ve surfaktan mikrobiyal gelişimi olumsuz etkilemiştir (Şekil 4.7).

DTAB konsantrasyonundaki artış fungal gelişimi olumsuz etkilemiştir ancak boya giderimi surfaktan konsantrasyonu 1mM'a doğru arttıkça artmış, 1mM'ın üzerinde ise azalmıştır.



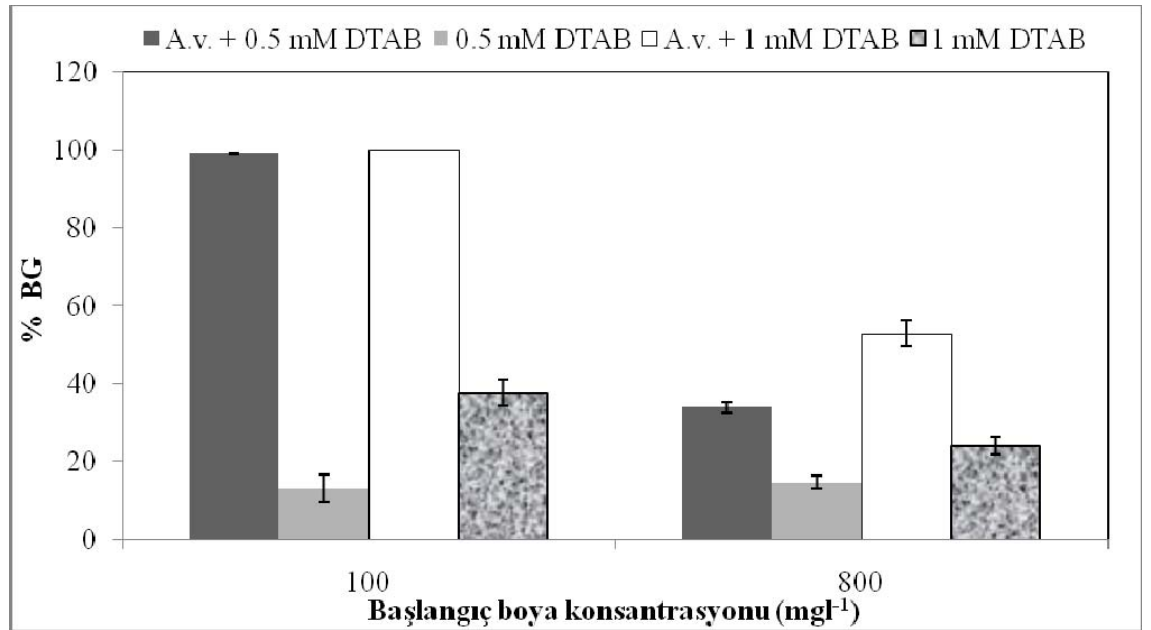
Şekil 4.6 Başlangıç sürfektan konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir dakika $^{-1}$; İs:3 gün)



Şekil 4.7 Başlangıç sürfektan konsantrasyonunun fungal gelişimine (kuru ağırlık) etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir dakika $^{-1}$; İs:3 gün)

Şekil 4.6 ve çizelge 4.2’de görüldüğü gibi 100 mg^l⁻¹ boya içeren Melaslı besiyerinde 0.5 ve 1 mM surfaktan konsantrasyonunda en yüksek boya gideriminin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu surfaktan konsantrasyonlarında 800 mg l⁻¹ boya içeren Melaslı besiyerinde benzer bir deney düzeneği kurularak yüksek boya konsantrasyonlarının iki surfaktan konsantrasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Yüksek boya konsantrasyonunda şekil 4.8’de görüldüğü gibi 100 mg l⁻¹ boya konsantrasyonundan daha düşük boya giderimi denenen her iki surfaktan konsantrasyonu için elde edilmiştir. Ancak 800 mg l⁻¹ boya konsantrasyonunda 1 mM DTAB bulunan ortamda boya gideriminin 0.5 mM DTAB olan ortama göre daha etkili olduğu saptanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine(% BG) etkisi (Av: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BG; pH: 6; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs: 3 gün).

İnkübasyon süresi sonunda, maksimum spesifik boya giderimi Çizelge 4.2’de özetlenmiştir. Düşük boya konsantrasyonunda (100 mg l⁻¹) fungusun gram başına boya giderimi 0.5 ve 1 mM surfaktan bulunan ortamlarda yüksek değerlere ulaşmıştır.

Surfaktan konsantrasyonu 2 mM olduğunda hem boya giderimi hem de mikrobiyal gelişme olumsuz etkilendiği için q_m değeri de düşmüştür.

Yüksek boya konsantrasyonlarında artan surfaktan konsantrasyonu ile fungusun boya giderim kapasitesinin arttığı görülmektedir. Yüksek boya konsantrasyonunda gram hücre başına alınan en yüksek kirletici miktarına 1 mM DTAB bulunan ortamda gerçekleşmiştir. Yüksek boya konsantrasyonu olan ortamda fungusun g hücre başına giderdiği boya miktarı (q_m) değerleri düşük boya konsantrasyonuna göre daha yüksektir. Düşük boya konsantrasyonunda düşük surfaktan konsantrasyonlarında, yüksek boya konsantrasyonunda ise yüksek surfaktan konsantrasyonlarında daha fazla boya giderimi gerçekleşmiştir. Fungus boya konsantrasyonu yüksek olan ortamda daha az gelişmiştir ve elde edilen kuru ağırlık değeri düşük olduğu için q_m değerleri artmıştır.

Çizelge 4.2 Artan DTAB konsantrasyonlarında ve düşük boya konsantrasyonlarında *A. versicolor* fungusunun gram hücresi başına düşen maksimum spesifik boya miktarı (q_m) ve boya giderimi (pH: 6; C_{oDTAB} : Başlangıç DTAB konsantrasyonu; C_{oRB} : başlangıç boya konsantrasyonu; BG: boya giderimi; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün)

C_{oRB} (mg l ⁻¹)	C_{oDTAB} (mM)	A.v. + DTAB Toplam % BG	X_m (g l ⁻¹)	q_m (mg g ⁻¹)
	0.1	53.6 (± 2.6)	1.31	32.2
100	0.5	98.9 (± 0.1)	0.97	88.4
	1	100	0.93	66.56
	2	79.5 (± 3.4)	0.56	59.46
	0.1	24.6(± 2.8)	0.9	191.89
800	0.5	35.9 (± 1.4)	0.87	247.7
	1	67.7(± 3.4)	0.85	395.06
	2	62.5(± 3.1)	0.75	383.6

Melashlı besiyerinde gelişen *A. versicolor* hücreleri ve DTAB ile yapılan denemeler sonucunda boya ve surfaktan konsantrasyonlarının boya gideriminde etkin bir rol oynadığı belirlenerek test edilen tüm boya konsantrasyonlarında fungusun en iyi giderimi 1 mM DTAB içeren ortamda yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.3 Üremekte Olan *A. versicolor* Kültürü ile CPCM Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

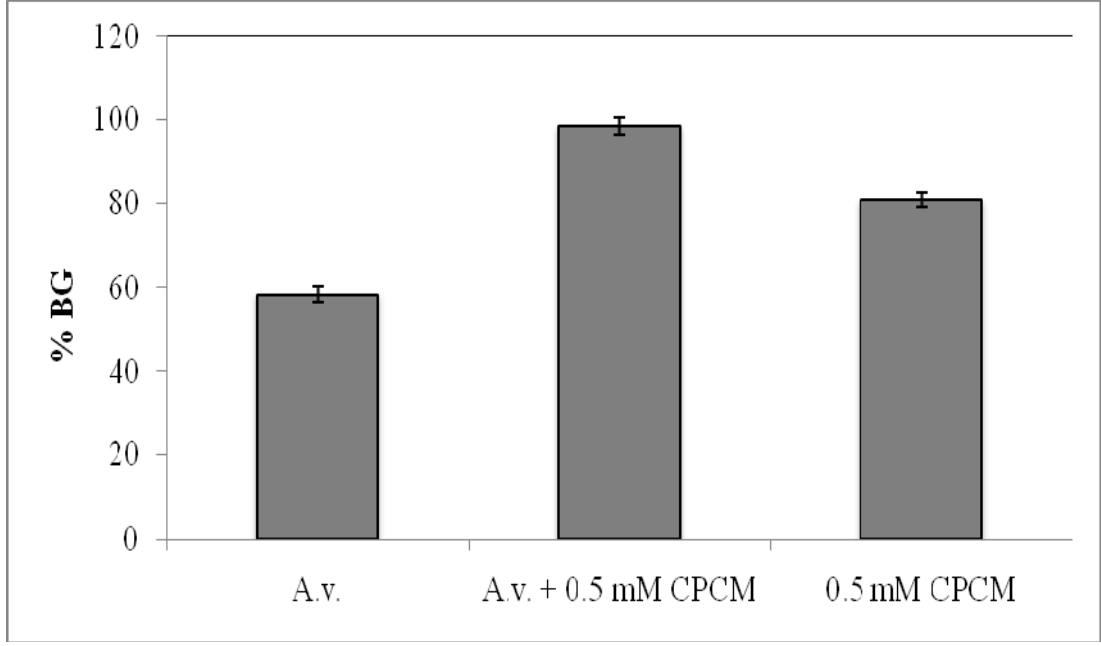
Melashlı besiyerinde üremekte olan fungusun boya giderimine CPCM bulunan ortamda pH, boya ve surfaktan konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır.

Katyonik CPCM'nin *A. versicolor* kültürünün boya giderimine etkisini belirlemek amacıyla 100 mg^l⁻¹ boya bulunan, 0.5 mM CPCM içeren ve CPCM içermeyen Melashlı besiyerine fungus inoküle edilmiş ve kültür koşullarında deneyler tamamlanmıştır.

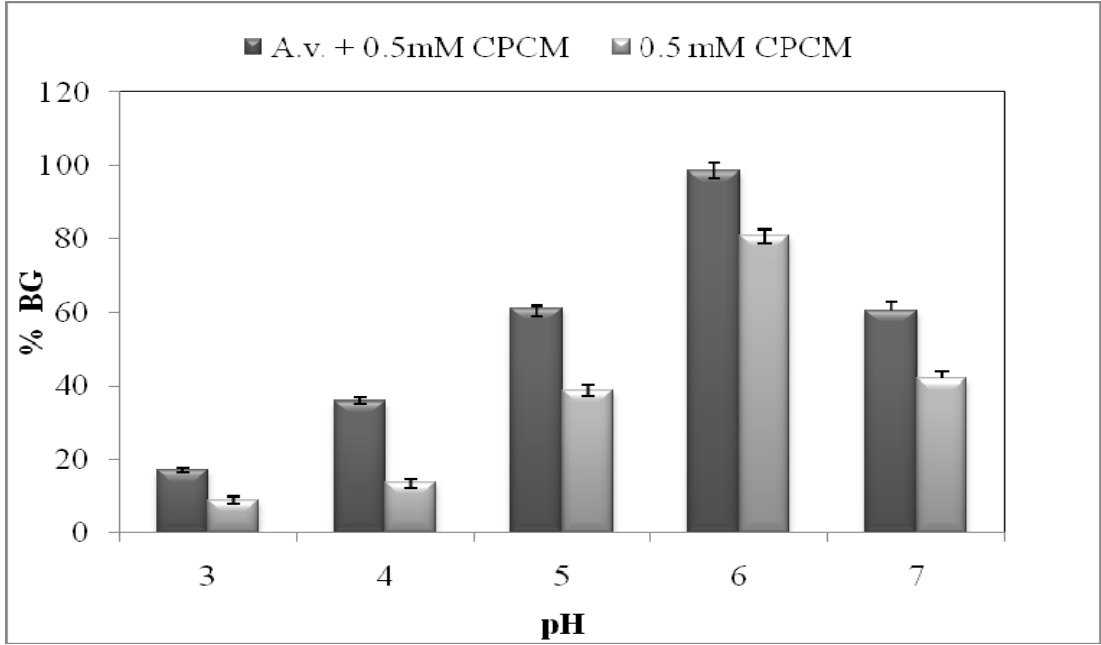
Şekil 4.9' da görüldüğü üzere, surfaktan bulunan ortamda fungus %98.6 ile en yüksek boya giderimini gerçekleştirmiştir. Surfaktanın tek başına %80.8 gibi yüksek bir değerde giderim yaptığı saptanmıştır.

4.3.1 Optimum pH belirlenmesi

Çalışmalarda *A. versicolor* kültürü CPCM bulunan ortamda en iyi giderim yaptığı besiyeri pH'ını belirlemek için pH: 3, 4, 5, 6 ve 7 değerlerindeki besiyerlerine CPCM eklenerek analiz edilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere pH 6'da hem surfaktanın hem de fungus ve surfaktanın en iyi boya giderimi yaptığı saptanmıştır.



Şekil 4.9 CPCM'nin boya giderimine (%BG) etkisi (Av: *A. versicolor*; CPCM: Cetilpridium Klorol Monohidrat; Av + CPCM: toplam % BG; pH: 6; C_{oRB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oCPCM} : 0.5 mM; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün).



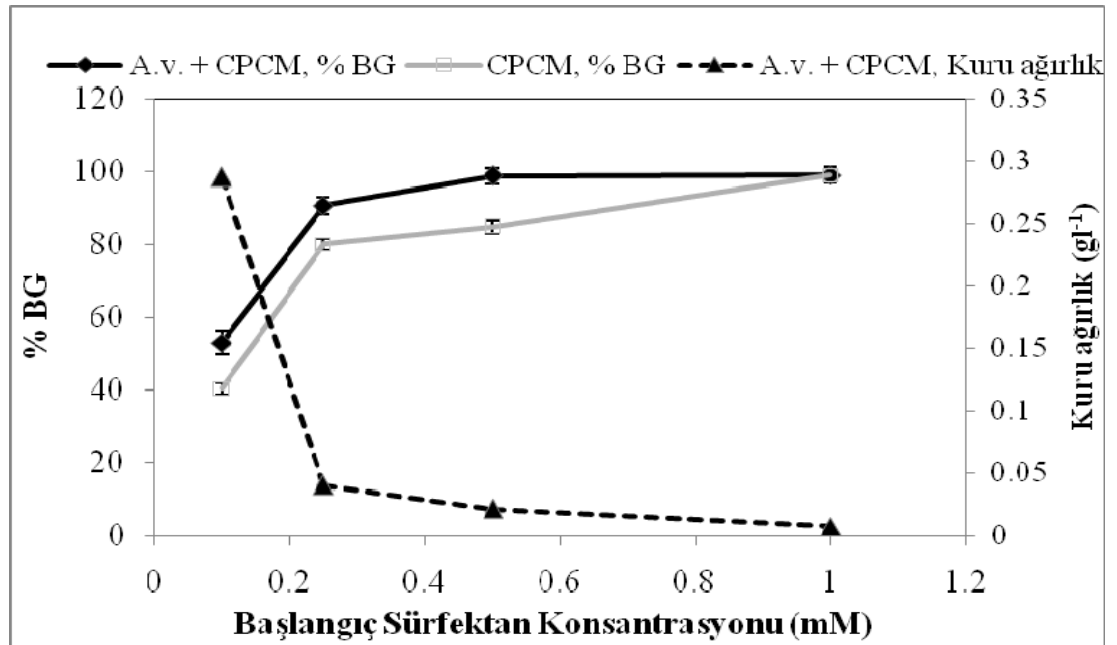
Şekil 4.10 Boya giderimine (%BG) pH'nin etkisi (Av: *A. versicolor*; CPCM: Cetilpridium Klorol Monohidrat; Av + CPCM: toplam % BG; C_{oRB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oCPCM} : 0.5 mM; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir/dakika; İs:3 gün)

4.3.2 Optimum CPCM konsantrasyonunun belirlenmesi

Boya giderimine surfaktan konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacıyla farklı surfaktan konsantrasyonlarda (0.1, 0.25, 0.5 ve 1 mM CPCM) surfaktan bulunan Melaslı besiyerinde boya giderimi analiz edilmiştir.

CPCM konsantrasyonu arttıkça boya giderimi artmakta ancak mikrobiyal gelişim belirgin bir şekilde azalmaktadır. 1 mM değere ulaştığında fungus ve surfaktanın birlikte bulunduğu ortamdan elde edilen değer surfaktanın tek başına yaptığı boya giderimine eşit olmaktadır (Şekil 4.11). Buna karşılık 1 mM CPCM bulunan fungusun kuru ağırlık değeri oldukça azdır (0.07 g l^{-1}). Bu durum burada giderimi sadece surfaktanın yaptığını düşündürmektedir.

Anyonik boya ile kationik surfaktan arasındaki etkileşimler sonucu boya tek başına surfaktan tarafından ortamdan uzaklaştırılmıştır. Yapılan tez çalışmasında önemli olan mikrobiyal giderim olduğu için CPCM kationik surfaktanı ile yapılan denemeler burada sonlandırılmıştır.



Şekil 4.11 Başlangıç CPCM konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi (Av: *A. versicolor*; CPCM: Cetilpridium Klorol Monohidrat; Av + CPCM: toplam % BG; pH: 6; C_{ORB}: 100 mg l⁻¹; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs: 1 gün).

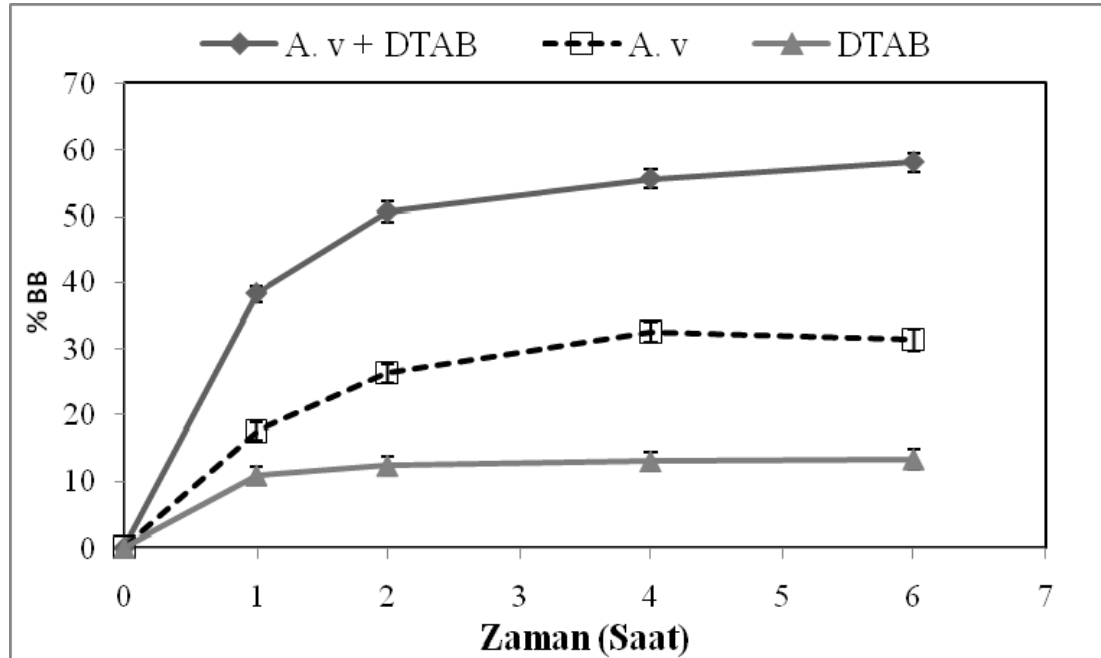
4.4 A. versicolor Kültürü Kullanılarak DTAB ile Yapılan Biyosorpsiyon Çalışmaları

Biyosorpsiyon çalışmalarında fungusu ait biyokütlenin boya giderimine DTAB bulunan ortamda pH, boya ve surfaktan konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır.

Hazırlanan ve kuru ağırlığı 3.41 g l^{-1} olan biyokütle besiyerinden canlı olarak alınıp, pH'ı 6 olan 100 mg l^{-1} boya ile 0 ve 0.5 mM DTAB içeren 100 ml distie su bulunan 250 ml'lik erlenlere steril şartlarda aktarılıp çalkalamalı ortama bırakılarak, 1. , 2. , 4. ve 6. saatlerde 2ml örnekler alınarak spektrofotometrede (600nm) analiz yapılmıştır.

DTAB bulunan ortamda giderim %58.1, DTAB bulunmayan ortamda sadece fungus tarafından %31.3 giderim gerçekleşirken sadece DTAB %13.4 boya giderimi gerçekleştirmiştir (Şekil 4.12).

DTAB'nin *A. versicolor* türünün Remazol Blue boyası biyosorpsiyonunu arttırmış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.12 DTAB'nin boya biyosorpsiyonuna (%BB) etkisi (Av: *A. versicolor* DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BB; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; C_{DTAB} : 0.5 mM; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir/dakika; İs:6 saat).

4.4.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi

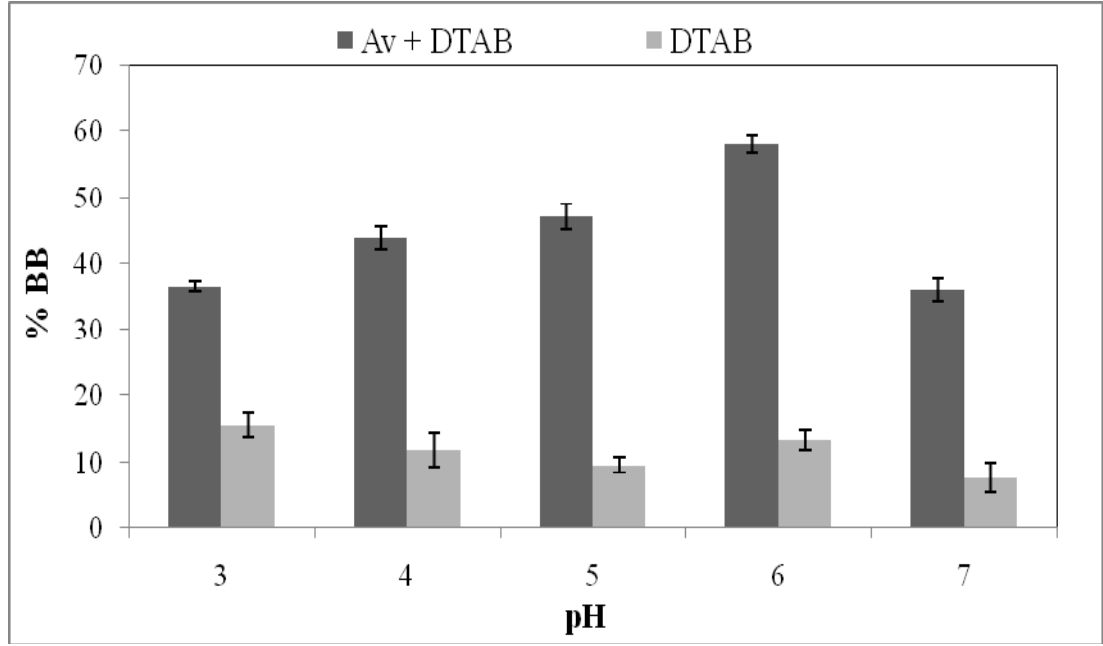
Çalışmalarda fungusun surfaktan bulunan ortamda en iyi boya biyosorpsiyonu yaptığı ortam pH'ını belirlemek için farklı pH değerlerinde (pH: 3, 4, 5, 6, 7) deney ortamına 0.5 mM DTAB eklenerek analiz edilmiştir.

şekil 4.13'de görüldüğü üzere, *A. versicolor* fungusu en iyi giderimi pH 6 'da %58.1 olarak gerçekleştirmiştir.

4.4.2 Optimum boya ve DTAB konsantrasyonunun belirlenmesi

Çalışmalarda fungusun en iyi giderim yaptığı surfaktan ve boya konsantrasyonunu belirlemek için farklı surfaktan değerlerinde (0.5, 1 ve 2 mM) ve farklı boya konsantrasyonlarında (50, 100 ve 150 mg^l⁻¹) boya giderimi analiz edilmiştir. 250 ml'lik erlenlerde pH'ı 6 olan 50, 100 ve 150 mg^l⁻¹ boya ve 0.5, 1 ve 2 mM DTAB içeren 100 ml steril distile su hazırlanmış ve hazırlanan 5 g yaş fungus biokütlesi ilave edilerek analizler tamamlanmıştır.

Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi her üç boya konsantrasyonunda da DTAB konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal boya giderimi de artış göstermiştir. Tüm DTAB konsantrasyonlarında en iyi boya giderimi 100 mg^l⁻¹ boya bulunan ortamda gerçekleşmiştir.



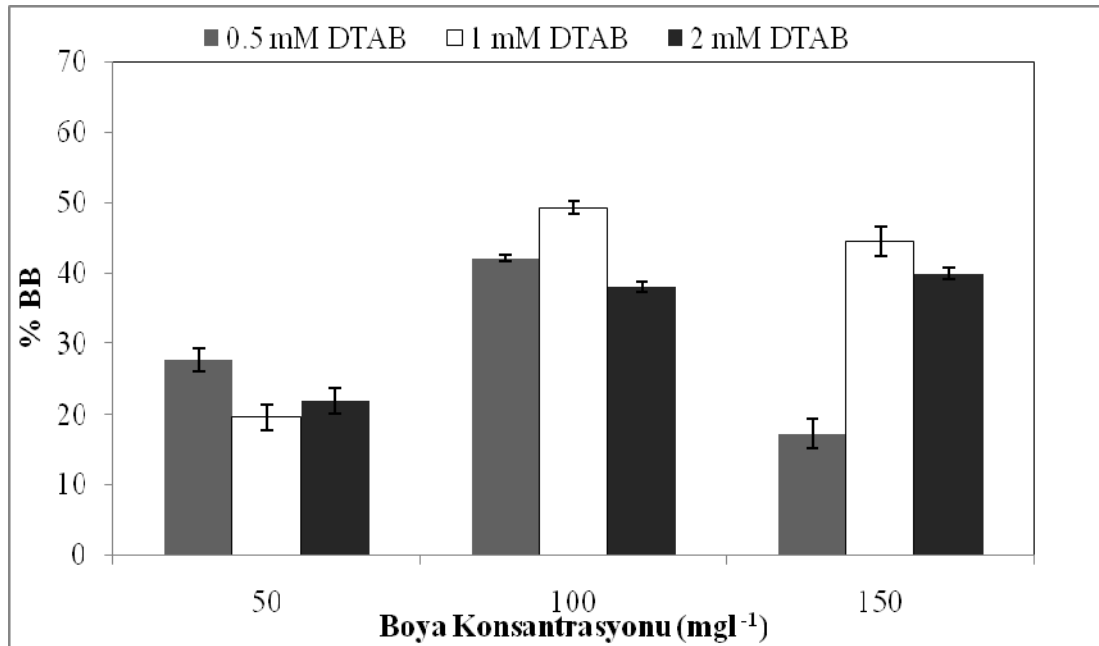
Şekil 4.13 Boya biyosorpsiyonuna (%BB) pH'ın etkisi (Av: *A. versicolor* DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BB; pH: 6; C_{oRB} : 100 mg l⁻¹; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs:6 saat)

Çizelge 4.3 Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun boya biyosorpsiyonuna (% BB) ikili etkisi (A.v.: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; C_{oRB} : Başlangıç boya konsantrasyonu; C_{oDTAB} : Başlangıç surfaktan konsantrasyonu; pH: 6; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs:6 saat)

C_{oRB} (mg l ⁻¹)	C_{oDTAB} (mM)	A.v. + DTAB (Toplam %BB)	DTAB (%BB)
50	0.5	42.9 (± 1.6)	15.2 (± 0.7)
	1	62.2 (± 1.8)	42.6 (± 0.9)
	2	81.7 (± 1.8)	59.8 (± 1.4)
100	0.5	58.1 (± 1.4)	13.4 (± 0.5)
	1	90.2 (± 0.9)	40.9 (± 1.6)
	2	93.1 (± 0.8)	53.1 (± 3.1)
150	0.5	24.6 (± 2.1)	7.3 (± 0.2)
	1	57.2 (± 2.1)	12.8 (± 0.7)
	2	85.6 (± 0.8)	45.7 (± 0.8)

A. versicolor kültürü ve DTAB'nin birlikte bulunduğu ortamdan elde edilen verilerden DTAB'nin tek başına bulunduğu ortam verilerinin çıkartılması sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Şekil 4.14'de görüldüğü üzere, en iyi giderim 100 mg l^{-1} boya olan ortamda 1 mM surfaktan varlığında %49.3 (90.2 – 40.9) gerçekleşmiştir.

İnkübasyon süresi sonunda maksimum spesifik boya giderimi Çizelge 4.4'de özetlenmiştir. *A. versicolor* kültürünün g hücre başına boya giderimi 1 mM DTAB'nin bulunduğu ortamda en fazladır ve 16.92 mg g^{-1} 'dir. Bu nedenle optimal surfaktan konsantrasyonu 1 mM olarak belirlenmiştir. Surfaktan konsantrasyonu arttıkça sürfekanın tek başına boya giderim etkinliği artmaktadır. Bu nedenle gram hücre tarafından giderilen boya miktarı azalmıştır.



Şekil 4.14 Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun biyosorpsiyonuna (% BB) ikili etkisi (Veriler: [(A.v. + DTAB) – (DTAB)]; A.v: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH: 6; S: $25 \pm 1^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir/dakika; İs:6 saat).

İnkübasyon süresi sonunda, 1 mM DTAB bulunan ortamda 50, 100 ve 150 mg l^{-1} boya bulunan ortamda maksimum spesifik boya giderimi Çizelge 4.5'de gösterilmiştir. Boya konsantrasyonu arttıkça g hücre başına alınan boya miktarı da artmıştır.

Çizelge 4.4 Artan DTAB konsantrasyonlarında gram hücre başına düşen maksimum spesifik boya miktarları (C_{ORB} : 100 mg l⁻¹ ; C_{ODTAB} : Başlangıç surfaktan konsantrasyonu; q_m : kirletici miktarı; BB: Boya biyosorpsiyonu; pH: 6; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs: 6 saat)

C_{ODTAB} (mM)	Toplam % BB	q_m (mg g ⁻¹)
0.5	58.1 (± 1.4)	10.29
1	90.2 (± 0.9)	16.92
2	93.1 (± 0.8)	5.81

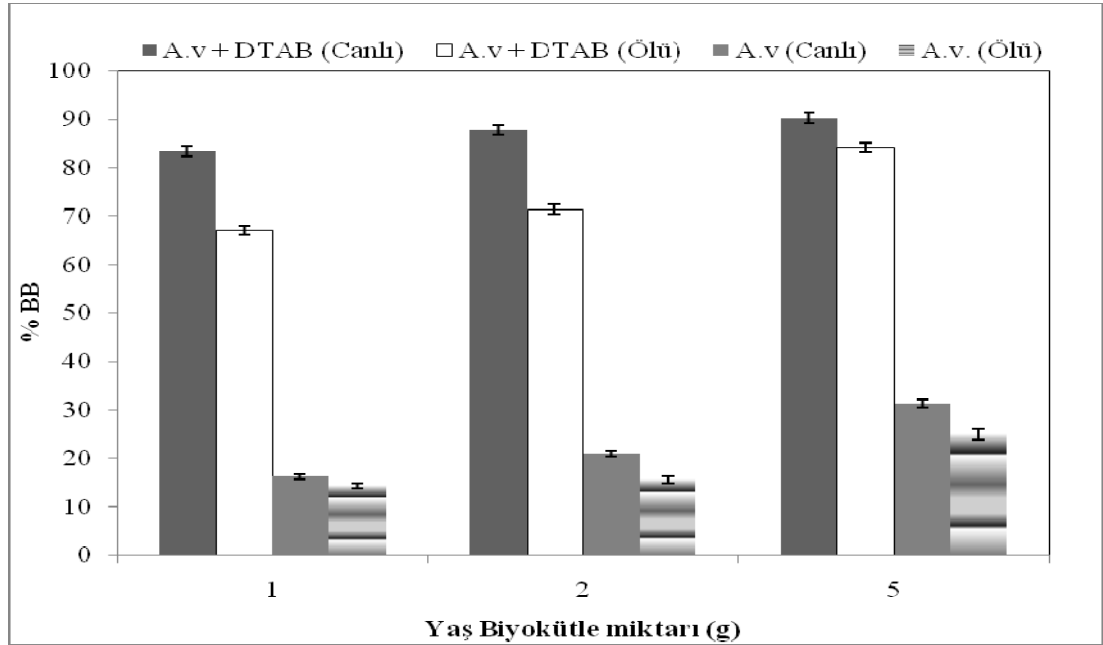
Çizelge 4.5 Artan Remazol Blue (RB) konsantrasyonlarında gram hücre başına düşen maksimum spesifik boya miktarları (BB: Boya biyosorpsiyonu; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; C_{ORB} : Başlangıç boya konsantrasyonu; C_{ODTAB} : 1mM; pH: 6; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs: 6 saat)

C_{ORB} (mg l ⁻¹)	Toplam % BB	q_m (mg g ⁻¹)
50	62.2(± 1,8)	5.57
100	90.2(± 0.9)	16.92
150	57.2(± 2.1)	18.06

4.4.3 Biyokütlenin Etkisi

Çalışmalarda *A. versicolor* kültrünün boya biyosorpsiyonuna biyokütlenin etkisini belirlemek için farklı miktarlarda (1, 2 ve 5 g) biyokütlenin gerçekleştirdiği boya giderimi analiz edilmiştir. Çalışmalarda 250 ml'lik erlenlerde pH'ı 6 olan 100 mg l⁻¹ boya ve 1 mM DTAB içeren 100 ml steril distile su hazırlanmış ve hazırlanan yaş 1, 2 ve 5 g fungusun ölü ve canlı biyokütlesi ilave edilmiştir.

Canlı *A. versicolor* kültürü surfaktanlı ortamda en yüksek boya giderimini gerçekleştirmiştir. Biyokütle miktarı arttıkça giderim oranı da artmıştır ve en iyi giderim canlı hücreler tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Boya biyosorpsiyonuna (%BB) biyokütlenin etkisi (A.v: *A. versicolor*; DTAB; Dodesiltrimetil amonyum bromür; Av + DTAB: toplam % BB; pH: 6; C_{ORB}: 100 mg l⁻¹; C_{oDTAB}: 1 mM; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika; İs: 6 saat).

4.5 Üremekte Olan *R. arrhizus* Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Aktif *R. arrhizus* kültürü Melaslı besiyerinde üremekte iken DTAB bulunan ortamda fungusun gerçekleştirdiği boya giderimine pH, boya ve surfaktan konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır.

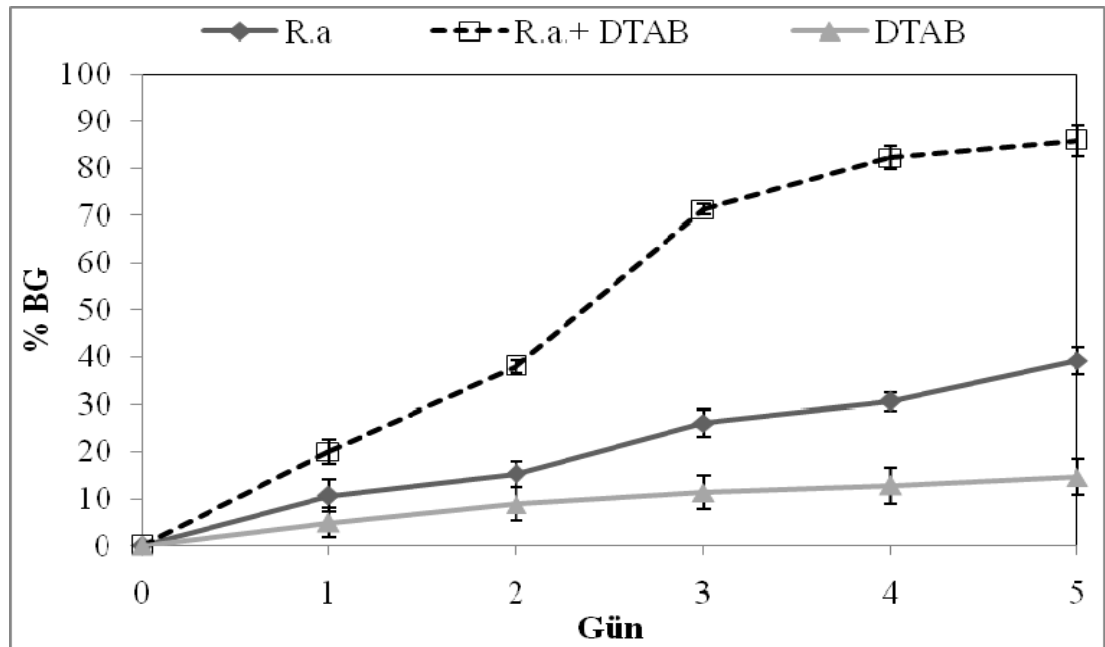
Surfaktanın boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacıyla DTAB'li ve DTAB'siz ortamda aktive edilen fungusun boya giderimi analiz edilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca DTAB (0.5 mM) içeren ortamda fungal giderim DTAB içermeyen ortama göre daha yüksektir. Beş günlük inkübasyon süresi sonunda surfaktansız ortamda boya giderimi %39.2 iken, surfaktanlı ortamda fungal boya giderimi %85.9 değeri ile maksimuma ulaşmıştır. Tek başına DTAB ise 5. gün sonunda %14.6 boya giderimi yapmıştır. Fungus surfaktansız ortamda beşinci gün sonunda gerçekleştirdiği boya giderim değerini surfaktanlı ortamda üçüncü gün sonunda

ulaşmıştır. Sürfaktan fungal boya gideriminin daha hızlı gerçekleşmesini sağlamıştır (Şekil 4.16).

Sürfaktan bulunmayan ortamda fungal kuru ağırlık 3.315 gl^{-1} iken 0.5 mM surfaktan bulunan ortamda 2.995 gl^{-1} olarak belirlenmiştir.

DTAB katyonik surfaktanı fungal gelişimi olumsuz etkilediği için surfaktan bulunan ortamda gelişen fungusa ait kuru ağırlık değeri surfaktan bulunmayan ortamdakine göre daha azdır. Sürfaktan bulunan ortamda boya giderimi surfaktan bulunmayana göre daha fazladır. DTAB surfaktanı gelişimi olumsuz etkilemesine rağmen fungal boya giderimini arttırmıştır.

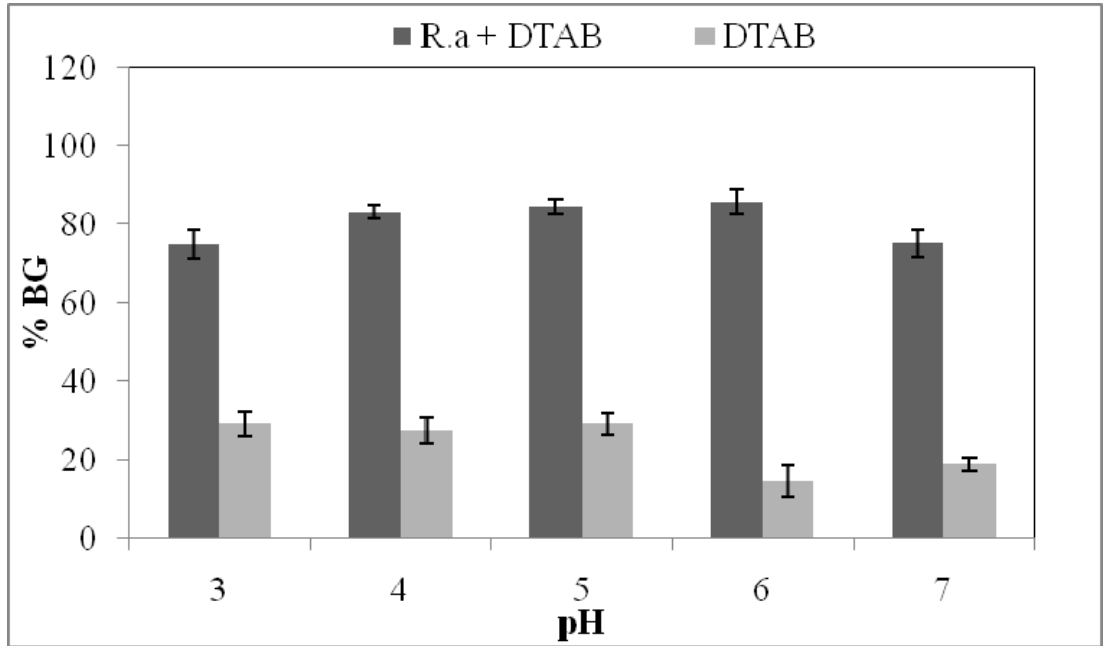


Şekil 4.16 DTAB'nin *R. arrhizus* fungusunun boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Ra + DTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDTAB} : 0.5 mM ; S: $30 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; İs:5 gün).

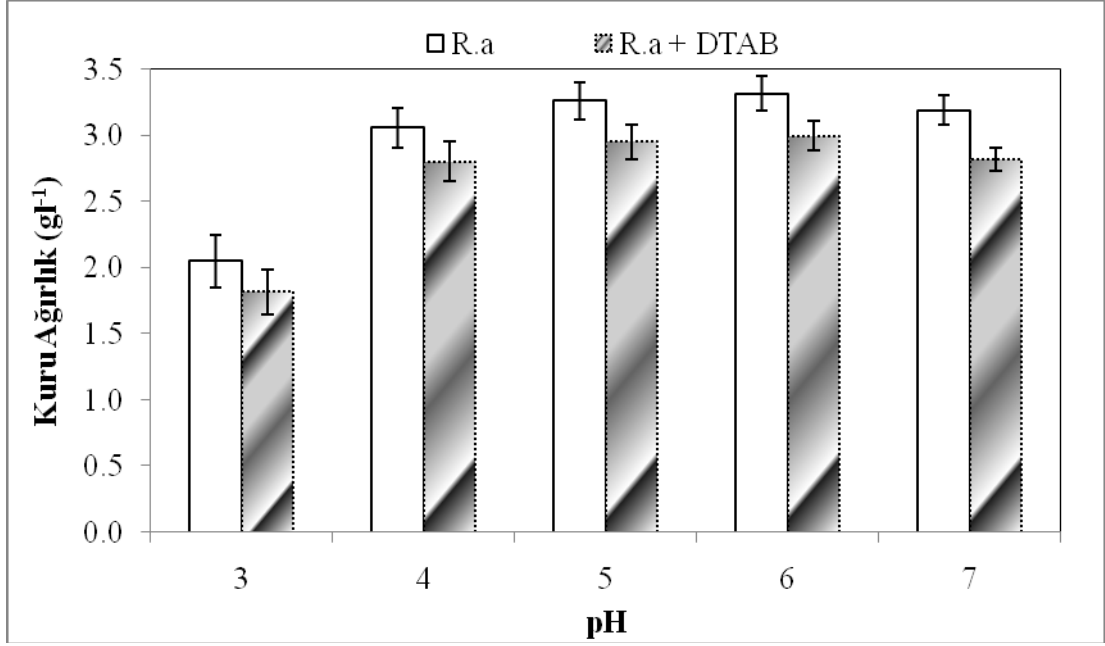
4.5.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi

Çalışmalarda *R. arrhizus* kültürünün surfaktan bulunan ortamda en iyi giderim yaptığı besiyeri pH'ını belirlemek için pH 3, 4, 5, 6 ve 7 değerlerine sahip Melaslı besiyerinde deneyler yapılmıştır.

Beş günlük inkübasyon süresi sonunda ortam pH'ı arttıkça boya giderimi artmış olup, pH 6'da en yüksek boya giderimi gözlenmiştir. pH 7'ye yükseldiğinde ise boya giderimi düşmüştür. Deney sonuçlarına göre en iyi giderimin gerçekleştiği pH değeri 6 olarak belirlenmiş (Şekil 4.17) ve daha sonraki tüm denemelerde besiyeri pH'ı 6 olarak ayarlanmıştır



Şekil 4.17 pH'ın boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Ra + DTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{oRB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).



Şekil 4.18 pH'nin fungal gelişime etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH: 6; C_{ORB}: 100 mg l⁻¹; C_{oDTAB}: 0.5 Mm; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).

Fungal gelişime pH'nin etkisi incelendiğinde en iyi gelişimin hem surfaktan bulunan hem de surfaktan bulunmayan ortamlarda pH 6'da olduğu görülmüştür (Şekil 4.18).

Fungal boya giderimi ve gelişim göz önüne alındığında optimal pH'ın 6 olduğu saptanmıştır.

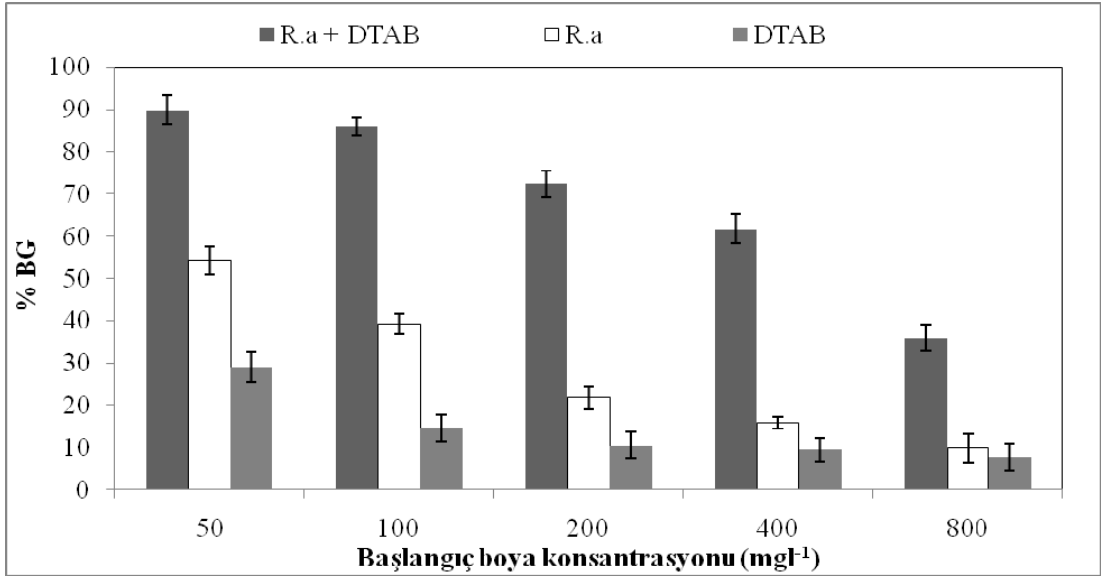
4.5.2 Optimum boya konsantrasyonunun belirlenmesi

Boya giderimine başlangıç boya konsantrasyonunun etkisinin belirlenmesi amacıyla farklı boya konsantrasyonları olan 50, 100, 200, 400 ve 800 mg l⁻¹ boya içeren DTAB'li ve DTAB'siz ortamda aktive edilen *R. arrhizus* kültürünün boya giderimi analiz edildi.

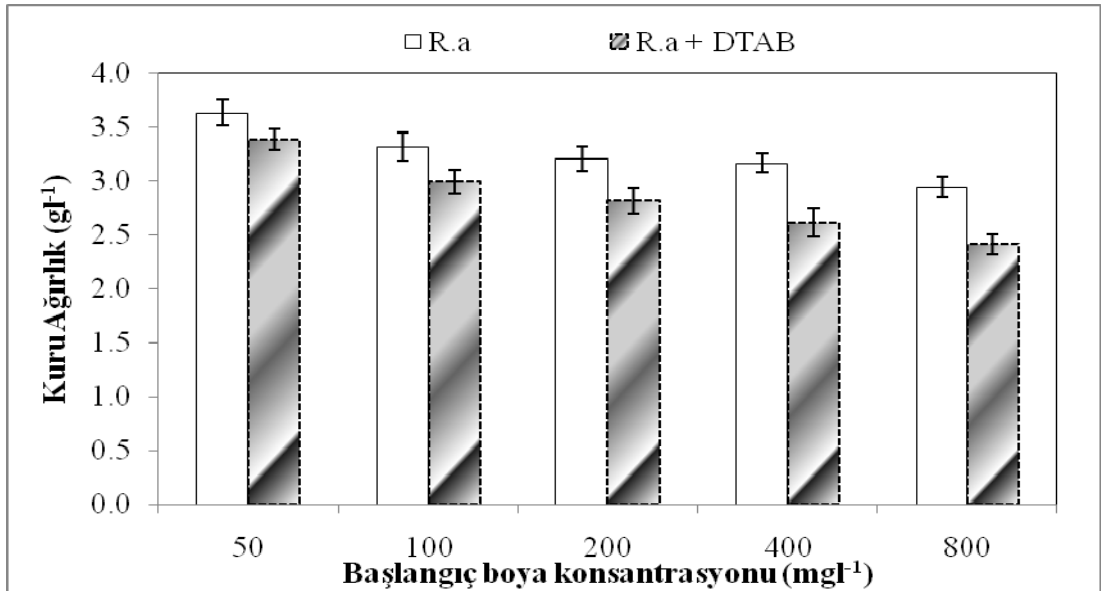
Fungus 50 ve 100 mg l⁻¹ boya konsantrasyonu gibi düşük boya konsantrasyonlarında ve 0.5 mM DTAB bulunan ortamda en yüksek giderimi yapmıştır (Şekil 4.19).

Fungus 50 ve 100 mg l⁻¹ boya konsantrasyonunda en iyi gelişimi göstermiştir. Boya konsantrasyonu artıkça gelişmiş fungusa ait kuru ağırlık değeri azalmıştır (Şekil 4.20).

Deney sonuçlarına göre *R. arrhizus* düşük boya konsantrasyonlarında hem daha iyi gelişim göstermiş hem de daha iyi boya giderimi gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.19 Başlangıç boya konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Ra + DTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{0DTAB}: 0.5 mM; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).



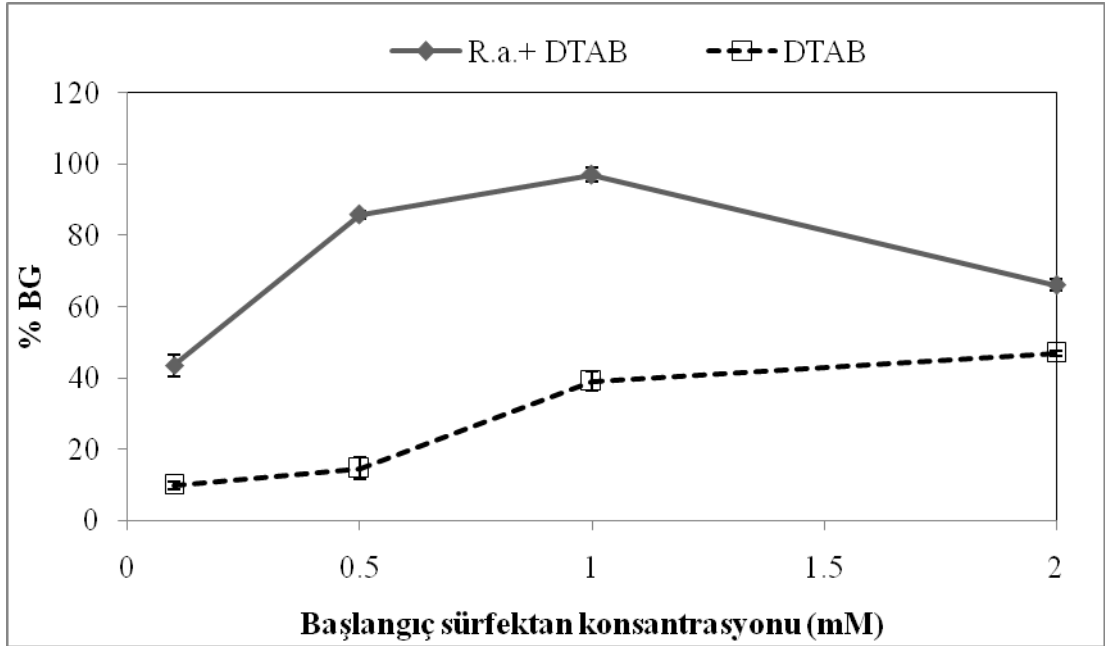
Şekil 4.20 Başlangıç boya konsantrasyonunun fungal gelişime etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH: 6; C_{0DTAB}: 0.5 mM; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).

4.5.3 Optimum DTAB konsantrasyonunun belirlenmesi

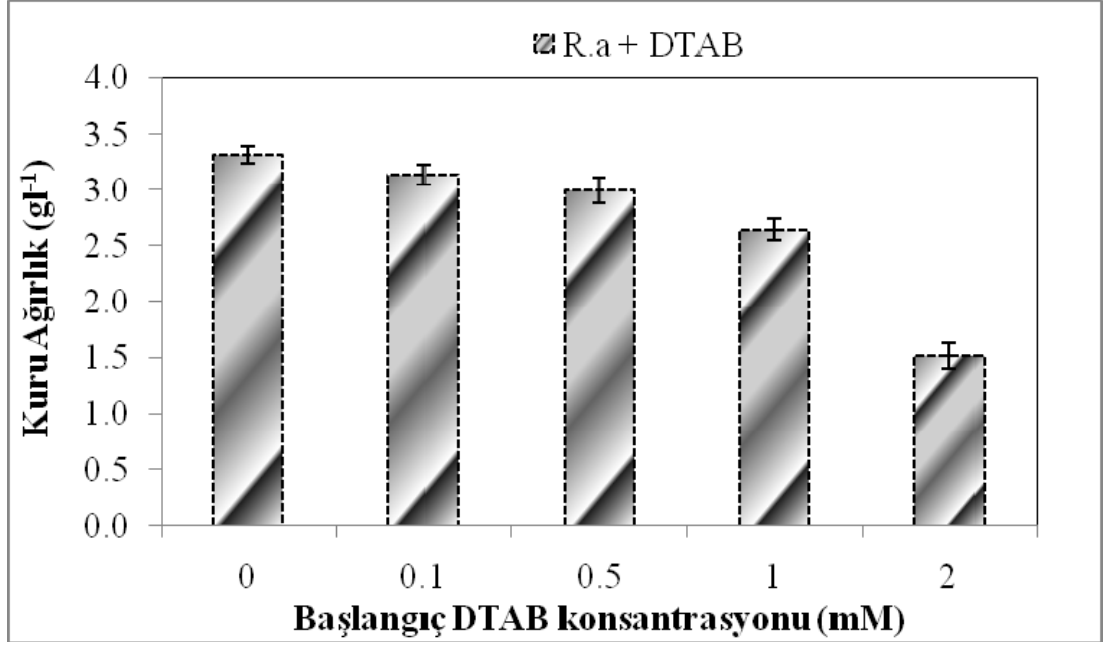
Surfaktan konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacı ile *R. arrhizus* fungusu tarafından 0, 0.1, 0.5, 1 ve 2 mM DTAB ile 100 ve 800 mg l⁻¹ boyanın giderimi pH'ı 6 olan 100 ml Melaslı besiyerinde 5 günlük inkübasyon süresince analiz edilmiştir.

Fungus düşük boya konsantrasyonlarında en iyi giderimi gerçekleştirmiş olup, düşük boya konsantrasyonu olan 100 mg l⁻¹ boya içeren ve DTAB bulunan hem funguslu hem de fungusuz ortamda gerçekleşen boya giderimi şekil 4.21'de gösterilmiştir. Surfaktan konsantrasyonu 1 mM'a doğru arttıkça boya giderimide artmıştır ancak konsantrasyon 2 mM olduğunda boya gideriminde düşüş olmuştur.

Elde edilen verilere göre DTAB konsantrasyonu artışında gelişen mikrobiyal biyokütle azalmış ve surfaktan varlığında mikrobiyal gelişim olumsuz etkilenmiştir (Şekil 4.22).



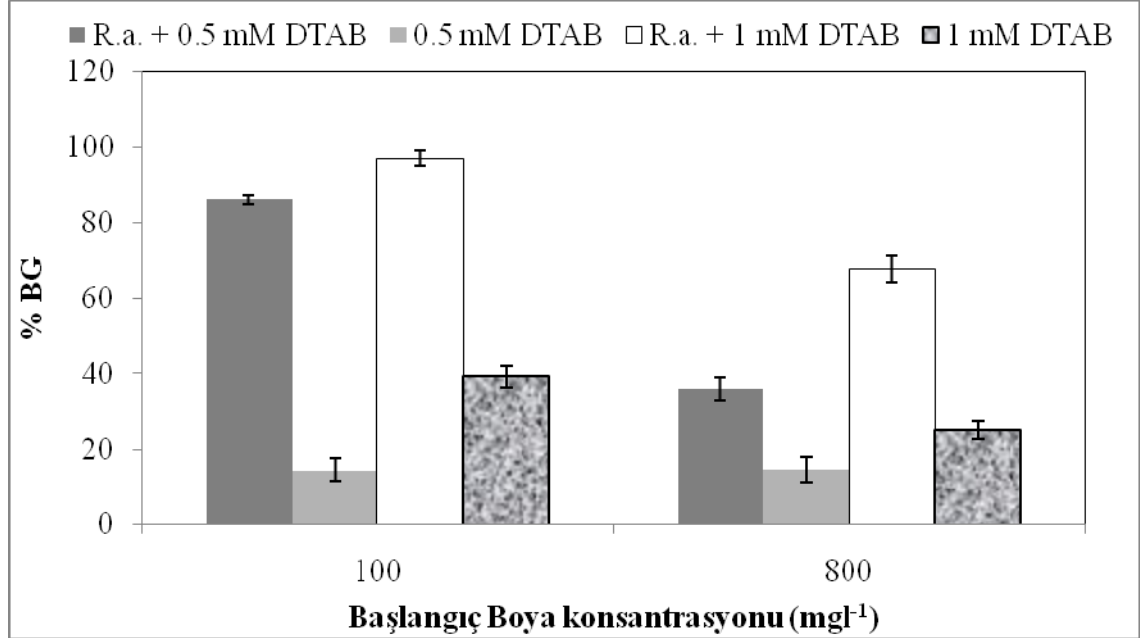
Şekil 4.21 Başlangıç surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Ra + DTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{oRB}: 100 mg l⁻¹; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).



Şekil 4.22 Başlangıç surfaktan konsantrasyonunun fungal gelişime etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH: 6; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).

Şekil 4.21 - 4.22’de görüldüğü üzere surfaktan konsantrasyonu 1 mM’a doğru arttığında boya giderimi artmış ancak fungal gelişim azalmıştır.

R. arrhizus kültürü ile DTAB surfaktanı kullanılarak yapılan denemelerin sonuçlarında hem surfaktan hem de boya konsantrasyonunun boya gideriminde etkin rol oynadığı görülmüştür. Düşük boya konsantrasyonunda (100 mg l^{-1} boya) hem 0.5 mM hem de 1 mM DTAB bulunan ortamlarda fungusun gerçekleştirdiği boya giderimi değerleri birbirine çok yakın olmuştur. Aynı surfaktan konsantrasyonlarında yüksek boya konsantrasyonu olan 800 mg l^{-1} boya içeren ortamdaki giderim araştırılmıştır. Yüksek boya konsantrasyonunda 1 mM DTAB bulunan ortamda fungal boya giderimi 0.5 mM DTAB bulunan ortamdakinin yaklaşık 2 katı kadar olmuştur. Yüksek boya konsantrasyonlarında daha yüksek DTAB konsantrasyonunun etkin olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Başlangıç boya ve surfaktan konsantrasyonunun boya giderimine (% BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; Ra + DTAB: toplam % BG; pH: 6; S: 30 ± 1 °C; İs:5 gün).

Her iki boya konsantrasyonunda en iyi giderimin gerçekleştiği DTAB konsantrasyonu 1 mM olarak belirlenmiş ve 100 mg l⁻¹ boya konsantrasyonunda %97.1, 800 mg l⁻¹ boya konsantrasyonunda ise %52.8 olarak hesaplanmıştır. Fungusun boya giderim kapasitesi ise hem 100 mg l⁻¹ hem de 800 mg l⁻¹ boya bulunan ortamda surfaktan konsantrasyonunun artışı ile birlikte artış göstermiştir (Şekil 4.23).

İnkübasyon süresi sonunda hem düşük hem de yüksek boya konsantrasyonlarında maksimum spesifik boya giderimi çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Ortamda 100 mg l⁻¹ boya bulunduğu zaman 0.5 ve 1 mM surfaktan konsantrasyonlarında elde edilen q_m değerlerinin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Düşük boya konsantrasyonlarında 0.5 ve 1 mM gibi düşük surfaktan konsantrasyonunun etkili olduğu görülmüştür. Yüksek boya konsantrasyonlarında yüksek surfaktan konsantrasyonunun etkin olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak her iki boya konsantrasyonu için 1 mM surfaktan konsantrasyonunun en iyi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 Artan DTAB konsantrasyonlarında gram hücre başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarları (C_{oDTAB} : Başlangıç surfaktan konsantrasyonu; C_{oRB} : Başlangıç boya konsantrasyonu; q_m : maksimum spesifik kirletici miktarları; R.a: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; BG: Boya giderimi; pH: 6; S: 30 ± 1 °C; İs: 5 gün)

C_{oRB} (mg l ⁻¹)	C_{oDTAB} (mM)	R.a. + DTAB Toplam % BG	X_m (g l ⁻¹)	q_m (mg g ⁻¹)
100	0.1	43.6 (± 3.1)	3.135	13.01
	0.5	85.9 (± 1.1)	2.995	30.22
	1	97.1 (± 1.9)	2.645	27.22
	2	66.1 (± 0.6)	2.015	15.83
800	0.1	20.4 (± 1.9)	2.39	55.31
	0.5	33.9(± 0.1)	2.41	98.34
	1	52.8(± 3.4)	2.285	137.02
	2	52.4(± 3.1)	1.34	109.25

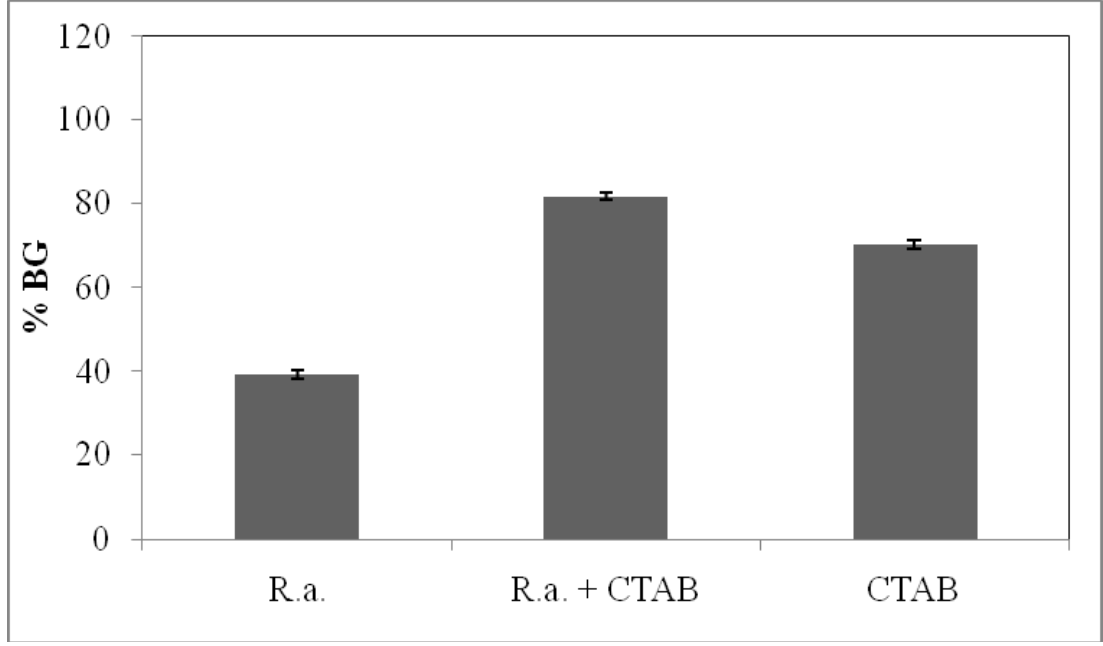
4.6 Üremekte olan *R. arrhizus* kültürü ile CTAB kullanılarak yapılan çalışmalar

R. arrhizus kültürü ile surfaktan seçimi deneylerinde fungus gelişimine ve boya giderimine olanak sağlayan CTAB katyonik surfaktanının etkisi araştırılmıştır.

CTAB'li ve CTAB'siz ortamda aktive edilen *R. arrhizus* kültürünün boya giderimi analiz edilerek surfaktanın boya giderimine ve fungal gelişime etkisi belirlenmiştir.

CTAB bulunan ortamda mikrobiyal boya giderimi en fazladır ve 5. günde %81.6 olarak saptanmıştır (Şekil 4.24).

Fungusun kuru ağırlık verileri incelendiğinde surfaktan bulunmayan ortamda 3.315 gl⁻¹ olan kuru ağırlık değerinin 0.5 mM CTAB bulunan ortamda 2.65 gl⁻¹ olduğu tespit edilmiştir.

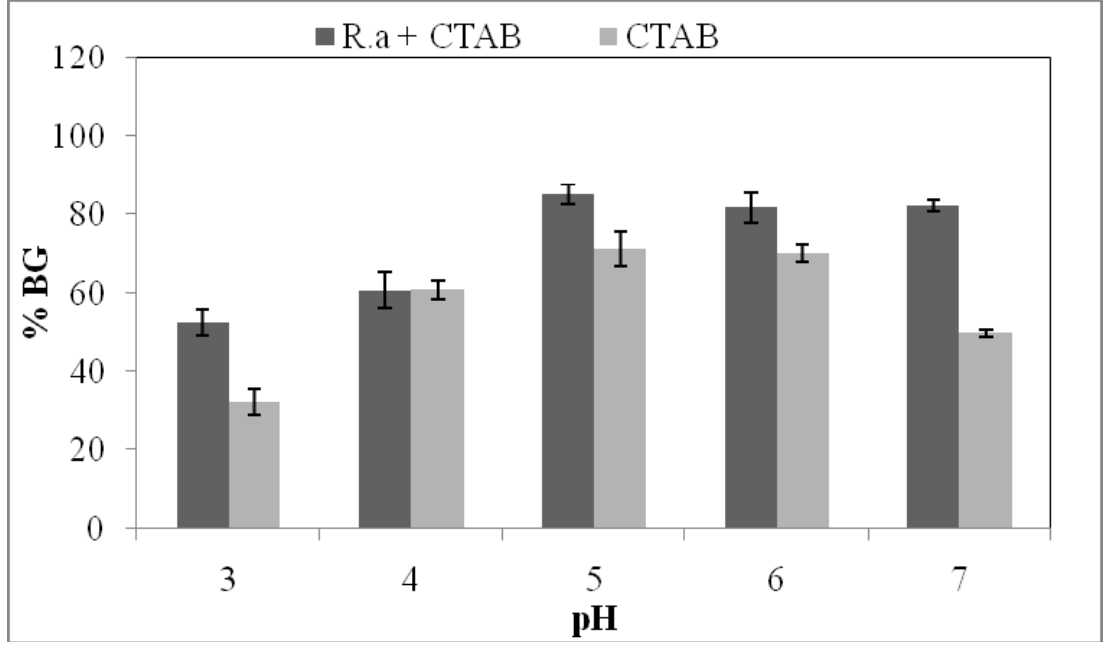


Şekil 4.24 CTAB'nin fungal boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; CTAB: Alkiltrimetil amonyum bromür; Ra + CTAB: toplam % BG; pH: 6; C_{ORB} : 100 $mg\ l^{-1}$; C_{OCTAB} : 0.5 mM; S: 30 ± 1 °C; İs: 5 gün)

R. arrhizus kültürünün gelişimini CTAB olumsuz etkilemiş, ancak fungal boya gideriminde artış görülmüştür.

4.6.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi

Çalışmalarda *R. arrhizus* fungusunun surfaktan bulunan ortamda en iyi giderim yaptığı besiyeri pH'sını belirlemek için pH: 3, 4, 5, 6 ve 7 değerleri denenmiştir. Analiz sonucunda en iyi boya gideriminin pH 5 'te (%85) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.25) . Ancak CTAB katyonik surfaktanınında tek başına çok etkili olduğu %70.2 giderim yaptığı saptanmıştır. Bu durum tez çalışmasının amacına hizmet etmediği için *R. arrhizus* kültürü ile CTAB surfaktanı denemeleri sonlandırılmıştır. Tez çalışmasının temel amaçlarından biri de surfaktan etkisi ile mikroorganizmanın boya giderim kapasitesini artırmaktır.

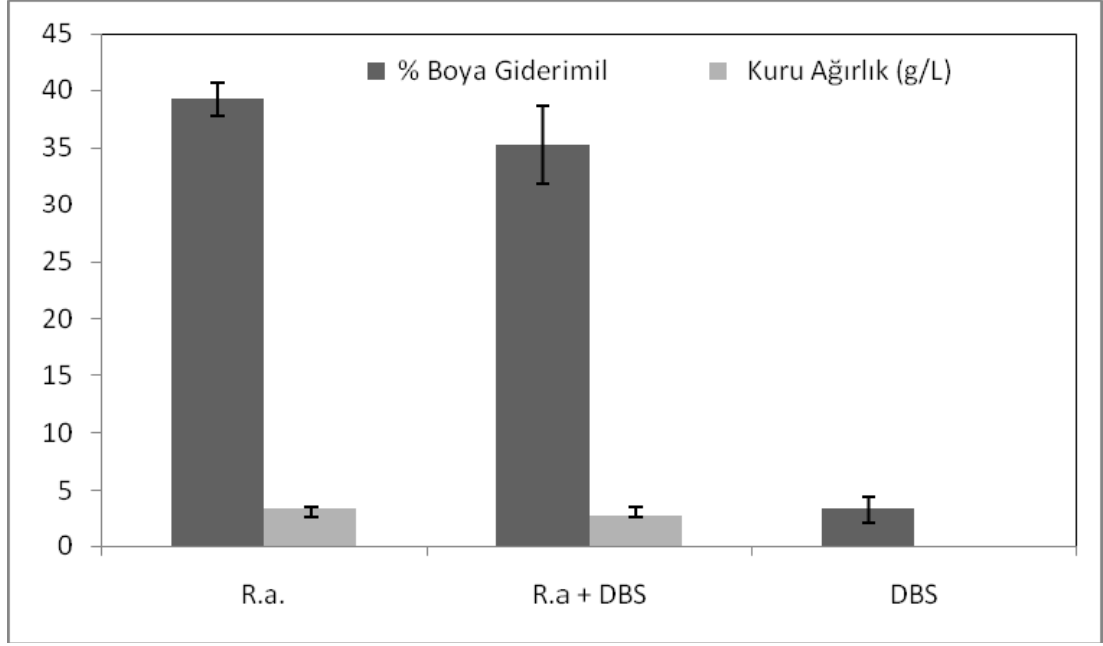


Şekil 4.25 pH'nın boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; CTAB: Alkiltrimetil amonyum bromür; Ra + CTAB: toplam % BG; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; C_{OCTAB} : 0.5 mM; S: 30 ± 1 °C; İs: 5 gün)

4.7 Üremekte olan *r. Arrhizus* Kültürü ile Dbs Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

R. arrhizus kültürü ile surfaktan seçimi deneylerinde fungus gelişimine ve boya giderimine olanak sağlayan DBS anyonik surfaktanının etkisi araştırılmıştır.

Surfaktanın boya giderimine etkisini belirlemek için DBS'li ve DBS'siz ortamda alıştırma yapılan *R. arrhizus* kültürünün boya giderimi analiz edilmiştir. Şekil 4.26'da görüldüğü üzere DBS bulunan ortamda boya giderimi azalmıştır. DBS bulunan ortamda kuru ağırlık azalmış ve mikrobiyal gelişim de olumsuz etkilenmiştir.



Şekil 4.26 DBS'nin boya giderimine (%BG) etkisi (R.a: *R. arrhizus*; DBS: Dodesilbenzen Sulfonik Asit Sodyum tuzu; Ra + DBS: toplam % BG; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDBS} : 0.5 mM; S: 30 ± 1 °C; İs: 5 gün)

4.8 *R. arrhizus* Kültürü ile DTAB Kullanılarak Yapılan Biyosorpsiyon Çalışmaları

Üremekte olan fungusun sadece DTAB surfaktanı ile boya gideriminin arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle biyosorpsiyon çalışması DTAB kullanılarak yapılmıştır. *A. versicolor* kültürü ile yapılan önceki çalışmalarda fungusun boya biyosorpsiyonu için optimal pH, boya ve surfaktan konsantrasyonu koşulları denenmiştir. Denemeler sonunda boya biyosorpsiyonu için optimal koşulların üremekte olan fungusun boya giderim koşulları ile aynı olduğu görülmüştür. Bu nedenle *R. arrhizus* türü ile yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında optimal koşullar araştırılmamış ve üremekte olan kültürle daha önce yapılan deney sonuçlarında belirlenen optimal koşullar kullanılmıştır.

R. arrhizus fungusu DTAB kullanılarak denemeler yapılmıştır. Melaslı besiyerinde üremekte olan *R. arrhizus* kültürünün en iyi giderim yaptığı ortam koşulları olan pH 6, 100 mg l^{-1} boya ve 1mM DTAB içeren steril 100 ml'lik distile su 250 ml'lik erlenlerde hazırlanmış ve gelişmekte olan hücre ile aynı miktarda (2.645 gl $^{-1}$) kuru ağırlığa sahip biyokütle canlı ve ölü olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere 1 mM DTAB bulunan ortamda ölü ve canlı hücrenin gram hücre başına gerçekleşen boya giderimleri arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Çizelge 4.7 Farklı DTAB konsantrasyonlarında gram canlı ve ölü *R. arrhizus* hücresi başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarları ve boya biyosorpsiyonu (BB: boya biyosorpsiyonu; q_m :kirletici miktarı; C_{oRB} : 100 $mg\ l^{-1}$; C_{oDTAB} : Başlangıç DTAB konsantrasyonu; pH: 6; S: 25 ± 1 °C; İS: 8 saat).

C_{oDTAB} (mM)	Canlı Hücre		Ölü Hücre	
	Toplam % BB	q_m ($mg\ g^{-1}$)	Toplam %BB	q_m ($mg\ g^{-1}$)
0	10.6 (± 0.8)	3.5	8.4 (± 1.3)	3
1	56.8 (± 7.1)	19.1	51.7 (± 6.4)	18.1
1 *	40.9 (± 1.6)		40.9 (± 1.6)	

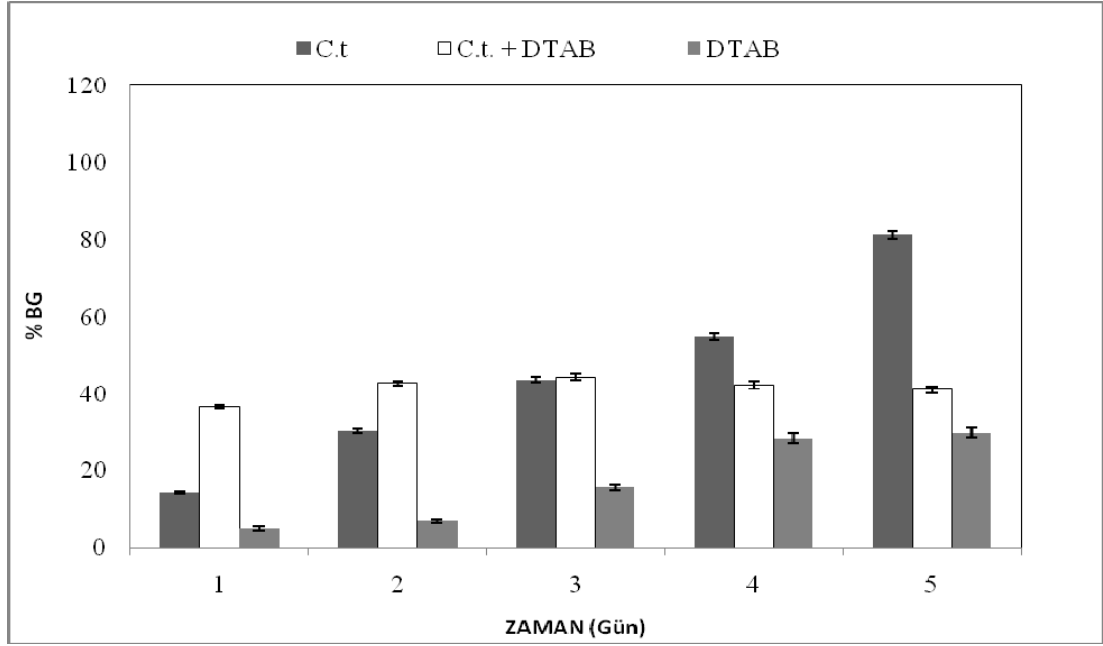
(* DTAB: Sadece surfaktan)

4.9 Üremekte Olan *Candida Tropicalis* Kültürü ile Dtab Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

C. tropicalis kültürünün ise boya giderimi pH 3’de 100 $mg\ l^{-1}$ boya ile DTAB bulunan 100 ml melashı besiyerinde boya giderimi analiz edilmiştir.

DTAB’li ve DTAB’siz ortamda alıştırma yapılan *C. tropicalis* kültürünün boya giderimi analiz edilmiştir.

DTAB bulunan ortamda fungusun boya giderimi ilk üç gün artmasına rağmen sonraki günlerde *C. tropicalis* mayası tek başına daha iyi giderim yapmıştır. DTAB *C. tropicalis* mayasının boya giderimini olumsuz etkilemiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 DTAB'nin boya giderimine (% BG) etkisi (C.t: *C. tropicalis*; DTAB: sadece 0.5 mM Dodesiltrimetil amonyum bromür; Ct + DTAB: toplam % BG; pH: 3; C_{oRB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDTAB} : 0.5 mM; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; Çh: 100 devir/dakika; İs:5 gün).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 A. *versicolor* Kültürü ile Yapılan Çalışmalar

A. versicolor kültürünün, başarılı bir şekilde boya giderimi yaptığı daha önce yapılan çalışmada gösterilmiştir (Taştan vd. 2010). Fungusla yapılan surfaktan seçimi deneylerinde DTAB ve CPCM katyonik surfaktanları fungusun hem gelişimine izin vermiş hem de boya giderimini artırmıştır. Bu nedenle bu iki surfaktan kullanılarak deneylere devam edilmiştir.

DTAB'nin üremekte olan fungusun boya giderimine etkisi deneylerinden elde edilen verilere göre 100 mg l^{-1} boya ve 0.5 mM DTAB bulunan ortamda sadece fungus tarafından (%40.1) ve sadece surfaktan (%13.2) tarafından gerçekleşen boya giderimi miktarlarını topladığımız zaman %53.3 gibi bir değere ulaşılmaktadır oysaki her ikisinin birlikte %98.9 boya giderimi gerçekleştirdiği saptanmıştır (Çizelge 5.1). DTAB ve fungusun birlikte boya giderimi (%98.9) ile her ikisinin tek başına boya gideriminin toplamı (%53.3) arasındaki belirgin fark DTAB'nin fungusun boya giderim kapasitesini arttırdığını göstermektedir.

CPCM surfaktanın etkisinin araştırıldığı deney serisinde gelişmekte olan fungus tek başına % 40.1 giderim gerçekleştirenken, 0.5 mM CPCM bulunan ortamda %98.6 giderim yapmıştır. CPCM'nin tek başına gerçekleştirdiği giderim ise %80.8'dir (Çizelge 5.1). Bu değer oldukça yüksektir. CPCM ile yapılan surfaktan konsantrasyonu deneylerinde 1 mM CPCM bulunan fungusun kuru ağırlık değeri oldukça azdır (0.07 g l^{-1}). Bu durum burada giderimi sadece surfaktanın yaptığını düşündürmektedir. Anyonik boya ile katyonik surfaktan arasındaki etkileşimler sonucu boya tek başına surfaktan tarafından ortamdan uzaklaştırılmıştır. Sunulan doktora tezinde önemli olan mikrobiyal giderim olduğu için CPCM katyonik surfaktanı ile yapılan denemeler burada sonlandırılmıştır.

Fungus surfaktan bulunmayan ortamda 3 günlük inkübasyon süresi sonunda 3.23 g l^{-1} kuru ağırlık değerine sahip bir biyokütle miktarında gelişmiştir. DTAB ve CPCM surfaktanları bulunan ortamda kuru ağırlık değeri azalmış ve her iki surfaktanda fungal

gelişimi olumsuz etkilemiştir. İnkübasyon süresi sonunda (3 günlük) 0.5 mM CPCM surfaktanı bulunan ortamda gelişen fungusun kuru ağırlığı 0.51 gl^{-1} olarak belirlenmiş, 0.5 mM DTAB bulunan ortamda ise 0.97 gl^{-1} kuru ağırlığa sahip fungus gelişmiştir. DTAB surfaktanı CPCM'ye göre fungal gelişimi daha az etkilemiştir (Çizelge 5.1).

Hem boya giderimi hem de fungal gelişim ile ilgili veriler DTAB surfaktanının CPCM surfaktanından daha etkili olduğunu ve fungal boya giderimini arttırdığını göstermiştir. *A. versicolor* türünün boya gideriminde en etkin surfaktanın DTAB olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 Surfaktanın fungal gelişime (X_m) ve boya giderimine (BG) etkisi (A.v.: *A. versicolor*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; CPCM: Setil prinidium klorol monohidrat; Av + DTAB: toplam % BG; Av + CPCM: toplam % BG; pH: 6; C_{oRB} : 100 mgl^{-1} ; C_{oDTAB} : 0.5 mM; C_{oCPCM} : 0.5 mM; S: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; İs: 3gün).

	$X_m (\text{gl}^{-1})$	% BG
A.v	3.23	40.1
A.v. + DTAB	0.97	98.9
A.v. + CPCM	0.51	98.6
DTAB		13.2
CPCM		80.8

DTAB surfaktanı kullanılarak üremekte olan fungusun 100 mgl^{-1} boya bulunan ortamda boya giderimi için optimal pH'ın belirlenmesi deneylerinde en iyi giderim pH 6'da gerçekleşmiştir (Şekil 4.4).

Başlangıç boya konsantrasyonunun belirlenmesi için yapılan deney serisinden elde edilen sonuçlara göre DTAB bulunmayan ortamlara göre DTAB bulunan ortamlarda giderim yüzdesi fazladır (Şekil 4.5). Bu durum surfaktanın tüm boya konsantrasyonlarında boya giderimini artırıcı bir etki gösterdiğini kanıtlamaktadır. Boya konsantrasyonu arttıkça hem surfaktan bulunan hem de surfaktan bulunmayan ortamda

giderim yüzdesinde de düşüş gözlenmiş, bu durum artan boya konsantrasyonunun fungus gelişimini olumsuz etkilemesinden kaynaklanmıştır (Dönmez 2002). Fungus en iyi boya giderimini DTAB'li ortamda 50 ve 100 mg^l⁻¹ gibi düşük boya konsantrasyonlarında gerçekleştirmiştir.

Optimal surfaktan konsantrasyonunun belirlenmesi için yapılan deneylerde surfaktan konsantrasyonu 0.1 mM'dan 1 mM'a doğru arttıkça boya giderimi de artmaktadır ancak surfaktan konsantrasyonu 2 mM olduğunda fungal boya giderimi düşmüştür. Optimal surfaktan konsantrasyonu 1mM olarak belirlenmiştir. Surfaktan konsantrasyonundaki artışla birlikte boya gideriminin artması katyonik olan surfaktan ile anyonik olan boya arasındaki etkileşimin bir sonucu olabilir (Aksu vd. 2010). Tek başına surfaktan boyayı daha az bir oranda gidermiştir ki; bu durum surfaktan- boya arasındaki etkileşimin boyanın *A. versicolor* kültürü tarafından daha fazla alınmasını sağlamış olduğunu düşündürmüştür. Surfaktan konsantrasyonu 2 mM'a çıktığı zaman fungal gelişim olumsuz etkilenmiş ve besiyerinde gelişmiş biyokütle miktarı az olduğu boya giderimi düşmüştür.

DTAB kullanılarak hem fungus üremekte iken boya giderimi hem de üretilmiş ölü ve canlı biyokütle ile biyosorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda hem besiyerinde üremekte olan hücrenin hem de üretilmiş canlı ve ölü biyokütlenin boya giderimi surfaktan varlığında artış göstermiştir. Her üç biyokütle de pH'ı 6 olan 100 mg^l⁻¹ boya ve 1 mM DTAB bulunan ortamda en iyi boya giderimini gerçekleştirmiştir. Surfaktan bulunmayan ortamda üretilmiş canlı ve ölü hücrenin gram hücre başına aldığı boya miktarları arasında çok belirgin bir fark bulunmamasına karşın surfaktan bulunan ortamda canlı hücre daha çok boya alımı yapmıştır. Maksimum boya alımı ise besiyerinde üremekte olan hücre tarafından gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.2).

Besiyerinde üremekte olan hücrenin boya gideriminin fazla olması metabolik etkinliklerin boya giderim mekanizmasında etkili olduğunu göstermiştir. Gelişmekte olan hücrenin boya giderim kapasitesinin fazla olması hücrel faaliyetlerle enzimatik olarak boyanın parçalandığı fikrini desteklemektedir.

Çizelge 5.2 Farklı surfaktan konsantrasyonunda gram hücre başına düşen maksimum spesifik boya miktarı (A.v: *A. versicolor*; q_m : gram hücre başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarı; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; C_{oDTAB} : Başlangıç DTAB konsantrasyonu; S: 25 ± 1 °C; Çh: 100 devir/dakika)

	Üremekte olan A.v.	Üretilmiş Canlı A.v.	Üretilmiş Ölü A. v.
	Hücresi	Hücresi	Hücresi
C_{oDTAB}	q_m	q_m	q_m
(mM)	(mg g $^{-1}$)	(mg g $^{-1}$)	(mg g $^{-1}$)
0	12.3	14.2	12.4
1	66.5	40.2	27.5

5.2 R. *Arrhizus* Kültürü ile Yapılan Çalışmalar

R. arrhizus kültürü ile yapılan surfaktan seçimi deneylerinde DTAB, CTAB ve DBS surfaktanları seçilmiştir.

CTAB ile yapılan deneylerde, 100 mg l^{-1} boya bulunan ortamda üremekte olan fungus tek başına %39.2 boya giderimi yaparken, ortama 0.5 mM CTAB eklendiğinde boya giderimi %81.6 olmuştur. CTAB (0.5 mM) tek başına %70.1 boya giderimi yapmıştır.(Çizelge 5.3). CTAB tek başına oldukça yüksek boya giderimi yapmıştır. CTAB ile yapılan optimal pH deneylerinde pH 5'te 0.5 mM CTAB'nin tek başına %71.2 giderim yaptığı, fungusun CTAB ile birlikte %85 giderim yaptığı görülmüştür. CTAB surfaktanı bulunan ortamda fungusa ait kuru ağırlığın CTAB bulunmayan ortamdakine göre daha az olduğu görülmüştür (Çizelge 5.3). CTAB fungal gelişimi olumsuz etkilemiştir. CTAB tek başına boya gideriminde çok etkin olduğu ve fungal gelişimi olumsuz etkilediği için tez çalışmasının amacına uygun olmadığı tespit edilmiş ve bu surfaktanla yapılan çalışmalara devam edilmemiştir.

DBS ile yapılan çalışmalarda üremekte olan fungus 0.5 mM DBS bulunan ortamda %35.3 boya giderimi gerçekleştirerek surfaktan içermeyen ortamdaki (%39.2) daha az giderim gerçekleştirmiştir. Deneyler sonunda DBS surfaktanının fungal gelişimi olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir (Çizelge 5.3). DBS anyonik surfaktanı anyonik boya giderimini olumsuz etkilemiştir.

DTAB surfaktanı kullanıldığı zaman 5 günlük inkübasyon süresi sonunda fungal boya giderimi %85.9 (0.5 mM DTAB, 100 mg^l⁻¹ boya) değerine ulaşmıştır. İnkübasyon süresi sonunda (5 gün) 100 mg^l⁻¹ boya ve 0.5 mM DTAB bulunan ortamda fungusun tek başına boya giderimi %39.2 ve DTAB'nin tek başına giderimi % 14.6'dır. Bu iki değer toplandığında %53.8'lik bir giderim olması beklenmesine rağmen fungus DTAB'li ortamda %85.9 giderim yapmıştır (Çizelge 5.3). Beklenen değer ile gerçekleşen değer arasındaki fark DTAB'nin fungal boya giderimini olumlu etkilemesinden kaynaklanmaktadır.

Fungal gelişim ise surfaktan bulunan ortamda daha fazla olmasına karşın DTAB varlığında azalmıştır (Çizelge 5.3). DTAB fungal gelişimi olumsuz etkilemiştir. Deney sonuçlarına göre DTAB surfaktanı *R. arrhizus* kültürünün gelişimini olumsuz etkilemesine karşın boya giderimini arttırmıştır. Elde edilen bu sonuç surfaktanın fungal boya giderim kapasitesini arttırdığını göstermiştir.

Kasyonik surfaktanlar olan CTAB ve DTAB'nin boya giderimi olumlu etkilediği ancak anyonik surfaktan olan DBS'nin boya giderimini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Remazol Blue reaktif boyası anyonik bir boyadır. Anyonik surfaktan ve anyonik boya arasındaki etkileşimler boya alımını olumsuz etkilemiştir.

Melastlı besiyerinde üremekte iken boya giderimi ölçülen *R. arrhizus* kültürü ile aynı miktarda kuru ağırlığa sahip melastlı besiyerinde üretilmiş canlı ve ölü biyokütlenin gram hücre başına aldığı boya miktarı optimal koşullarda (pH 6, 100 mg^l⁻¹ ve 1 mM DTAB) belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre üremekte olan fungusun boya giderim kapasitesi üretilmiş canlı ve ölü fungusun boya giderim kapasitesine göre

daha fazladır. Sürfaktanlı ortamda üremekte olan fungus metabolik faaliyetleri esnasında boya alım aktivitesini arttırmış bu nedenle boya giderim kapasitesi önceden üretilmiş canlı ve ölü fungusu göre daha fazla gerçekleştirmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.3 Sürfaktanın fungal gelişime (X_m) ve boya giderimine (BG) etkisi (R.a.: *R. arrhizus*; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; CTAB: Alkiltrimetil amonyumbromür; DBS: Dodesil benzen sülfonik asit sodyum tuzu; Ra + DTAB: toplam % BG; Ra + CTAB: toplam % BG; Ra + DBS: toplam % BG; pH: 6; C_{oRB} : 100 $mg\ l^{-1}$; C_{oDTAB} : 0.5 mM; C_{oCTAB} : 0.5 mM; C_{oDBS} : 0.5 mM; S: 25 ± 1 °C; İs: 3gün).

	X_m ($g\ l^{-1}$)	% BG
R.a.	3.315	39.2
R.a.+ DTAB	2.995	85.9
R.a.+ CTAB	2.65	81.6
R.a.+ DBS	2.68	35.3
DTAB		14.6
CTAB		70.1
DBS		3.2

R. arrhizus ve *A. versicolor* fungusları ile yapılan denemelerde gram hücre başına alınan kirletici miktarları hesaplanmıştır. Her iki fungusunda surfaktan bulunan ortamda aldığı kirletici miktarı surfaktan bulunmayan ortama göre daha fazladır. Her ikisinde gelişmekte iken daha fazla miktarda boya giderimi yapmıştır. En iyi giderimi ise *A. versicolor* gerçekleştirmiştir (Çizelge 5.5).

R. arrhizus kültürü ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar *A. versicolor* kültürü ile yapılan çalışma sonuçları ile benzerlik göstermiş olup, üremekte olan hücrenin metabolik faaliyetlerinin boya gideriminde etkili olduğu düşüncesini desteklemiştir.

Çizelge 5.4 Farklı surfaktan konsantrasyonunda gram hücre başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarları (R.a: *R. arrhizus*; q_m : gram hücre başına düşen maksimum spesifik kirletici miktarı; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l⁻¹; C_{oDTAB} : Başlangıç DTAB konsantrasyonu)

C_{oDTAB} (mM)	Üremekte olan R.a. Hücresi q_m (mg g ⁻¹)	Üretilmiş Canlı R.a. Hücresi q_m (mg g ⁻¹)	Üretilmiş Ölü R.a. Hücresi q_m (mg g ⁻¹)
0	9.1	3.5	3
1	27.22	19.1	18.1

Çizelge 5.5 Farklı surfaktan konsantrasyonunda gerçekleşen boya giderimi (% BG: Boya giderimi; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l⁻¹; C_{oDTAB} : Başlangıç surfaktan konsantrasyonu)

C_{oDTAB} (mM)	Gelişmekte olan Hücre Toplam % BG	Üretilmiş Canlı Hücre Toplam % BG	Üretilmiş Ölü Hücre Toplam % BG
0	40.1	17.9	15.6
<i>A. versicolor</i> 1	100	87.8	71.4
0	39.2	10.6	8.4
<i>R. arrhizus</i> 1	97.1	56.8	51.7

5.3 Üremekte Olan *C. Tropicalis* Kültürü ile Yapılan Çalışmalar

Çalışmada kullanılan maya olan *C. tropicalis* kültürünün surfaktan seçimi deneylerinde DTAB surfaktanı bulunan ortamda boya giderimi pH 3’de gözlenmiştir. Dönmez (2002) yaptığı çalışmada *C. tropicalis* türü tarafından Remazol Blue gideriminin en iyi pH’ı 3 olan besiyerinde gerçekleştiğini göstermiştir. Bu nedenle *C. tropicalis* kültürünün boya giderimine DTAB etkisinin araştırıldığı deneylerde besiyeri pH’ı 3’e ayarlanmıştır.

Yapılan analizler göstermiştir ki surfaktan mayanın boya giderimini artırmamıştır. İlk üç gün DTAB’li ortamda boya giderimi artmış, ancak sonraki günlerde DTAB’nin bulunmadığı ortamda boya giderimi daha fazla gerçekleşmiştir. Bunun nedeni DTAB’nin mikrobiyal gelişimi olumsuz etkilemesi ve biyokütlesinde artış az olan mikroorganizmanın DTAB’li ortamda daha az boya giderimi yapmasıdır.

5.4 Çalışmada Kullanılan Sürfaktanların ve Mikroorganizmaların Karşılaştırılması

DBS ve SDS anyonik surfaktanlardır. HDTAB, DTAB, CPCM ve CTAB ise katyonik surfaktanlardır.

Çalışmada anyonik surfaktanların anyonik boya olan Remazol Blue'nun giderimini arttırmadığı ancak katyonik surfaktanların ya tek başına boya giderimi yaptıkları ya da mikroorganizmanın kapasitesini arttırmak suretiyle mikrobiyal boya giderimini destekledikleri saptanmıştır. Bu durum surfaktan boya arası elektrostatik etkileşimlerin boya gideriminde etkili olduğunu göstermektedir.

Simoncic ve Span (1998) farklı yüklere sahip boya ve surfaktanların güçlü elektrostatik etkileşimlerden dolayı kompleks oluşturduğunu belirtmiştir. Simoncic ve Kert (2002) tarafından DTAB ve azo boya olan Acid red 88 arasında hidrofobik ve hidrofilik karakterlerden kaynaklı güçlü etkileşimler olduğu gösterilmiştir.

Azo boyaların absorpsiyon değerleri ortam etkilerine karşı çok hassastır ve bu yüzden spektrofotometrik çalışmalarda reporter olarak kullanılır. Boya molekülleri çözeltilerde agregat oluşturabilirler ve bu agregatlar surfaktan molekülleri ile kompleks oluşturmak üzere reaksiyon verirler. Boyarmadde üzerine surfaktanın etkisi UV-görünür bölge absorpsiyon spektromunda hızlı bir şekilde azalışa sebep olur. Bu spektral değişim, boyanın sülfonat grubu ve surfaktanın baş grupları arasındaki kuvvetli elektrostatik etkileşimden dolayı oluşan kompleksin oluşumuna yüklenir (Taner 2006).

Son zamanlarda surfaktanların boya gideriminde kullanımına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Özdemir vd. (2009) aniyonik azo boyanın dış yüzeyi katyonik surfaktan ile kaplanmış zeolite daha iyi tutunduğunu ve sıvı sistemden gideriminin arttığını göstermiştir. Substrat surfaktan arasındaki etkileşimlerin mikroorganizma tarafından kirletici maddeye ulaşılabilirliğini arttırması beklenmektedir (Sighn vd. 2007).

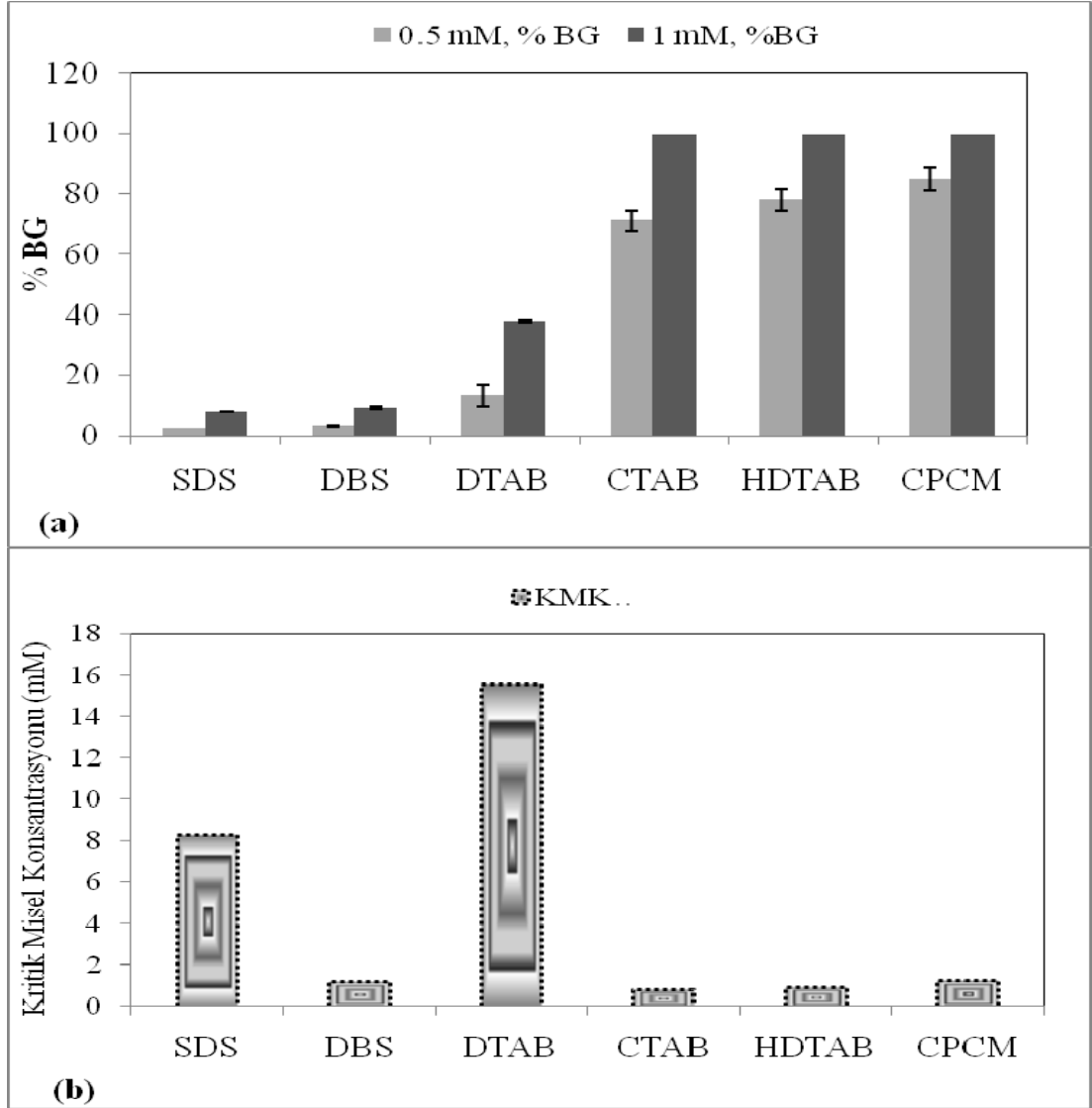
Çalışmada kullanılan surfaktanların pH'ı 6 olan 100 mg^l⁻¹ boya içeren Melaslı besiyerinde 3 günlük inkübasyon süresi sonunda tek başına gerçekleştirdiği boya giderimi Şekil 5.1.a'da gösterilmiştir.

Anyonik surfaktanlar olan SDS ve DBS anyonik boya gideriminde etkili değildir. Katyonik surfaktanlar olan DTAB, CTAB, HDTAB ve CPCM anyonik boya gideriminde etkilidir.

Surfaktan konsantrasyonu 1 mM olduğunda 3 günlük inkübasyon süresi sonunda CTAB, HDTAB ve CPCM %100 boya giderimini gerçekleştirmiştir. DTAB ise %37.9 boya giderimi yapmıştır. Bu surfaktanların suda ulaştıkları kritik misel konsantrasyonlarına (KMK) ait değerler Şekil 5.1.b'de gösterilmiştir. CTAB, HDTAB ve CPCM surfaktanlarının KMK değerleri birbirlerine yakın olup, yaklaşık 1 mM civarındadır. Dolayısıyla bu surfaktanların konsantrasyonu 1 mM olduğunda % 100'lük giderim gerçekleştirmiştir.

DTAB'nin ise KMK değeri 15.6 mM olup diğerlerine göre çok yüksektir. Tez çalışmasında bu surfaktanın KMK değerinin altında değerler kullanılmış ve bu surfaktan fungal boya giderimini arttırıcı etki göstermiştir.

DTAB'nin su ve melaslı besiyerindeki boya giderimi davranışını kavrayabilmek amacı ile DTAB'nin pH'ı 6 olan ve 100 mg^l⁻¹ boya içeren su ve melaslı besiyerindeki boya giderimi Şekil 5.2'de gösterilmiştir. İnkübasyon süresi suda 6 saat, melaslı besiyerinde ise 3 gündür. Boya ve surfaktan sulu ortamda melaslı besiyeri ortamına göre daha hızlı etkileşime girmiştir. Ancak surfaktan konsantrasyonu bakımından incelendiğinde su ve melasta benzer yüzde giderim yapmıştır. Melaslı ortamda oluşturacağı KMK değeri sudakine benzer olacaktır, sadece süre olarak suda daha çabuk KMK değerine ulaşması beklenmektedir.

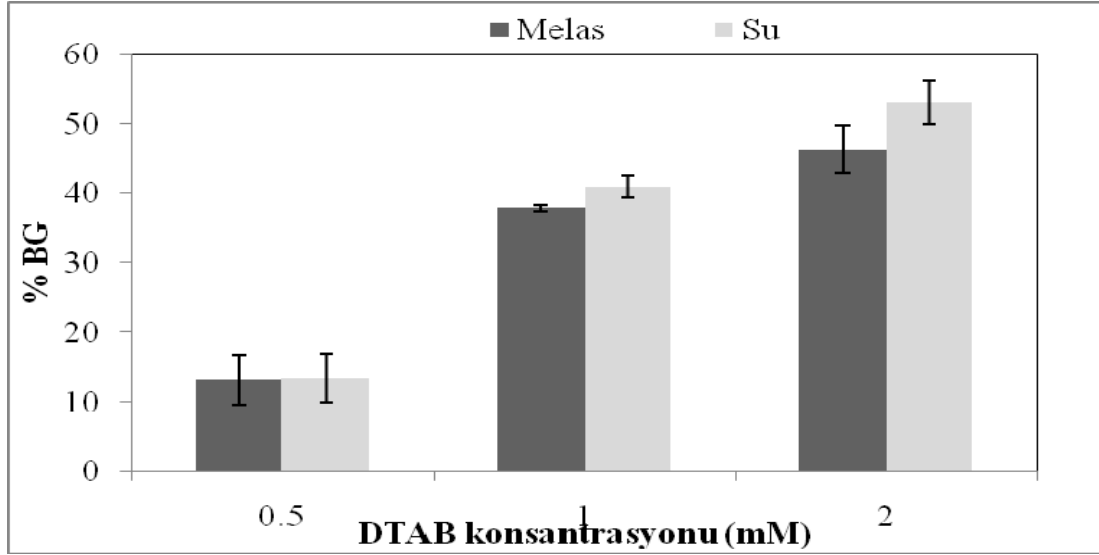


Şekil 5.1.a. Surfaktanların melaslı besiyerinde boya giderimi (% BG: boya giderimi; pH: 6; C_{ORB} : 100 mg l^{-1} ; S: 25 ± 1 °C; İs: 3gün). b. Surfaktanların sudaki KMK değerleri (SDS: Sodyum dodesil sülfat; DBS: Dodesil benzen sülfonik asit sodyum tuzu; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; CTAB: Alkiltrimetil amonyum bromür; HDTAB: Hegzadesil trimetil amonyum bromür; CPCM: Setil priniidum klorol monohidrat)

(KMK değerleri için: Homberg vd. 2003, Zhao vd. 1998, http://en.wikipedia.org/wiki/Cetylpyridinium_chloride)

Surfaktanların KMK değerleri surfaktanın kimyasal yapısına bağlıdır. Surfaktan molekülünün sahip olduğu alkil zincir uzunluğu arttıkça KMK değeri düşmektedir (Holmberg vd. 2003). DTAB'nin alkil zinciri 12 karbon atomundan oluşmaktadır. CTAB, HDTAB ve CPCM surfaktanlarının molekül formüllerinde DTAB'den daha

fazla sayıda karbon bulunmaktadır. Dolayısıyla CTAB, HDTAB ve CPCM'nin KMK değeri DTAB'ye göre düşüktür.



Şekil 5.2 DTAB'nin suda ve melaslı besiyerinde tek başına gerçekleştirdiği boya giderimi (%BG: boya giderimi; DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH: 6; C_{ORB} : 100 $mg l^{-1}$; S: 25 ± 1 °C; İs: 3gün)

Yapılan çalışmalarda anyonik surfaktan olan SDS ve DBS'nin anyonik boya gideriminde belirgin bir etkisi olmadığı, katyonik surfaktanlarda ise boya giderimi gözlenmiş ancak mikrobiyal giderimi sadece DTAB'nin etkili bir şekilde artırdığı belirlenmiştir.

Tez çalışmasında filamentli fungus olan *A. versicolor*, *R. arrhizus* ve maya olan *C. tropicalis* kültürlerinin boya giderimine surfaktan etkisi belirlenmiştir. DTAB surfaktanı filamentli funguslar olan *R. arrhizus* ve *A. versicolor* türlerinin boya giderimini arttırmıştır.

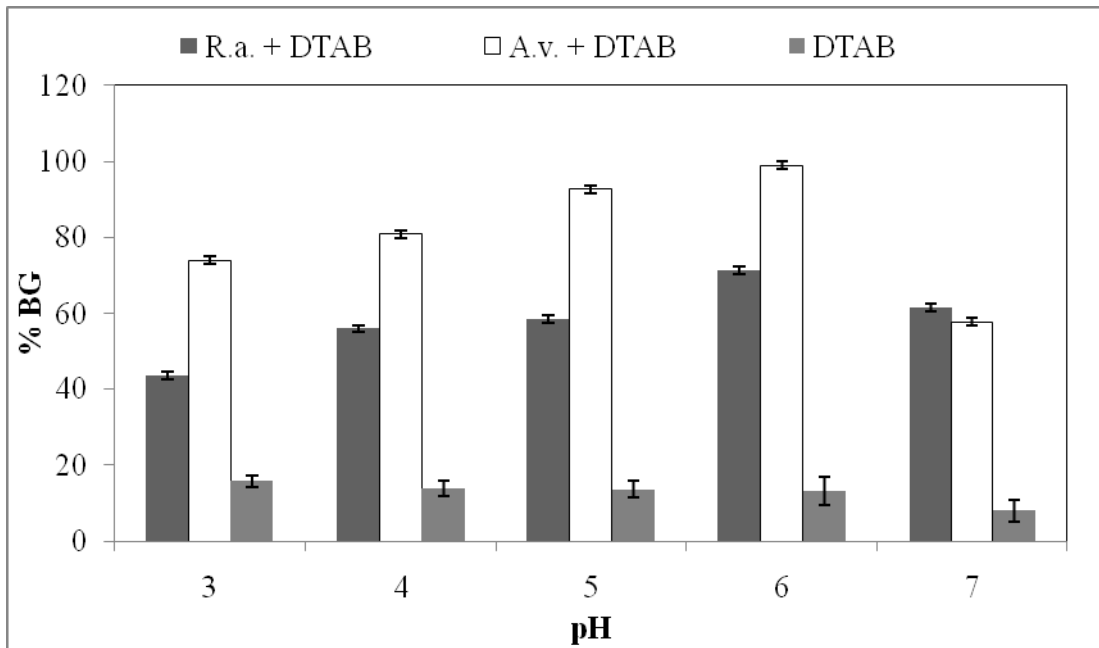
Besiyerinde üremekte olan kültürlerle yapılan çalışmalarda hem *A. versicolor* türü hem de *R. arrhizus* türü pH 6'da (Şekil 5.3) 100 $mg l^{-1}$ boya ve 0.5 mM DTAB bulunan ortamda en iyi boya giderimini gerçekleştirmiştir.

Boya konsantrasyonunun etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, hem *A. versicolor* türü hem de *R. arrhizus* türü 50 ve 100 $mg l^{-1}$ gibi düşük boya konsantrasyonlarında en iyi

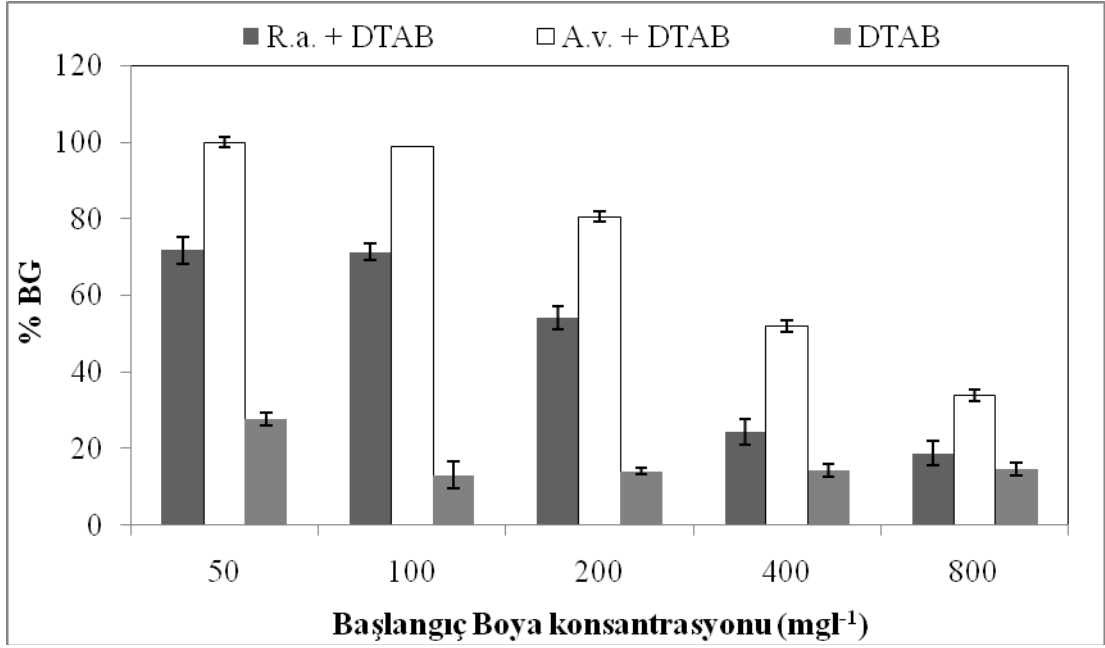
giderimi gerçekleştirmiştir. Boya konsantrasyonu arttıkça giderim de azalmıştır (Şekil 5.4). Bu durum artan boya konsantrasyonunun mikrobiyal gelişim üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanmıştır (Dönmez 2002).

Başlangıç surfaktan konsantrasyonunun etkisi deneylerinde hem *A. versicolor* türünün hem de *R. arrhizus* türünün boya giderimi 0.1, 0.5, 1 ve 2 mM DTAB olmak üzere farklı surfaktan konsantrasyonlarında 100 mg g⁻¹ boya bulunan ortamda araştırılmıştır. Her iki mikroorganizmanın da 1 mM DTAB bulunan ortamda en iyi giderimi yaptığı saptanmıştır (Şekil 5.5).

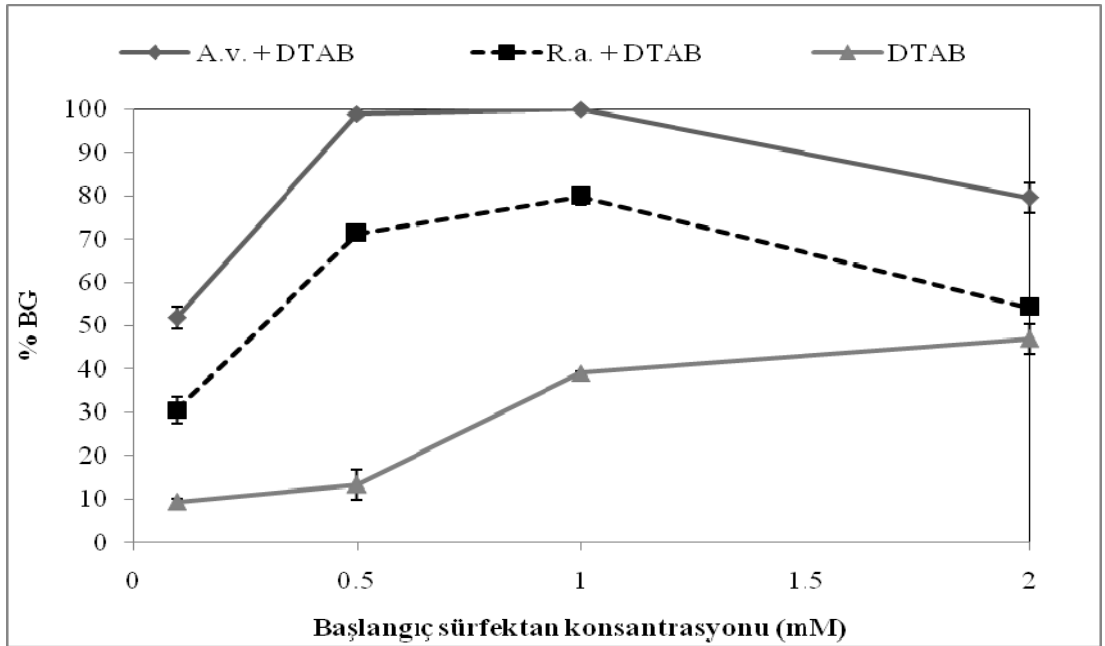
Hem *A. versicolor* fungusunun hem de *R. arrhizus* fungusunun 1 mM DTAB katyonik surfaktanı ve 100 mg l⁻¹ anyonik reaktif boya bulunan pH'ı 6 olan Melaslı besiyerinde üremekte iken mikrobiyal boya gideriminin en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir. Her iki fungusunda aynı optimal koşullarda boya giderimini gerçekleştirmiş olması boya gideriminde aynı mekanizmanın kullanıldığını göstermektedir.



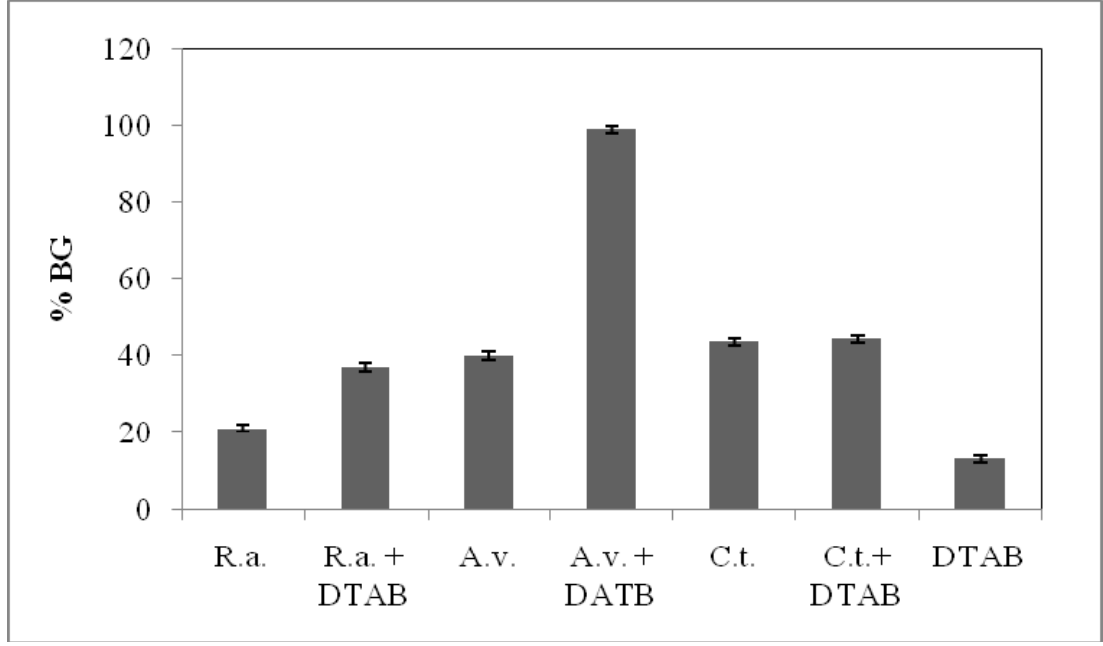
Şekil 5.3 *Rhizopus arrhizus* (R.a.), *Aspergillus versicolor* (A.v.) funguslarının boya giderimine (Toplam %BG) pH etkisi (C_{ORB}: 100 mg l⁻¹; DTAB: 0.5mM Dodesiltrimetil amonyum bromür; is: 3 gün)



Şekil 5.4 *Rhizopus arrhizus* (R.a.), *Aspergillus versicolor* (A.v.) boya giderimine (Toplam %BG) başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi (DTAB: 0.5mM Dodesiltrimetil amonyum bromür; İs: 3 gün)



Şekil 5.5 *Rhizopus arrhizus* (R.a.), *Aspergillus versicolor* (A.v.) boya giderimine (Toplam %BG) başlangıç sürfektan konsantrasyonunun etkisi (C_{ORB} : 100 mg/l; İs: 3 gün)



Şekil 5.6 *Rhizopus arrhizus* (R.a.), *Aspergillus versicolor* (A.v.) ve *Candida tropicalis* (C.t.) türlerinin boya giderimine (Toplam %BG) DTAB etkisi (C_{0RB} : 100 mg^l⁻¹; İs: 3 gün)

Fungusların ligninolitik enzimler olan lignin peroksidaz, lakkaz ve mangan peroksidazla boyanın fenolik gruplarını oksitlemek suretiyle boya giderimi yaptığı bilinmektedir (Jeffries vd. 1981, Paul- Philippe ve Ramsay 2005, Svobodova vd. 2007).

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarında yapılan araştırmada *A. versicolor* kültüründe bulunan Lakkaz enziminin boya gideriminde rol aldığı tespit edilmiştir (yayınlanmadı). Yapılan tez çalışmasında DTAB bulunan ortamda *A. versicolor* kültürü boya giderimini daha hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirmiştir.

Nagarathnamma ve Bajpai (1999) isimli araştırmacılar *R. oryzae* (diğer ismi *R. arrhizus*) kültürünün boya giderimindeki rol alan enzimlerini araştırmış ve fungus biyokütlesinde Lakkaz aktivitesi olduğunu saptamışlardır. Yapılan çalışmada ise boya gideriminin DTAB tarafından artırıldığı tespit edilmiştir.

Yang vd. (2003) *C. tropicalis* türünde ligninolitik enzimlerden mangan bağımlı peroksidaz'ın boya gideriminde etkili olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada kullanılan DTAB'nin bu mayada bulunan mangan bağımlı peroksidaz enziminin aktivitesini artırıcı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi 3 günlük inkübasyon süresi sonunda DTAB *A. versicolor* ve *R. arrhizus* türlerinin boya giderimini arttırmış, *C. tropicalis* türünün boya giderimini olumlu etkilememiştir. 5 günlük inkübasyon sonunda *C. tropicalis* türünün boya gideriminin surfaktan bulunmayan ortamda daha iyi olduğu saptanmıştır. Filamentli funguslar olan *A. versicolor* ve *R. arrhizus* Lakkaz aktivitesine sahip ancak *C. tropicalis* mangan bağımlı peroksidaz enzimine sahiptir.

Şekil 5.4’te *A. versicolor* türünün boya gideriminin *R. arrhizus* türüne göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni *A. versicolor* türünün ekstrasellüler lakkaz aktivitesi göstermesine karşılık *R. arrhizus* türü fungal biyokütlesi içinde Lakkaz aktivitesi göstermesi olabilir.

DTAB surfaktanın etki mekanizması boya gideriminde rol alan enzimlerle etkileşmek sureti ile olabilir. Surfaktanlar mikrobiyal proteinlerle etkileşime geçebilir ve enzim aktivitesini, stabilitesini ve spesifikliğini etkilemek suretiyle enzim konformasyonunu modifiye edebilirler (Kamiya vd. 2000). Surfaktanların enzimi modifiye edici ya da hücre yüzeyinden enzim gibi protein salgısını artırıcı etki gösterdiğini belirten bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. (Kertsen vd. 1990, Schallmey vd. 2004, Singh vd. 2007, Ward vd. 2006).

Çalışmalarda kullanılan *A. versicolor* ve *R. arrhizus* türlerinde Lakkaz enzim aktivitesi olduğunu kanıtlamış kaynaklar bulunmaktadır. DTAB Lakkaz aktivitesini artırarak fungusun boya giderimini arttırdığı düşünülmektedir.

Lignin peroksidaz ve mangan bağımlı peoksidaz ya da mangan peroksidaz prostetik grup olarak demir (Fe) içermesine karşın lakkaz aktif bölgesinde bakır ihtiva etmektedir. Lakkaz enzimi ilk Tien ve Kirk tarafından karakterize edilmiştir (Tien ve Kirk 1984). Mangan peroksidaz hidrojen peroksite (H₂O₂) bağlı glikoproteinden oluşmaktadır ve monoaromatik fenoller ve aromatik boyaları oksitleyebilmek için Mn⁺²’ye ihtiyaç duymaktadır (Kuwahara vd. 1984). Lakkaz multibakır oksidazdır ve aromatik aminleri oksitler (D’Souza vd. 2006). Lakkaz yapısal olarak mangan bağımlı peroksidazdan farklılık göstermektedir. Dolayısıyla Lakkaz enzim aktivitesinde etkili olan DTAB’nin mangan bağımlı peroksidaz aktivitesine etki etmesi beklenmemektedir.

Enzimleri aktive eden ve inhibe eden maddeler enzim yapısına göre özgünlük gösterdiği bilinmektedir.

Yapılan tez çalışmasında tekstil atık sularında bulunan reaktif boyaların filamentli funguslar olan *A. versicolor* ve *R. arrhizus* tarafından gideriminde DTAB katyonik surfaktanının olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir. *C. tropicalis* mayasının boya giderimini ise olumsuz etkilemiştir.

Yapılan doktora çalışması sonucunda;

- Çalışmada kullanılan surfaktanlar arasından fungusların anyonik boya olan Remazol Blue giderimini maksimum seviyeye ulaştırmanın sadece DTAB katyonik surfaktanı olduğu,
- DTAB'li ortamda çalışmada kullanılan mikroorganizmalar arasında en iyi boya giderimi gerçekleştirenin *A. versicolor* olduğu,
- DTAB'li ortamda gelişmekte olan *A. versicolor* kültürünün üretilmiş kültürün biyosorpsiyonuna göre daha fazla boya giderimi yaptığı,
- Biyosorpsiyon mekanizması ile gerçekleşen boya gideriminde canlı fungusun ölüye göre daha fazla boya giderimi yaptığı, görülmüştür.

Doktora çalışmasında surfaktanlar kullanılmak suretiyle biyolojik arıtım kapasitesinin arttırılabileceği tespit edilmiş olup, çalışma yeni bir biyolojik arıtım modeli oluşturulması için ön deneme niteliği taşımaktadır. Bu suretle oluşturulacak model ticari anlamda biyolojik arıtım sistemlerinde kullanımı; enerji ve zaman tasarrufunun yanısıra biyolojik arıtım verimini de arttırıcı etki göstereceği için önem kazanmaktadır. Ayrıca yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular orijinalliği nedeniyle bilimsel literatüre katkıda da bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Abadulla, E., Tzanov, T., Costa, S., Robra, K.H., Cavacopaulo, A. and Gübitz, G.M. 2000. Decolorization and Detoxification of Textil Dyes With a Laccase From *Trametes hirsuta*. *Appl. And Environ. Microbiol.*, 68, 3357-3362.
- Aksu, Z. 2005. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Biochemistry*, 40 , 997–1026.
- Aksu Z. and Tezer S. 2000. Equilibrium and kinetic modeling of biosorption of Remazol Black B by *Rhizopus arrhizus* in a batch system: effect of temperature. *Process Biochem.*, 36 , 431-9.
- Aksu, Z. and Dönmez, G. 2005. Combined effects of molasses sucrose and reactive dye on the growth and dye bioaccumulation properties of *Candida tropicalis*. *Process Biochemistry*, 40, 2443-2454.
- Aksu, Z. and Karabayır, G. 2008. Comparison of biosorption properties of different kinds of fungi for the removal of Gryfalan Black RL metal- complex dye. *Bioresource Technology*, 99, 7730- 7741
- Aksu, Z. and Balibek, E. 2010. Effect of salinity on metal-complex dye biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *J. Environ. Manage.*, 91, 1546-55
- Aksu, Z., Ertuğrul, S. and Dönmez, G. 2010. Methylene Blue biosorption by *Rhizopus arrhizus*: Effect of SDS (sodium dodecylsulfate) surfactant on biosorption properties. *Chem. Eng. J.*, 158, 474-481
- Ali, N., Hameed, A., Ahmed, S. and Khan, A.G. 2008. Decolorization of structurally different textile dyes by *Aspergillus niger* SA1. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 24, 1067- 1072
- Anionson, E.A.G. 1976. Theory of the Kinetics of Micellar Solutions of Ionic Surfactants. *J. Phys. Chem.*, 80, 905.
- Anonim 2004. Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 31.12.2004, sayı: 25687.

Anonymous, 2010. Web Sitesi:

http://americasbestairandwater.com/12955.html?*session*id*key*==*session*id*val*,

Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi: <http://www.biotecharticles.com/Environmental-Biotechnology-Article/Methods-of-astewater-Treatment-353.html> , Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Surfactant>,
Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi: www.mycology.adelaide.edu.au/.../Rhizopus/,
Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi:
http://www.scienceinthebox.com/en_UK/glossary/surfactants_en.html,
Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi:
http://www.pf.chiba-u.ac.jp/gallery/fungi/c/Candida_tropicalis_colony.htm,
Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi: mnh-tr.com/p21.html, Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi: http://en.wikipedia.org/wiki/Cetylpyridinium_chloride,
Erişim Tarihi: 05.12.2010

Anonymous, 2010. Web Sitesi:
<http://www.turkcebilgi.com/boyarmaddeler/ansiklopedi#ansiklopedi>,
Erişim Tarihi: 05.12.2010

Arslan Alaton, İ. and Teksoy, S. 2007. Acid Dyebath Effluent Pretreatment Using Fenton's Reagent: Process Optimization, Reaction Kinetics and Effects on Acute Toxicity. *Dyes and Pigments*. 73, 31-39.

Asgher, M. , Batool, S., Bhatti, H. N., Noreen, R., Rahman, S.U. and Asad, M. J. 2008. Laccase mediated decolorization of vat dyes by *Coriolus versicolor* IBL-04. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62, 465-470

Atkins, P. W. 1998. *Fizikokimya*, Oxford University Pres.

- Bagha, A.R. T., Bahrami, H., Movassagh, B., Arami, M. and Menger, F. M. 2007. Interactions of gemini cationic surfactants with anionic azo dyes and their inhibited effects on dyeability of cotton fabric. *Dyes and Pigments*, 72, 331-338
- Banat, I.M., Nigam, P., Singh, D. and Marchant, R. 1996. Microbial Decolorization of Textil-Dye Containing Effluents: A Review. *Bioresource Technology*, 58, 217-227
- Başer, İ. ve İnancı, Y. 1990. Boyar Madde Kimyası. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları. 47-52, 35-37, 90-187.
- Başbüyük, M., Yüceer, A. ve Yılmaz, T. 1998. Tekstil Atık Sularında Renk Giderilmesinde Kullanılan İleri Teknolojiler. I. Atık Su Sempozyumu. Kayseri, 82-87
- Beilen, J. and Li, Z. 2002. Enzyme Technology: An Overview. *Current Opinion In Biotechnology*, 13, 338–344.
- Carliell, C.M., Barclay, S.J., Naidoo, N., Buckley, C.A., Mulholland, D.A. and Senior, E. 1995. Microbial Decolourisation of a Reactive Azo Dye Under Anaerobic Conditions. *Water (SA)*, 21, 61-69.
- Champagne P.P. and Ramsay J.A. 2005. Contribution of Manganese Peroxidase and Laccase to Dye Decoloration by *Trametes versicolor*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 69, 276–285.
- Chatterjee, S., Lee, D. S., Lee, M. W. and Woo, S. H. 2009. Enhanced adsorption of congo red from aqueous solutions by chitosan hydrogel beads impregnated with cetyl trimethyl ammonium bromide. *Bioresour. Technol*, 100, 2803- 2809.
- Chirila, E., Carazeanu, I. and Dobrinas, S. 2000. Spectrometric studies about some dyes — anionic surfactant interactions in aqueous solutions .*Talanta*, 53, 271–275.
- Cing, S. 2001. Tekstil Boyalarının Renginin Giderilminde Mikroorganizma Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Clark, W.J., Viessman, W. and Hammer, M.J. 1971. *Water Supply and Pollution Control*, 2 nd ed., International Textbook Company, 285- 566.
- Clarke, E.A. and Anliker, R. 1980. Organic Dyes and Pigments, in: *Handbook of Environmental Chemistry, Anthropogenic Compounds, Part A*, Springer-Verlang, New York, (3) 181- 215

- Cripps, C., Bumpus, J. and Aust, S. 1990. Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyes by *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol., 56, 1114–1118.
- D'Souza, D.T., Tiwari, R., Sah, A. and Raghukumara, C. 2006. Enhanced production of laccase by a marine fungus during treatment of colored effluents and synthetic dyes. Enzyme Microb Technol, 38, 504–11.
- Demir, G., Özcan, H. K., Elmaslar, E. and Borat, M. 2004. Decolorization of Azo Dyes by the White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Fresenius Environmental Bulletin, 13, 979-984.
- Dönmez, G. 2002. Bioaccumulation of the reactive textile dyes by *Candida tropicalis* growing in molasses medium. Enzyme Microbial. Technol., 30, 363–366.
- El-Rahim, W. M. Abd, El-Ardya, O., Ahmed, M. and Mohammad, F. H.A. 2009. The effect of pH on bioremediation potential for the removal of direct violet textile dye by *Aspergillus niger*. Desalination, 249, 1206-1211
- Erkurt, E. A., Ünyayar, A. and Kumbur, H. 2007. Decolorization of synthetic dyes by white rot fungi, involving laccase enzyme in the process. Process Biochemistry, 42, 1429–1435
- Forgacs, E., Cserhati, T. and Oros, G. 2004. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environ. Int., 30, 953–971.
- Fu, Y. and Viraraghavan, T. 2001. Fungal decolourization of wastewaters: a review. Bioresour Technol, 79, 251–62.
- Fu, Y. and Viraraghavan, T. 2002. Removal of Congo red from an aqueous solution by fungus *Aspergillus niger*. Advances in Env. Res., 7, 239- 247
- Gomez, V., Larrenchi, M.S. and Callao, M.P. 2007. Kinetik and Adsorption Study of Acid Dye Removal Using Activated Carbon. Chemosphere, 69, 1151-1158.
- Hamme, J.D.V., Singh, A. and Ward, O. P. 2006. Physiological aspects Part 1 in a series of papers devoted to surfactants in microbiology and biotechnology, Biotech. Ad., 24, 604–620
- Hameed, B.H., Ahmad, A.A. and Aziz, N. 2007. Isotherms, Kinetics And Thermodynamics Of Acid Dye Adsorption On Activated Palm Ash. Chemical Engineering Journal, 133, 195–203.

- Heinfling, A., Bergbauer, M. and Szewzyk, U. 1997. Biodegradation of Azo and Phthalocyanine Dyes by *Trametes versicolor* and *Bjerkandera adusta*. Appl. Microbiol. Biotechnol., 48, 261–266.
- Homberg, K., Jönsson, B., Kronberg, B. and Lindman, B. 2003. Surfactants and polymers in aqueous solution 2nd edition. John Wiley & Sons Ltd, 259, İngiltere.
- Janos, P. and Smidova, V. 2005. Effects of surfactants on the adsorptive removal of basic dyes from water using an organomineral sorbent-iron humate. J. Colloid. Interface Sci., 291, 19.
- Jeffries, T.W., Choi, S. and Kirk, T.K. 1981. Nutritional regulation of lignin degradation in *Phanerochaete chrysosporium*. Applied and Environmental Microbiology, 42, 290–296.
- Kamiya, N., Inoue, M., Goto, M., Nakamura, N. and Naruta, Y. 2000. Catalytic and structural properties of surfactant-horseradish peroxidase complex in organic media, Biotechnol Prog., 16, 52–58.
- Kapdan, I.K., Kargı, F., McMullan, G. and Marchant, R. 2000. Effect of environmental conditions on biological decolorization of textile dyestuff by *C. versicolor*. Enzyme Microb Technol., 26, 381–7.
- Kartal, Ç. and Akbaş, H. 2005. Study on the Interaction of Anionic Dye-Nonionic Surfactants in Mixture of Anionic and Nonionic Surfactants by Absorption Spectroscopy. Dyes Pigments, 65, 191-195.
- Kaushik, P. and Malik, A. 2009. Fungal Dye decolourization: Recent advances and future potential. Environment International, 35, 127- 141
- Kaykıoğlu, G. and Debik, E. 2006. Anaerobik Arıtım Prosesleriyle Tekstil Atıksularından Renk Giderimi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 4, 59-68.
- Knapp, J.S. and Newby, P.S. 1999. The decolourization of a chemical industry effluent by white rot fungi. Water Res., 33, 575–7.
- Kestioğlu, K. ve Yalılı, M. 2006. Yüksek KOİ İçerikli Tekstil Atık Sularının Kimyasal Çökeltim ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliği. Ekoloji, 59, 27-31.

- Kertsen, P.J., Kalyanaraman, B., Hamel, K.E., Reinhammar, B. and Kirk, T.K. 1990. Comparison of lignin peroxidase, horseradish peroxidase and laccase in the oxidation of ethoxybenzenes, *Biochem. J.* 268, 475–80 (Printed in Great Britain)
- Kocaer, F.O. ve Alkan, U. 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atık Sularının Arıtım Alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1, 47-55.
- Kurbanova, R., Mirzaoğlu, R., Ahmedova, G., Şeker, R. ve Özcan, E. 1998. Boya ve Tekstil Kimyası ve Teknolojisi. *Selçuk Üni. Fen-Edeb. Fak. Yay. No: 34*, Konya, 264
- Kuwahara, M., Glenn, J.K., Morgan, M.A. and Gold, M.H. 1984. Separation and characterization of two extracellular H₂O₂ dependent oxidases from ligninolytic cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. *FEBS Lett*, 169, 247–50
- Lucas, M. S., Amaral, C., Sampaio, A. and Peres, J.A. 2006. Albino A. Dias. Biodegradation of the diazo dye Reactive Black 5 by a wild isolate of *Candida oleophila*. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 51–55
- Machado, K.M.G., Matheus, D.R. and Bononi, V.L.R. 2005. Ligninolytic Enzymes Production and Removal Brilliant Blue R Decolorization by Tropical Brazilian Basidiomycetes Fungi. *Brazilian Journal of Microbiology*, 36, 246-252.
- Manu, B. and Chaudhari, S. 2002. Anaerobic Decolorisation of Simulated Textile Wastewater containing Azo Dyes, *Bioresource Technology*, 82, 225-33
- Mass, R. and Chaudhari, S. 2005. Adsorption and biological decolorization of azo dye Reactive Red-2 in semicontinuous anaerobic reactors. *Process Biochem.*, 40, 699–705.
- Mc Kay, G. and Poots, J. 1980. Kinetics and diffusion process in colour removal from effluent using wood as an absorbent. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 30: 279
- Mechichi, H.Z., Mechichi, T., Dhouib, A., Sayadi, S., Martinez, A.T. and Martinez, M.J. 2006. Laccase Purification and Characterization From *Trametes trogii* Isolated in Tunisia: Decolorization of Textile Dyes by The Purified Enzyme. *Enzym and Microbial Technology*, 39, 141-148.
- Minussi, R.C., De Moraes, S.G., Pastore, G.M. and Duran, N. 2001. Biodecolorization Screening of Synthetic Dyes by Four White – RotFungi in a Solid Medium: Possible Role of Siderophores. *Letters in Appl. Microbiol.*, 33, 21-25.

- Mishra, G. and Tripathy, M. 1993. A critical review of the treatment for decolourization of textile effluent. *Colourage*, 40, 35–8.
- Mohorcic, M., Friendrich, J. and Pavko, A. 2004. Decoloration of The Diazo Dye Reactive Black 5 by Immobilised *Bjerkandera adusta* in a Stirred Tank Bioreactor. *Acta Chim. Slov.*, 51, 619-628.
- Nagarathnamma, R. and Bajpai, P. 1999. Decolorization and Detoxification of Extraction-Stage Effluent From Chlorine Bleaching of Kraft Pulp by *Rhizopus oryzae*. *Appl. And Environmental Microbiology*, 3, 1078-1082.
- Nemoto, Y. and Funahashi, H. 1981. A study of surface tension of the interaction between two polyoxyethylene alkylamine surfactants and two acid dyes. *J. Colloid Interface Sci.*, 79, 313–318.
- O'Mahony, T., Guibal, E. and Tobin, J.M. 2002. Reactive dye biosorption by *Rhizopus arrhizus* biomass. *Enzyme Microbiol. Technol.* 31:456-63.
- O'Neill, C., Hawkes, F., Hawkes, D., Lourenco, N., Pinheiro, H. and Delee, W. 1999. Colour in textile effluents-sources, measurement, discharge consents and simulation: a review, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 74 , 1009–18.
- Ollikka, P., Alhonma, K. K., Leppä Nen, V-M., Glumoff, T. R. and Suominen, T. I. 1993. Decolorization of Azo, Triphenyl Methane, Heterocyclic, and Polymeric Dyes by Lignin Peroxidase Isoenzymes from *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59, 4010–4016
- Özcan, A. and Özcan, A.S. 2005. Adsorption of Acid Red 57 from aqueous solutions onto surfactant-modified sepiolite. *J. Hazard. Mater.*, 125, 252- 259.
- Özdemir, Ö., Turan, M., Turan, A., Faki, A. and Engin, A. 2009. Feasibility analysis of color removal from textile dyeing in a fixed-bed column system by surfactant-modified zeolite (SMZ). *Journal of Hazardous Materials*, 166, 647- 654.
- Özgürses, M.T. 2003. Elektrokoagulasyon ile reaktif tekstil boya çözümlerinin arıtımı. Yüksek Lisans Tezi. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Özmıçlı, S. ve Kargı, F. 2004. Toz Aktif Çamurun Değişik Boyar Maddelerin Gideriminde Biosorpsiyon Performansının Değerlendirilmesi. I. Ulusal Çevre Kongresi, Sivas, 479-486.

- Özsoy, H. D. ve Ünyayar, A. 2001. Reaktif Boyar Maddeler Remazol Brilliant Blue R ve Drimaren Blue X3LR'nin Beyaz Çürükçül Funguslarla Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Parshetti, G.K., Kalme, S.D., Gomare, S.S. and Govindwar, S.P. 2007. Biodegradation of Reactive blue-25 by *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146. *Bioresour. Technol.*, 98, 3638-3642.
- Paul-Philippe, C. and Ramsay, J.A. 2005. Contribution of Manganese Peroxidase and Laccase to Dye Decoloration by *Trametes versicolor*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 69, 276–285.
- Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed, I.E. and Namboodri, C.G. 1995. A Demonstration of Reuse of Spent Dyebath Water Following Color Removal With Ozone. *Textile Chemist and Colorist*, 28, 31-37.
- Philips, D. 1996. Enviromentally Friendly, Productive and Realiabe: Priorited for Cotton Dyes and Dyeing Processes. *J. Soc. Dyers Color.*, 12, 183-186.
- Raffi, F., Moore, J.D., Ruseler-Van Embden, J.G.H. and Cerniglia, C.E. 1995. Bacterial Reduction of Azo Dyes Used in Foods, Drugs and Cosmetics. *Microecology and Therapy*, 25, 147-156.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. and Nigam, P. 2001. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Techonologies With a Proposed Alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- Sarioğlu, M. and Dean, C. 1998. Tekstil Atık Sularından Renk Giderimi İçin UASB(Yukarı Akışlı Çamur Yatağı) Reaktörünün Kullanılması Örneği. *İ.T.Ü. 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 37- 42.
- Saddettin S. 2005. Sıcak su kaynaklarından izole edilen termofil siyanobakterilerin atık su arıtımında kullanımları. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Sadettin, S. and Dönmez, G. 2007. Simultaneous bioaccumulation of reactive dye and chromium(VI) by using thermophil *Phormidium* sp. *Enzyme Microbial. Technol.*, 41, 175–180.
- Scamehorn, J.F. 1986. Prooprties of Aqueous Mixed Surfactant Systems. *Amer. Chen. Soc, Washington*, 472-474.

- Schallmeyer, M., Singh, A. and Ward, O.P. 2004. Developments in the use of *Bacillus* species for industrial production. *Can J Microbiol.* 50, 1-17
- Seesuriyachan, P., Takenaka, S., Kuntiya, A., Klayraung, S., Murakami, S. and Aoki, K. 2007. Metabolism of azo dyes by *Lactobacillus casei* TISTR 1500 and effects of various factors on decolorization. *Water research*, 41, 985-992.
- Shin, M., Nguyen, T. and Ramsay, J.A. 2002. Evaluation of Support Materials for The Surface Immobilization and Decolorization of Amaranth by *Trametes versicolor*. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 60, 218-233.
- Silva, J.P., Sousa, S., Rodrigues, J., Antunes, H., Porter, J.J., Gonçalves, I. and Ferreira-Dias, S. 2004. Adsorption of Acid orange 7 dye in aqueous solutions by spent brewery grains. *Separation and Purification Technology.* 40, 309–315.
- Singh, A., Hamme, J.D.V. and Ward, O. P. 2007. Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2. Application aspects (Research review paper). *Biotechnol. Adv.* 25, 99–121.
- Simonic, B. and Span, J. 1998. A Study of Dye-Surfactant Interactions. Part 1. Effect of Chemical Structure of Acid Dyes and Surfactants on the Complex Formation, Dyes and Pigments. 36, 1-14.
- Simonic, B. and Kert, M. 2002. A study of anionic dye–cationic surfactant interactions in mixtures of cationic and nonionic surfactants. *Dyes and Pigments.* 54, 221-237.
- Slokar, Y.M. and Marechal, A.M.L. 1998. Methods of decoloration of textile wastewaters. *Dyes Pigments*, 37, 335–356.
- Sponza, D., Işık, M. ve Atalay, H. 2000. İndigo Boyar Maddelerinin Anaerobik Artılabilirliklerinin İncelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 3, 23-34.
- Sudipta, C., Lee, D. S., Lee, M. W. and Woo, S. H. 2009. Enhanced adsorption of congo red from aqueous solutions by chitosan hydrogel beads impregnated with cetyl trimethyl ammonium bromide. *Bioresource Technology.* 100, 2803- 2809.
- Sumathu, S. and Maju, M.S. 2000. Uptake of reactive textile dyes by *Aspergillus foetidus*, *Enzyme Microbiol. Technol.* 27- 347

- Sundstorm, D.W. and Klei, H.E. 1979. Wastewater Treatment, Prentice Hall., Inc. U.S.A
- Svobodová, K., Senholdt, M., Novotny, C. and Rehorek, A. 2007. Mechanism of reactive orange 16 degradation with the white rot fungus *Irpex lacteus*. *Process Biochemistry*, 42, 1279–1284,
- Swamy, J. 1998. The Biodecoloration of Textile Dyes by White – Rot Fungus *Trametes versicolor*. A Master Thesis Submitted to The Department of Chemical Engineering, 1-100.
- Swamy, J. and Ramsay, J.A. 1999. Effects of glucose and NH₄ concentrations on sequential dye decoloration by *Trametes versicolor*. *Enzyme Microb Technol.* 25, 278–84.
- Şen, S. and Demirer, G.N. 2003. Anaerobic Treatment of Real Textile Wastewater With a Fluidized Bedreactor. *Water Research*, 37, 1868-1878.
- Talarposhiti, A.M., Donnelly, T. and Anderson, G.K. 2000. Colour Removal From a Simulated Dye Wastewater Using a Two-Phase Anaerobic Packed Bed Reactor. *Water Research*, 35, 425-432.
- Taner, T. 2006. Katyonik alkiltrimetilamonyum bromür surfaktantlar ile C.I. Reactive Orange 16 etkilesimi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne
- Taskin, M. and Erdal, S. 2010. Reactive dye bioaccumulation by fungus *Aspergillus niger* isolated from the effluent of sugar fabric-contaminated soil. *Toxicol Ind Health* , 26, 239-247.
- Taştan, B.E., Ertuğrul, S. and Dönmez, G., 2010. Effective bioremoval of reactive dye and heavy metals by *Aspergillus versicolor*. *Bioresource Technology*, 101, 870-876.
- Tatlı, A.İ. 2003. Çeşitli tekstil boyarmaddelerinin adsorpsiyon/biyosorpsiyonunun karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Temiz, A. 1994. Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri. Şafak Matbaacılık, Ankara, 86-89.

- Tezer, S. 2002. Tekstil Endüstrisi atıksularında yer alan reaktif boyaların biyosorpsiyonunun incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Tien, M. and Kirk, T.K. 1984. Lignin-degrading enzyme from *Phanerochaete chrysosporium*: purification, characterization and catalytic properties of unique H₂O₂ requiring oxygenase. Proc Natl Acad Sci USA, 81, 2280–2284
- Torralba, E. R., Reis, B. F., Rubio, A. M. and Guardia, M. 2005. An environmentally friendly multicommutated alternative to the reference method for anionic surfactant determination in water. Talanta, 66, 591–599
- Uğurlu, M. 2003. Kağıt Endüstrisi Atık Sulardan Lignin ve Fenol'ün Perlit Minerali İle Giderimi. Ekoloji, 47, 11-16.
- Uzal, N., Yılmaz, L. ve Yetiş, Ü. 2005. İndigo Boyama Atıklarının Ön Arıtımı: Kimyasal Çöktürme Ön Filtrasyon Süreçlerinin Karşılaştırılması. 6. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, 429-437.
- Vandevivere, P.C., Bianchi, R. and Versraete, W. 1998. Treatment and Reuse of Wastewater From The Textile Wet – Processing Industry: Review of Emerging Technologies. Chem. Technol. Biotechnol., 72, 289-302.
- Wang, Bao-E. and Yong-You, Hu. 2008. Bioaccumulation versus adsorption of reactive dye by immobilized growing *Aspergillus fumigatus* beads. J. Hazard. Mater., 157, 1-7
- Wang, L. and Langley, D. 1975. Determining Cationic Surfactant Concentration. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 14, 210–212
- Ward, O.P., Qin, Q.M., Dhanjoon, J., Ye, J. and Singh, A. 2006. Physiology and Biotechnology of *Aspergillus*. Adv. Appl. Microbiol., 58, 1-75.
- Yakartepe, M. 1998. Genel Tekstil Terbiyesi, Tekstil Konfeksiyon Araştırmaları Merkezi Yayınları, 12, 520- 600, İstanbul
- Yang, Q., Yang, M., Pritsch, K., Yediler, A., Hagn, A., Schloter, M. and Kettrup, A. 2003. Decolorization of synthetic dyes and production of manganese-dependent peroxidase by new fungal isolates. Biotechnol Lett., 25, 709-13
- Yeşilada, Ö. 1995. Decolorization of Crystal Violet by Fungi. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 11, 601-602.

- Yeşilada, Ö. and Özcan, B. 1998. Decolorization of Orange II Dye With The Crude Culture Filtrate of White Rot Fungus, *Coriolus versicolor*. Tr. J. Of Biology, 22, 463-476.
- Zhao, J., Wu, T., Wu, K., Oikawa, K., Hidaka, H. and Serpone N. 1998. Photoassisted Degradation of Dye Pollutants. 3. Degradation of the Cationic Dye Rhodamine B in Aqueous Anionic Surfactant/TiO₂ Dispersions under Visible Light Irradiation: Evidence for the Need of Substrate Adsorption on TiO₂ Particles. Environ. Sci. Technol, 32 (16), pp 2394–2400
- Zohra, B., Aicha, K., Fatima, S., Nourredine, B. and Zoubir D. 2008. Adsorption of Direct Red 2 on bentonite modified by cetyltrimethylammonium bromide. Chemical Engineering Journal. 136, 295–305.

EKLER

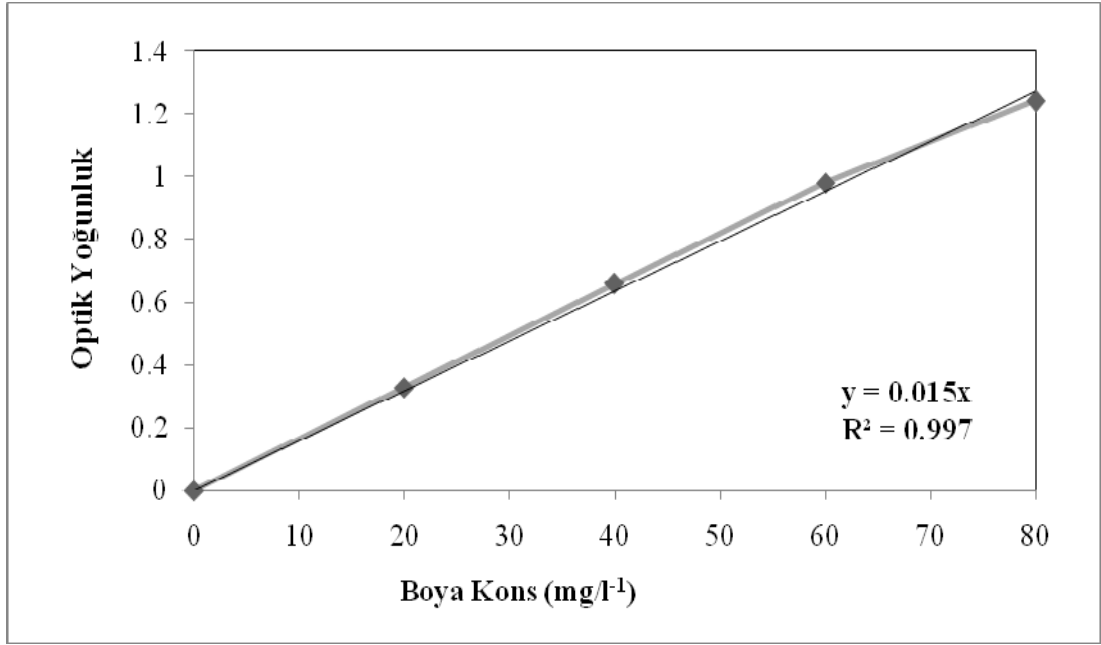
EK 1 Remazol Blue boyasının 20, 40, 60, 80 mg^l⁻¹ konsantrasyonlarda standart eğrisi

EK 2 *Aspergillus versicolor* yaş ve kuru ağırlık standardı

EK 3 *Rhizopus arrhizus* yaş ve kuru ağırlık standardı

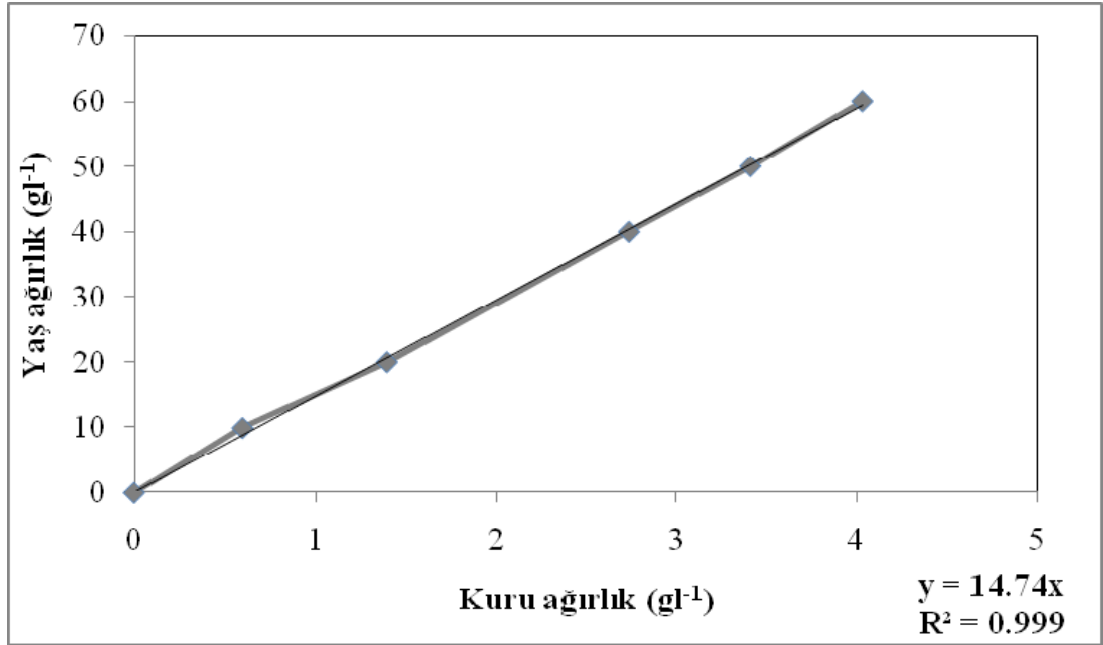
EK 4 DTAB surfaktanı konsantrasyonunun Remazol Blue boyasının dalga boyuna etkisi

EK 1 Remazol Blue boyasının 20, 40, 60, 80 mg/L konsantrasyonlarda standart eğrisi



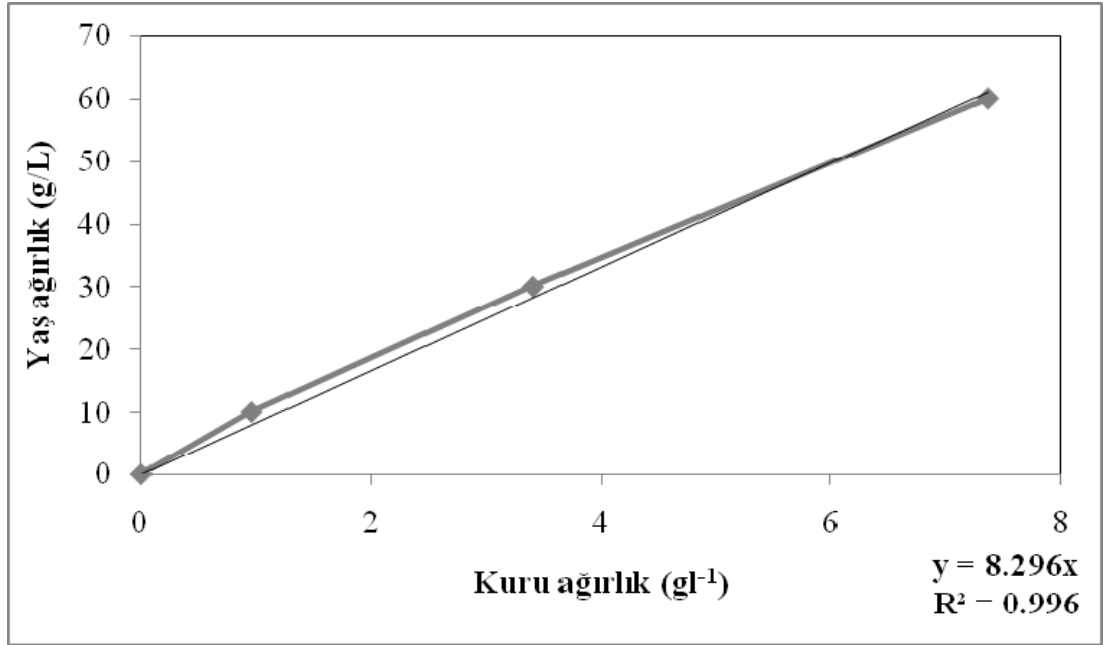
Şekil 1 Remazol Blue boyası örnek standart eğrisi

EK 2 *Aspergillus versicolor* yaş ağırlık ve kuru ağırlık standardı



Şekil 1 *A. versicolor* türüne ait yaşı-kuru ağırlık örnek standart eğrisi

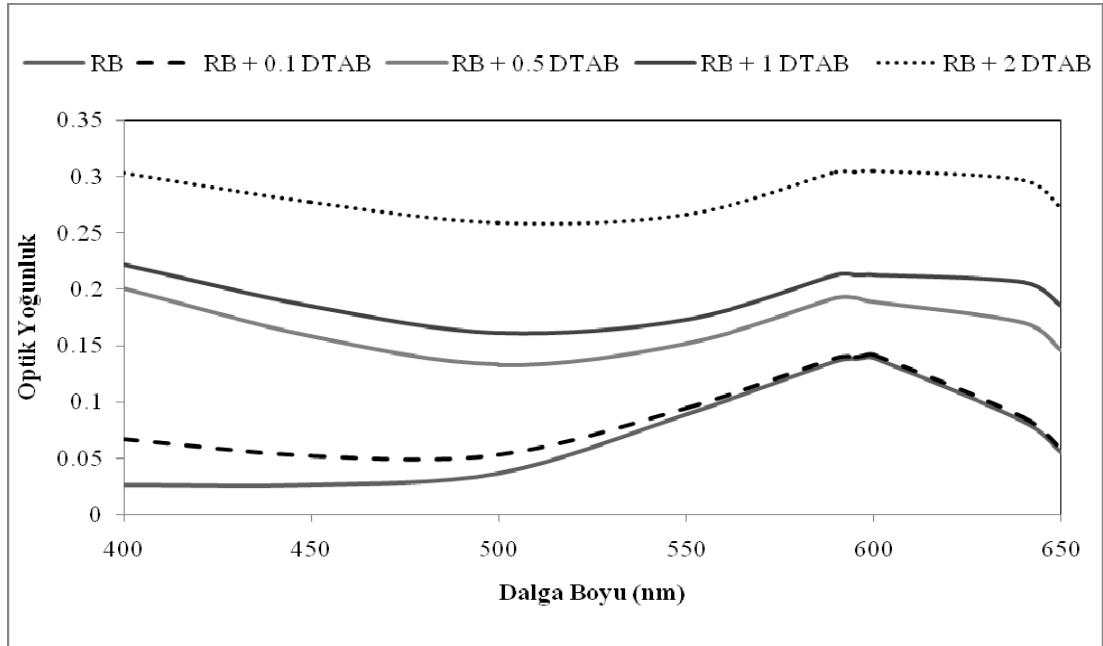
EK 3 *Rhizopus arrhizus* yaş ağırlık ve kuru ağırlık standardı



Şekil 1 *R. arrhizus* türüne ait yaş-kuru ağırlık örnek standart eğrisi

EK 4 DTAB surfaktanı konsantrasyonunun Remazol Blue boyasının dalga boyuna etkisi

Surfaktan ve boya arasındaki etkileşimlerden dolayı farklı surfaktan konsantrasyonlarının boyanın spektrofotometrede analiz edilen dalga boyuna etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma için 0, 0.1, 0.5, 1 ve 2 mM DTAB içeren 5 mg^l⁻¹ boya içeren 10 ml melaslı besiyeri (pH 6) hazırlandı ve 2 ml örnek spektrofotometrede 400-650 nm dalga boyunda taranmıştır. Kontrol olarak melaslı besiyeri kullanıldı. Elde edilen şekil 4'de görüldüğü üzere surfaktan konsantrasyonları maksimum dalga boyunda belirgin bir fark göstermemiştir. Bu nedenle tüm deneylerde boya konsantrasyonu 600 nm dalga boyunda analiz edilmiştir.



Şekil 1 DTAB konsantrasyonunun (0.1, 0.5, 1 ve 2 mM DTAB) Remazol Blue (RB) boyasının dalga boyuna etkisi (DTAB: Dodesiltrimetil amonyum bromür; pH 6; C_{ORB}: 5 mg^l⁻¹; S: 25 ± 1 °C)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ülküye Dudu GÜL

Doğum Yeri : Anamur

Doğum Tarihi : 20.12.1978

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Özel Fatoşabla Lisesi (1996)

Lisans :Ankara Üniversitesi – Fen Fakültesi- Biyoloji Bölümü (2001)

Yüksek Lisans: Bilkent Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü (Burslu) (2003)

Doktora.....: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı- (Ocak 2011)

Çalıştığı Kurum/ Kurumlar

Özel Ceceli Anadolu Lisesi, Ankara 2004- 2009

- Biyoloji Dersi Öğretmeni

- Zümre Başkanı (2007- 2009)

-Proje Koordinatörü:

- Avrupa Birliği Comenius Projesi Türkiye Koordinatörü, ‘Avrupa’da Sürdürülebilir Kalkınma’ isimli Proje (2004- 2007)
- Young Reporters of the Environment Uluslararası Proje koordinatörü (2007- 2009)
- Eko Okul Uluslar arası Çevre Projesi Koordinatörü (2007- 2008)

Yayımlar:

Ülküye Dudu Evren, Çiğdem Kanlıtepe, Ceren Çıracı, Gönül Dönmez, 2001. Tuz Göl,’nden (Konya-Türkiye) izole edilen *Dunaliella* türlerinin gliserol üretim kapasitesinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, p, 225-232

Ülküye Dudu GÜL and Gönül DÖNMEZ, 2010. Effect of a cationic surfactant on dye biosorption properties of *Aspergillus versicolor*.’Communication, Series B: Chemistry and Chemical Engineering, Vol. 56(2) (in press)