



**BARYUM ALÜMİNYUM BORAT ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$)
MALZEMESİNİN ADSORBAN OLARAK
DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI**

**2025
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

İlknur Sibel YÜKSEL

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ**

**BARYUM ALÜMİNYUM BORAT ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) MALZEMESİNİN
ADSORBAN OLARAK DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI**

İlknur Sibel YÜKSEL

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ağustos 2025**

İlknur Sibel YÜKSEL tarafından hazırlanan “BARYUM ALÜMİNYUM BORAT ($BaAl_2B_2O_7$) MALZEMESİNİN ADSORBAN OLARAK DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ

.....

Tez Danışmanı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/08/2025

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Ertuğrul ERDOĞMUŞ (BARÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Rahman ÇALHAN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İlknur Sibel YÜKSEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BARYUM ALÜMİNYUM BORAT ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) MALZEMESİNİN ADSORBAN OLARAK DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

İlknur Sibel YÜKSEL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ

Ağustos 2025, 66 sayfa

Bu tez çalışmasında, bor elementi içeren bir adsorban kullanılarak üç farklı anyonik boyar maddelerin sulu çözeltileri kullanılarak adsorpsiyon davranışları incelenmiştir. Adsorban olarak $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ malzemesi kullanılmıştır. İlk olarak adsorban yakma yöntemi kullanılarak laboratuvarında sentezlenmiştir. Sentezlenen adsorban XRD ve FTIR teknikleri kullanılarak karakterizasyonu yapılmıştır. $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ malzemesi kullanılarak Kongo kırmızısı (497 nm), Metil mavisi (595 nm) ve Alizarin sarısı GG (353 nm) çözeltilerinin renk giderim özelliği bir spektrofotometre cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Her üç boyar maddenin renk giderim verimlilikleri, adsorban miktarı ve temas süresi gibi iki parametre kullanılarak sulu ortamda ve oda sıcaklığında ölçülmüştür. Son olarak Kongo kırmızısı, Alizarin sarısı GG ve Metil mavisi boyar maddelerinin adsorban madde miktarına bağlı olarak renk giderim verimlilikleri sırasıyla % 79,83, % 85,43 ve % 94,4 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak $BaAl_2B_2O_7$ malzemesinin üç farklı anyonik boyar maddenin sulu çözeltilerinin rengini yüksek oranda giderdiği anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Adsorpsiyon, Alüminyum borat, Alizarin sarısı, Metil mavisi, Kongo kırmızısı.

Bilim Kodu : 90305

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF BARIUM ALUMINUM BORATE ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) MATERIAL AS AN ADSORBENT

İlknur Sibel YÜKSEL

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Environmental Engineering**

**Thesis Advisor:
Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ**

August 2025, 66 pages

In this thesis, the adsorption behavior of three different anionic dyes was investigated using aqueous solutions of an adsorbent containing boron. $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ was used as the adsorbent. Initially, the adsorbent was synthesized in the laboratory using the combustion method. The synthesized adsorbent was characterized using XRD and FTIR techniques. The color removal properties of Congo red (497 nm), Methyl blue (595 nm), and Alizarin yellow GG (353 nm) solutions using $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ were measured using a spectrophotometer.

The color removal efficiencies of all three dyes were measured in aqueous media and at room temperature using two parameters: the amount of adsorbent and the contact time. Finally, the color removal efficiencies of Congo red, Alizarin yellow GG, and Methyl blue dyes, depending on the amount of adsorbent, were found to be 79.83%, 85.43%, and 94.4%, respectively. As a result, it was understood that $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ material decolorized the aqueous solutions of three different anionic dyes at a high rate.

Key Word : Adsorption, Aluminum borate, Alizarin yellow, Methyl blue, Congo red.

Science Code : 90305

TEŞEKKÜR

Laboratuvar araştırmaları sırasında ve sonrasında beni her zaman destekleyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlhan PEKGÖZLÜ'ye, Bartın Üniversitesi, Orman Fakóltesine ait laboratuvarın kullanılmasında Sayın Prof. Dr. Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ'ye teşekkürü bir borç biliyorum.

Yüksek Lisans eğitimine başlamam için bana vesile olan sevgili meslektaşım Gülçin YILMAZ'a, tez yazım sürecinde desteklerini esirgemeyen Feridun KOÇER'e ayrıca teşekkür ediyorum.

Bu çalışmama devam edebilmem ve yeni uzmanlık deneyimleri kazanmam için fırsatlar sunan Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakóltesine, son olarak da bu tezi daha sonra okuyacak olan herkese içtenlikle teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

[illegible]

2.4. LİTERATÜR ÖZETİ.....	14
BÖLÜM 3	19
MALZEMELER VE YÖNTEMLER.....	19
3.1. ADSORBAN SENTEZİ	21
3.1.1. Adsorbanın Karakterizasyonu	22
3.2. BOYAR MADDE ÇÖZELTİLERİNİN HAZIRLANMASI.....	22
3.3. ADSORPSİYON DENEYLERİ	22
3.4. KONGO KIRMIZISI BOYAR MADDESİNE ADSORBAN MİKTARININ ETKİSİ	25
3.5. KONGO KIRMIZISI BOYAR MADDESİNE TEMAS SÜRESİNİN ETKİSİ	26
3.6. METİL MAVİSİ BOYAR MADDESİNE ADSORBAN MİKTARININ ETKİSİ	27
3.7. METİL MAVİSİ BOYAR MADDESİNE TEMAS SÜRESİNİN ETKİSİ....	28
3.8. ALİZARİN SARISI BOYAR MADDESİNE ADSORBAN MİKTARININ ETKİSİ	29
3.9. ALİZARİN SARISI BOYAR MADDESİNE TEMAS SÜRESİNİN ETKİSİ	30
3.10. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
3.10.1. X-Işını Kırınımı (XRD) Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	31
3.10.2. Infrared Spektrum (FTIR) Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	32
3.10.3. Kongo Kırmızısı Boyar Maddesine Adsorban Miktarının Etkisi	33
3.10.4. Kongo Kırmızısı Boyar Maddesine Temas Süresinin Etkisi	38
3.10.5. Metil Mavisi Boyar Maddesine Adsorban Miktarının Etkisi.....	41
3.10.6. Metil Mavisi Boyar Maddesine Temas Süresinin Etkisi.....	47
3.10.7. Alizarin Sarısı Boyar Maddesine Adsorban Miktarının Etkisi	50
3.10.8. Alizarin Sarısı Boyar Maddesine Temas Süresinin Etkisi	56
BÖLÜM 4	59
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	62

ÖZGEÇMİŞ	66
----------------	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. 1. Su kirliliği türleri [7].	3
Şekil 1. 2. Tekstil Boyar Maddesinin Sınıflandırılması [9].	5
Şekil 2. 1. Sudan boya giderme yöntemleri [11].	7
Şekil 3. 1. Deneylerde kullanılan bazı kimyasal maddeler.	20
Şekil 3. 2. Fırına yerleştirildikten ve sentezlendikten sonra adsorbanın görünümü.	21
Şekil 3. 3. Balon jojelerdeki standart Kongo kırmızısı çözeltileri (Soldan sağa 5-10-20 ppm).	23
Şekil 3. 4. Manyetik karıştırıcı.	23
Şekil 3. 5. Santrifüj cihazı.	24
Şekil 3. 6. Deneyde kullanılan spektrofotometre.....	24
Şekil 3. 7. Kongo kırmızısı boyar maddesine adsorban miktarının etkisi deneylerinin işlem basamakları.....	25
Şekil 3. 8. Kongo kırmızısı boyar maddesine temas süresinin etkisi deneylerinin işlem basamakları.....	26
Şekil 3. 9. Metil mavisi boyar maddesine adsorban miktarının etkisi deneylerinin işlem basamakları.....	27
Şekil 3. 10. Metil mavisi boyar maddesine temas süresinin etkisi deneylerinin işlem basamakları.....	28
Şekil 3. 11. Alizarin sarısı boyar maddesine adsorban miktarının etkisi deneylerinin işlem basamakları.....	29
Şekil 3. 12. Alizarin sarısı boyar maddesine temas süresinin etkisi deneylerinin işlem basamakları.....	30
Şekil 3. 13. Sentezlenen adsorbanın ($BaAl_2B_2O_7$) X-ışını kırınım (XRD) diyagramı	31
Şekil 3. 14. Sentezlenen $BaAl_2B_2O_7$ malzemesinin infrared (FTIR) spektrumu.	32
Şekil 3. 15. Soldan sağa madde miktarı: Su-1,3; 1; 0,7; 0,5; 0,3; 0,2; 0,1; 0,05 ve 0,025g adsorban eklendikten sonra 20 ppm konsantrasyonda kongo kırmızısı çözeltisi	33
Şekil 3. 16. Kongo kırmızısı (CR) çözeltilerinin kalibrasyon grafiği (497 nm, oda sıcaklığı).....	34
Şekil 3. 17. 5, 10, 20, 40 ppm Congo Red (CR) çözeltilerinin UV-görünür alan spektrumu (maksimum absorbans değeri 497 nm, oda sıcaklığı).....	35

- Şekil 3. 18. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltisi içine farklı miktarlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,025, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0 ve 1,3g BaAl₂B₂O₇, 30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)..... 36
- Şekil 3. 19. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen farklı adsorban madde miktarı ile konsantrasyon (Ce) arasındaki ilişki (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) 36
- Şekil 3. 20. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen farklı miktarlardaki adsorbanların % adsorpsiyon verimi (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) 37
- Şekil 3. 21. Soldan sağa temas süresi: 0,1 gram adsorban eklendikten sonra 20 ppm konsantrasyonda kongo kırmızısı çözeltisi(15, 30,60, 90 ve 120 dk, su) ... 38
- Şekil 3. 22. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine farklı zamanlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,1g BaAl₂B₂O₇, zaman: 15, 30, 60, 90, 120 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)..... 39
- Şekil 3. 23. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen 0,1g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) konsantrasyon (Ce) üzerine etkisi (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) 40
- Şekil 3. 24. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen 0,1g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) adsorpsiyon (renk giderim) verimliliği (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) 40
- Şekil 3. 25. Soldan sağa madde miktarı: 0,0025; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04 ve 0,08g adsorban eklendikten sonra 50 ppm konsantrasyonda metil mavisi çözeltisi 41
- Şekil 3. 26. 5, 10, 20, 50 ppm Metil Mavisi (MB) çözeltilerinin görünür alan spektrumu (oda sıcaklığı, maksimum absorbans değeri 595 nm)..... 42
- Şekil 3. 27. Metil Mavisi (MB) standart çözeltilerinin kalibrasyon grafiği (595 nm, oda sıcaklığı)..... 42
- Şekil 3. 28. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı miktarlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,0025, 0,005 ve 0,02g BaAl₂B₂O₇ (BABO), 30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)..... 43
- Şekil 3. 29. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı miktarlarda eklenen adsorban miktarlarının adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,0025, 0,005, 0,01, 0,02, 0,04 ve 0,08g BaAl₂B₂O₇ (BABO), 30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)..... 44
- Şekil 3. 30. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine eklenen farklı miktarlardaki adsorbanların % adsorpsiyon verimi (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) 45
- Şekil 3. 31. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine eklenen farklı adsorban madde miktarı ile konsantrasyon (Ce) arasındaki ilişki (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)..... 46

Şekil 3. 32. Soldan sağa temas süresi: 0,1 gram adsorban eklendikten sonra 50 ppm konsantrasyonda metil mavisi çözeltisi(120, 90, 60, 30, 15, 5 dk ve 50 ppm çözelti).....	47
Şekil 3. 33. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı zamanlarda eklenen adsorban çözeltilerin adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,01g BaAl ₂ B ₂ O ₇ , zaman: 5, 15, 60 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	48
Şekil 3. 34. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı zamanlarda eklenen adsorban çözeltilerin adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,01g BaAl ₂ B ₂ O ₇ , zaman: 5, 15, 30, 60, 90, 120 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	48
Şekil 3. 35. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen 0,01 g adsorban sonrası farklı zamanlardaki (5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) adsorpsiyon (renk giderim) verimliliği (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)	49
Şekil 3. 36. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen 0,01g adsorbanların farklı zamanlardaki (5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) konsantrasyon (Ce) değerleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).....	50
Şekil 3. 37. Soldan sağa madde miktarı: Su- 1,2; 0,9; 0,6; 0,4; 0,2 ve 0,1g adsorban eklendikten sonra 25 ppm konsantrasyonda alizarin sarısı çözeltisi.	51
Şekil 3. 38. 2,5, 5, 10, 20 ppm Alizarin Yellow GG (AYGG) çözeltilerinin UV-görünür alan spektrumu (maksimum absorbans değeri 353 nm, oda sıcaklığı).	51
Şekil 3. 39. Standart Alizarin Yellow GG (AYGG) çözeltilerinin kalibrasyon grafiği (353 nm, oda sıcaklığı).	52
Şekil 3. 40. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine farklı miktarlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,9 ve 1,2g BaAl ₂ B ₂ O ₇ , 60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	53
Şekil 3. 41. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen farklı miktarlardaki adsorbanların % adsorpsiyon verimi (60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)	54
Şekil 3. 42. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen farklı adsorban madde miktarı ile konsantrasyon (Ce) arasındaki ilişki (60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)	55
Şekil 3. 43. Soldan sağa temas süresi: 0,2 gram adsorban eklendikten sonra 25 ppm konsantrasyonda alizarin sarısı çözeltisi (15, 30, 60, 90 ve 120 dk)	56
Şekil 3. 44. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen adsorban çözeltilerin farklı zamanlardaki adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,2g BaAl ₂ B ₂ O ₇ , zaman: 15, 30, 60, 90, 120 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	57
Şekil 3. 45. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen 0,2g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) adsorpsiyon (renk giderim) verimliliği (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	58

Şekil 3. 46. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen 0,2g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) konsantrasyon (Ce) üzerine etkisi (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) 58



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3. 1. Standart Kongo kırmızısı çözeltilerinin 497 nm'deki konsantrasyon-absorbans değerleri.....	34
Çizelge 3. 2. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltisine eklenen farklı miktarlarda $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası elde edilen absorbans ve konsantrasyon değerleri.....	35
Çizelge 3. 3. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltilerine eklenen farklı miktarlardaki $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	37
Çizelge 3. 4. 20 ppm'lik Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen 0,1 gram adsorban miktarının farklı zamanlardaki Absorbans- Konsantrasyon değerleri (497 nm, 250 rpm karıştırma hızı).....	38
Çizelge 3. 5. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltilerine eklenen 0,1g adsorban sonrası farklı zamanlarla yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).....	39
Çizelge 3. 6. Standart Metil Mavisi (MB) çözeltilerinin 595 nm'deki konsantrasyon-absorbans değerleri.....	43
Çizelge 3. 7. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen farklı miktarlarda $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası elde edilen adsorpsiyon (595nm) ve konsantrasyon değerleri.....	44
Çizelge 3. 8. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen farklı miktarlardaki $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası renk giderim verimlilikleri (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	45
Çizelge 3. 9. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine eklenen 0,01 gram adsorban miktarının farklı zamanlardaki Absorbans- Konsantrasyon değerleri (595 nm, 250 rpm karıştırma hızı).	47
Çizelge 3. 10. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen 0,01g adsorban sonrası farklı zamanlarla yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).	49
Çizelge 3. 11. Standart Alizarin Yellow GG çözeltilerinin 353 nm'deki konsantrasyon-absorbans değerleri.....	52
Çizelge 3. 12. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen farklı miktarlarda $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası elde edilen absorbans ve konsantrasyon değerleri.....	53

Sayfa

- Çizelge 3. 13. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen farklı miktarlardaki $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı). 54
- Çizelge 3. 14. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen 0,2 gram adsorban miktarının farklı zamanlardaki Absorbans- Konsantrasyon değerleri (250 rpm karıştırma hızı). 56
- Çizelge 3. 15. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen 0,2g adsorban sonrası farklı zamanlardaki adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı). 57



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

BO_3^{-1} : borat anyonu

Ba : baryum

Al : alüminyum

nm : nanometre

AlO_4 : tetrahedral alümina

T : sıcaklık

P : basınç

Q : adsorbe edilen miktar

Ce : denge konsantrasyonu

Cs : çözünürlük

μm : mikrometre

g : gram

$^{\circ}\text{C}$: santigrat derece

mg : miligram

L : litre

ppm : milyonda bir birim

rpm : devir/dakika

KISALTMALAR

NMR	: Nükleer Magnetik Rezonans
IR	: Infrared
UV	: Ultraviyole
XRD	: X-Işını Kırınımı
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
MB	: Metil Mavisi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopisi
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
RS	: Raman Spektroskopisi
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
AYGG	: Alizarın Sarısı GG
CR	: Kongo Kırmızısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Boyar maddeler, binlerce yıldır insanlar tarafından birçok alanda kullanılmaktadır. Eski zamanlarda, çoğunlukla doğal kaynaklar olan bitkiler veya böceklerden elde edilen ve küçük ölçekte üretilen boyar maddeler "doğal boyar maddeler" olarak adlandırılır. Fakat, bu doğal boyar maddelerin renk çeşitliliği sınırlıydı ve yıkama veya güneş ışığına maruz kaldıklarında renklerinin solma eğilimi gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Antik dönemde uygulama alanı olarak duvar resimleri, kumaşların renklendirilmesi gibi birçok amaç için kullanılan doğal boyarmaddelere, William Henry Perkin'in ilk sentetik boya olma özelliği taşıyan "Mauveine" boyar maddesini üretmesi ile talep azalmıştır.

1856'da geliştirilen sentetik boyar maddeler çeşitli kullanımlar için solmayan, parlak renklere sahip olup doğal boyar maddelerin dezavantajlarını çözmekte önemli bir adım oldu. Fakat, sentetik boyar maddelerin kullanımıyla birlikte, yeni çevresel sorunları beraberinde getirdi. Örneğin; boyar madde içeren endüstriyel atık suların, uygun arıtma aşamalarından geçmeden doğaya salınımı gibi. Bu sebepten ötürü, sentetik boyaya oranla doğal boyar maddelerin kullanımının hala tercih edilebilir olabileceği düşündürmekte olup, çevre kirliliği kapsamında doğal boyar maddelerin kullanımının da güvenli olmadığı unutulmamalıdır [1,2].

Şimdiye kadar tekstil boyar madde giderimi için organik ve inorganik adsorbanlar kullanılarak çok sayıda çalışma yürütülmüştür ve yüksek adsorpsiyon oranları elde edilmiştir. Sulu ortamdan tekstil boyar madde gidermek için metal boratların iyi bir adsorban olduğu bilinmektedir [3,4]. $BaAl_2B_2O_7$ bileşiği metal alüminyum borat ailesinin bir üyesidir. BO_3 , AlO_4 grupları ve Ba^{+2} katyonu temel kristal yapısını

oluşturur. Kristalin yapısı derinlemesine Yen ve arkadaşları tarafından detaylı incelenmiştir [5]. Baryum alüminyum boratın yapısında (Ba^{2+}) ve (Al^{3+}) katyonları bulunmaktadır ve bu iki katyon bileşiğin yüzeyini oldukça polarlaştırmaktadır. Bu çalışmayla baryum alüminyum boratın adsorban özelliği bir spektrofotometre kullanılarak incelenmiştir.

1.1. SU KİRLİLİĞİ

Atık su arıtımı, çevre kirliliğini önlemek için hayati önem taşır. Geniş anlamda, atık su, insan kullanımından etkilenen kullanılmış sudur. Atık su kaynakları arasında şunlar bulunur: evlerden gelen evsel atıklar, topluluklardan gelen belediye atık suları (kanalizasyon olarak da adlandırılır) veya endüstriyel faaliyetlerden gelen endüstriyel atıklar.

Evler, tuvaletlerden, lavabolardan, bulaşık makinelerinden, çamaşır makinelerinden, küvetlerden ve duşlardan atık su üretebilir. Lavabolardan, küvetlerden, duşlardan, bulaşık makinelerinden ve çamaşır makinelerinden gelen atık suya gri su denir. Sıhhi atık su veya kara su, tuvaletleri sifonlamak için kullanılan suyun (dışkı ve idrar) insan atıklarıyla birleşmesiyle oluşan sudur. Atık su ayrıca sabun, deterjan ve tuvalet kağıdı açısından da zengindir.

Atık su genellikle bir binadan kanalizasyon (birleşik veya ayrı) adı verilen bir boru hattıyla taşınır ve başka bir yere veya birçok çeşidi bulunan bir tesis içi kanalizasyon tesisine taşınır. Sıhhi kanalizasyon yalnızca kara su taşır. Yağmur suyu akışını da içeren birleşik kanalizasyon, özellikle yüksek yağış alan ülkelerde yüksek hacmi nedeniyle son günlerde pek yaygın değildir.

Atık suyun özellikleri, kaynağına göre değişir. Atık su genellikle hacim veya akış hızı, fiziksel durumu, kimyasal ve toksik bileşenleri ve bakteriyolojik durumu (hangi organizmaları ve ne miktarda içerdiği) ile karakterize edilir. Uygun bir arıtma işlemi yapılmadan çevreye deşarj edilen atık su, su kirliliğine neden olur. Bu nedenle, atık su, alıcı sulara verilmeden önce arıtılmalıdır. Atık su arıtımı, kirleticileri gidermek ve arıtılmış atık su üretmek için genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri içerir.

Birçok gelişmekte olan ülkede, evsel ve endüstriyel atık suyun büyük bir kısmı herhangi bir arıtma işlemi yapılmadan veya yalnızca kısmi arıtma ile deşarj edilir [6].



Şekil 1. 1. Su kirliliği türleri [7].

1.2. BOYAR MADDE TÜRÜ VE KULLANIM ALANLARI

Boyar maddeler, binlerce yıldır insanlar tarafından birçok alanda kullanılmaktadır. Eski zamanlarda, çoğunlukla doğal kaynaklar olan bitkiler veya böceklerden elde edilen ve küçük ölçekte üretilen boyar maddeler "doğal boyar maddeler" olarak adlandırılır. Fakat, bu doğal boyar maddelerin renk çeşitliliği sınırlıydı ve yıkama veya güneş ışığına maruz kaldıklarında renklerinin solma eğilimi gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Antik dönemde uygulama alanı olarak duvar resimleri, kumaşların renklendirilmesi gibi birçok amaç için kullanılan doğal boyarmaddelere, William Henry Perkin'in ilk sentetik boya olma özelliği taşıyan "Mauveine" boyar maddesini üretmesi ile talep azalmıştır.

1856'da geliştirilen sentetik boyar maddeler çeşitli kullanımlar için solmayan, parlak renklere sahip olup doğal boyar maddelerin dezavantajlarını çözmekte önemli bir adım oldu. Fakat, sentetik boyar maddelerin kullanımıyla birlikte, yeni çevresel sorunları beraberinde getirdi. Örneğin; boyar madde içeren endüstriyel atık suların, uygun arıtma aşamalarından geçmeden doğaya salınımı gibi. Bu sebepten ötürü, sentetik boyaya oranla doğal boyar maddelerin kullanımının hala tercih edilebilir olabileceği düşündürmekte olup, çevre kirliliği kapsamında doğal boyar maddelerin kullanımının da güvenli olmadığı unutulmamalıdır [1,2].

1.2.1. Boyaların Sınıflandırılması

Boyar maddelerin sınıflandırılması; boyalar ve pigmentler olarak yapılmaktadır. Kullanıma hazır hale gelmesi için bir çözücü içerisinde çözülmesi gereken maddeler boya olarak tanımlanmaktadır. Bir çoğu aromatik gruplardan meydana gelen organik bileşiklerdir. Organik boyalara kıyasla inorganik boyaların kullanım alanı daha kısıtlıdır.

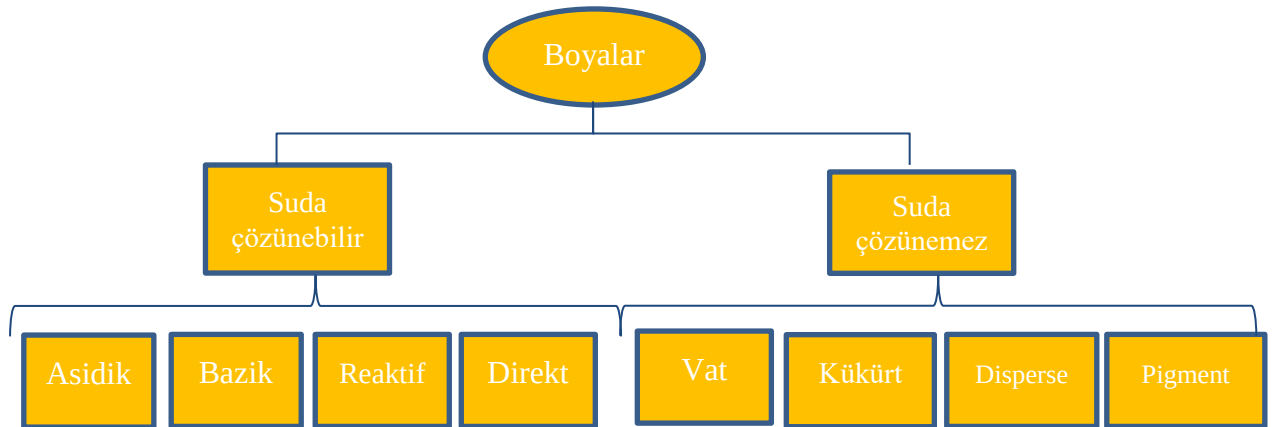
Organik boyalar ise kromojenik ve oksokromik olarak 2 gruptan oluşur. Kromofor adı verilen grupları içeren aromatik halkalardan veya konjuge çift bağlı alifatik zincirlerden oluşan bileşikler renkli olarak sınıflandırılır. Bunlara kromojen denir. Oksokromik gruplar ise, boyanın liflere tutunmasını sağlayan ve boyaya rengini veren gruplardır. Oksokromik gruplar, renk yoğunluğunu artıran kromojenik gruplara bağlanır [8].

Boyar maddeler aynı zamanda sulu çözelti içerisinde yapılarına bağlı olarak da anyonik, nötr ve katyonik boyar maddeler olarak ayrılabilir. Boyar maddelerin kimyasal yapıları, suda çözünübilirlikleri ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılması Şekil 1.2'de gösterilmektedir [9].

Boyalar su kaynaklarının en önemli kirleticisi faktörleri arasında yer almaktadır. Tekstil, kozmetik, kağıt, gıda, boya, baskı ve ilaç gibi farklı endüstrilerde boyaların kullanımı yaygın olarak artmıştır. Her yıl toplam 50.000 tondan fazla boya çevresel atıklara deşarj edilmektedir. Boyalar, sucul ve bitkisel yaşam ortamları için büyük sorunlara

neden olabilecek tehlikeli maddelerdir. Boya ile kirlenmiş su, ışık penetrasyonunu engeller ve bu sebeple fotosentezin azalmasına sebep olur. İlave olarak, karmaşık aromatik yapısı nedeniyle boya ve renkli atıklar, en zor arıtılabilen sulardan biridir, bu da onları daha kararlı ve biyolojik olarak parçalanmayı zorlaştırır.

Günümüze kadar atık sulardan boyaların giderilmesi için elektrokimyasal yöntemler de dahil olmak üzere birçok fizikokimyasal prosedür geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında bozunma, ozonlama, oksidasyon, fotokataliz, membran filtrasyonu, adsorpsiyon ve biyolojik arıtma yer almaktadır. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon, düşük maliyeti, tasarımının kolaylığı, zararlı kalıntılar olmadan kolay çalıştırılması ve adsorbanın rejenerasyon olasılığı nedeniyle etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, bu yöntem sulu çözeltilerden farklı kimyasalların uzaklaştırılması için kullanılmıştır. Adsorpsiyon sürecinin uygulanabilirliği, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması ve ekonomik maliyetlerle geri kazanılabilir ve temin edilebilir olması beklenen adsorbanlara bağlıdır. Günümüzde de, sudan belirli organiklerin uzaklaştırılması için farklı potansiyel adsorbanlar uygulanmaktadır [10].



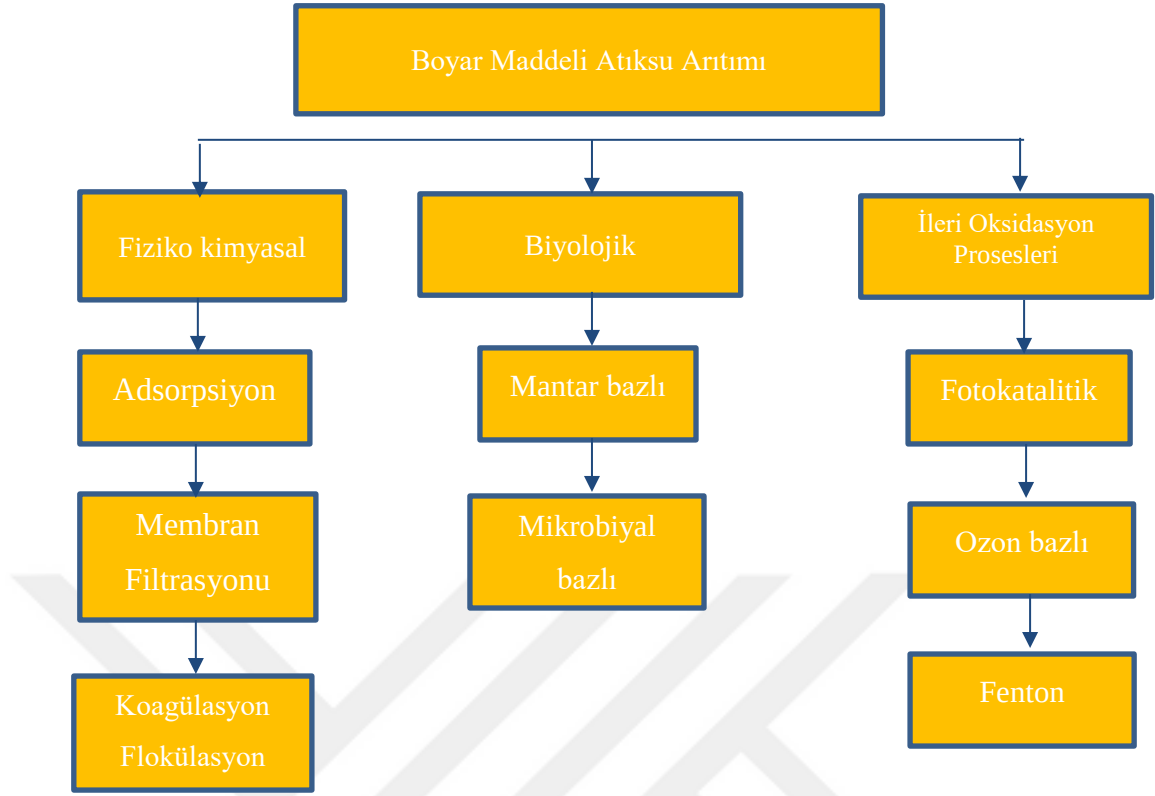
Şekil 1. 2.Tekstil Boyar Maddesinin Sınıflandırılması [9].

BÖLÜM 2

SUDAN BOYA GİDERME YÖNTEMLERİ

Boyalar su kaynaklarının en önemli kirletici faktörleri arasında yer almaktadır. Tekstil, kozmetik, kağıt, gıda, boya, baskı ve ilaç gibi farklı endüstrilerde boyaların kullanımı yaygın olarak artmıştır. Her yıl toplam 50.000 tondan fazla boya çevresel atıklara deşarj edilmektedir. Boyalar, sucul ve bitkisel yaşam ortamları için büyük sorunlara neden olabilecek tehlikeli maddelerdir. Boya ile kirlenmiş su, ışık penetrasyonunu engeller ve bu sebeple fotosentezin azalmasına sebep olur. İlave olarak, karmaşık aromatik yapısı nedeniyle boya ve renkli atıklar, en zor arıtılabilen sulardan biridir, bu da onları daha kararlı ve biyolojik olarak parçalanmayı zorlaştırır.

Günümüze kadar atık sulardan boyaların giderilmesi için elektrokimyasal yöntemler de dahil olmak üzere birçok fizikokimyasal prosedür geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında bozunma, ozonlama, oksidasyon, fotokataliz, membran filtrasyonu, adsorpsiyon ve biyolojik arıtma yer almaktadır. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon, düşük maliyeti, tasarımının kolaylığı, zararlı kalıntılar olmadan kolay çalıştırılması ve adsorbanın rejenerasyon olasılığı nedeniyle etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, bu yöntem sulu çözeltilerden farklı kimyasalların uzaklaştırılması için kullanılmıştır. Adsorpsiyon sürecinin uygulanabilirliği, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması ve ekonomik maliyetlerle geri kazanılabilir ve temin edilebilir olması beklenen adsorbanlara bağlıdır. Günümüzde de, sudan belirli organiklerin uzaklaştırılması için farklı potansiyel adsorbanlar uygulanmaktadır (Şekil 2.1) [10].



Şekil 2. 1. Sudan boya giderme yöntemleri [11].

2.1. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, bir kimyasal türün (adsorbat) buhar fazından veya bir çözeltiden bir katının (adsorban) yüzeyleri veya gözenekleri üzerinde veya yakınında yoğunlaşmasıyla karakterize edilen bir yüzey olgusudur. Bu yüzey fazlalığı, genellikle bir maddenin katı yüzeyle olan çekim enerjisinin (yani yapışma kuvvetinin) maddenin kendi kohezyon enerjisinden daha büyük olduğu durumlarda meydana gelir. Katı malzeme yüksek bir yüzey alanına sahipse, adsorpsiyonel alım artar. Adsorpsiyon, katı ve adsorbatın London-van der Waals kuvvetleri tarafından meydana gelirse, buna fiziksel adsorpsiyon denir. Adsorpsiyona yol açan kuvvetler kimyasal bağ kuvvetleriyle ilişkiliyse, adsorpsiyona kemisorpsiyon denir. Ancak, fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki ayrım her zaman keskin değildir. Örneğin, polar buharların polar katılara adsorpsiyonu, adsorpsiyon enerjisine bağlı olarak her iki sınıfa da girebilir.

Termodinamik açıdan, seyreltik bir buhar fazından veya çözeltiden katı bir yüzeye bir maddenin konsantrasyonu, moleküllerin hareket serbestliğinde bir azalmaya ve dolayısıyla sistem entropisinde bir kayba karşılık gelir. Bu nedenle, adsorpsiyon süreci, uygun bir serbest enerji itici kuvvetini (yani ΔG 'nin negatif olması) korumak için negatif ΔH 'nin ilişkili negatif $T\Delta S$ 'den büyük olması ölçüsünde ekzotermik olmalıdır. Bir buhar, daha önce boş bir katı yüzeye veya gözenek boşluğuna adsorbe edildiğinde, adsorbe edilen buhar miktarı katı kütlesiyle orantılıdır. Buhar alımı ayrıca sıcaklığa (T), buharın denge kısmi basıncına (P) ve katı ile buharın doğasına da bağlıdır. Sabit bir sıcaklıkta bir katıya adsorbe edilen bir buhar için, katının birim kütlesi başına adsorbe edilen miktar (Q), yalnızca P 'nin bir fonksiyonudur. Belirli bir sıcaklıkta Q ve P arasındaki ilişkiye adsorpsiyon izotermi denir. Q genellikle bağıl basıncın (P/P°) bir fonksiyonu olarak gösterilir; burada P , adsorbatın T sıcaklığındaki doymuş buhar basıncına (P°) normalize edilir. Normalize edilmiş izoterm genellikle daha kullanışlıdır, çünkü bir kişinin net adsorpsiyon ısılarını ve buharların diğer özelliklerini belirli bir sıcaklık aralığında kolayca değerlendirmesini sağlar. Çözeltiden çözünen maddelerin adsorpsiyonu için, Q 'yu C_e (denge konsantrasyonu) veya bağıl konsantrasyon C_e / C_s ile ilişkilendirerek benzer izoterm formları oluşturulur; burada C_s çözünen maddenin çözünürlüğüdür.

Katı bir yüzeyin mikroskobik yapısının neredeyse homojen olduğu nadir durumlar dışında, çoğu katının yüzeyi heterojendir ve bu da adsorpsiyon enerjilerinin değişken olmasına neden olur. Adsorpsiyon bölgeleri, artan kısmi basınç veya çözünen madde konsantrasyonu ile birlikte, en yüksek enerjili bölgelerden başlayarak en düşük enerjili bölgelere doğru sırayla tutulur. Dolayısıyla, adsorpsiyonun net (diferansiyel) molar ısı, artan adsorpsiyonla azalır ve buhar basıncı veya çözünen madde konsantrasyonu doygunluğa ulaştığında sıfıra iner. Adsorpsiyon izotermi, katının enerjik heterojenliği ve sınırlı aktif bölgeleri veya yüzeyleri nedeniyle genellikle doğrusal değildir. Katının belirli bir bölgesi veya yüzeyi iki veya daha fazla farklı adsorbat türü tarafından paylaşılmadığı için, adsorpsiyon süreci zorunlu olarak rekabetçidir ve bu da bir bölüşüm sürecinin aksinedir. Katının yüzey alanı veya gözenekliliği genellikle buhar adsorpsiyon miktarını etkileyen temel faktördür; bu nedenle, güçlü bir adsorban geniş bir yüzey alanına sahip olmalıdır. Çözeltiden çözünen bir maddenin adsorpsiyonu, çözücü ve çözeltideki diğer bileşenlerle rekabete tabidir. Bu nedenle,

tek buharlar için güçlü bir adsorban, çözültiden çözünen maddeler için mutlaka güçlü bir adsorban değildir [12].

2.2. ARAŞTIRMADA KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ

2.2.1. Spektroskopi

Spektrometrik yöntemler, atomik ve moleküler spektroskopiye dayalı geniş bir analitik yöntem grubunu kapsar. Spektroskopi, radyasyonun madde ile etkileşimlerini inceleyen bilim için kullanılan genel bir terimdir. Tarihsel olarak, ilgi duyulan etkileşimler elektromanyetik radyasyon ve madde arasındaydı, ancak günümüzde spektroskopi, madde ve diğer enerji biçimleri arasındaki etkileşimleri de kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Örnekler arasında akustik dalgalar ve iyonlar ve elektronlar gibi parçacık ışınları bulunur. Spektrometri ve spektrometrik yöntemler, radyasyon yoğunluğunun bir fotoelektrik dönüştürücü veya başka bir elektronik cihazla ölçülmesini ifade eder. En yaygın kullanılan spektrometrik yöntemler, çeşitli biçimler alan bir enerji türü olan elektromanyetik radyasyona dayanır; en kolay tanınanları ışık ve radyant ısıdır. Daha az belirgin tezahürler arasında gama ışınları ve X ışınlarının yanı sıra ultraviyole, mikrodalga ve radyofrekans radyasyonu bulunur [13].

2.2.1.1. Ultraviyole ve görünür alan spektroskopisi (elektronik spektroskopi)

Elektromagnetik dalgayla (enerjiyle), maddenin etkileşmesini inceleyen bilim dalına spektroskopi denir. Söz konusu madde çekirdek, atom veya molekül olabilir.

Bir madde, üzerine düşürülen çeşitli dalga boylarından (ultraviyole ışınlarından radyo dalgalarına kadar) ancak bazılarını absorplar (absorpsiyonun kuvantalı oluşu). Maddenin bu özelliğinden yararlanılarak yapısı, konsantrasyonu vs. tayin edilebilir. Bunun için madde üzerine dalga boyu 110 nm den 3000 nm ye kadar değişen ışınlar düşürülür. Bütün bu dalga boylarını verecek ve hangi dalga boylarının absorplandığını tespit edecek tek bir cihaz yapmak mümkün olmadığından, belirli dalga boyları arasında çalışan cihazlar geliştirilmiştir. 110-1000 nm dalga boylarındaki ışınlarla çalışan cihazlara ultraviyole ve görünür alan, 2500-25000 nm dalga boylarında çalışan cihazlara infrared ve dalga boyları yüzlerce metreye kadar değişen radyo dalgalarıyla

alışan cihazlara da nükleer magnetik rezonans cihazlar denir. Bu cihazların geçerli oldukları alan spektroskopilerine de sırasıyla ultraviyole UV ve görünür (elektronik), infrared IR (titreşim) ve nükleer magnetik rezonans (NMR) spektroskopileri adı verilir.

Spektroskopiler içinde en çok enerjii gerektireni ultraviyole (elektronik), en az enerjii gerektireni de NMR spektroskopisidir. Bu ayırım kullanılan ışınların dalga boylarından da anlaşılabılır. Elektronik spektroskopide maddenin absorpladığı enerji, yapısında bulunan bir elektronu bir st enerji seviyesine çıkarır. Bu sebeple ultraviyole ve görünür alan, spektroskopisine orbitaller arasında elektron geçişlerini inceleyen spektroskopi dalı adı da verilmektedir.

Her ultraviyole ve görünür alan cihazı 110-1000 nm arasında çalışmaz. Genellikle 200-1000 nm arasında çalışan cihazlar yapılır.

110-200 nm arasındaki çalışmalar için vakumlu, çok pahalı ve masraflı UV cihazları kullanılır. Bunun sebebi N, ve 0, 160 ve 200 nm de absorpsiyon yapmalarıdır. Hem organik, hem de inorganik maddeler UV ve görünür alanda absorpsiyon yaparlar. Her iki grup maddede de elektron geçişinin temeli aynı olmakla beraber açıklanma yöntemleri farklıdır. Organik maddelerin absorplamaları molekül orbital teorisine göre, inorganik maddelerinkiyse kristal alan teorisine göre yapılır. Moleküler orbital teorisi, molekül orbitalleri kabulüne dayanır [14].

2.2.2. X- Işını Kırınım (XRD) Analizi

Tarihsel olarak, katılardaki atomik ve moleküler düzenlemelere ilişkin çalışmaların büyük bir kısmı X-ışını kırınımı araştırmalarından kaynaklanmaktadır; ayrıca, X-ışınları yeni malzemelerin geliştirilmesinde hala çok önemlidir.

X-ışınları, yüksek enerjilere ve kısa dalga boylarına sahip bir elektromanyetik radyasyon türüdür; dalga boyları, katıların atom aralıkları mertebesinde. Bir X-ışını demeti katı bir malzemeye çarptığında, bu demetin bir kısmı, demetin yolu üzerinde bulunan her atom veya iyonla ilişkili elektronlar tarafından her yöne saçılır. X-ışını araştırmalarının temel ve yaygın olarak rağbet gören alanlarından biri, maddenin

kristal yapısı ve özellikleri hakkında temel soruları yanıtlayan X-ışını kristalografisi analizidir.

X-ışını difraktometrisinin temel kullanım alanlarından biri kristal yapısının belirlenmesidir. Birim hücre boyutu ve geometrisi, kırınım tepe noktalarının açısal konumlarından belirlenebilirken, birim hücre içindeki atomların dizilimi bu tepe noktalarının göreceli yoğunluklarıyla ilişkilidir.

X ışınları, elektron ve nötron ışınlarının yanı sıra, diğer malzeme araştırmalarında da kullanılır. Örneğin, tek kristallerin kristalografik yönelimleri, X-ışını kırınımı (veya Laue) fotoğrafları kullanılarak mümkündür. X-ışınlarının diğer kullanımları arasında nitel ve nicel kimyasal tanımlamalar ve kalıntı gerilimlerin ve kristal boyutunun belirlenmesi yer alır [15].

2.2.3. Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) Analizi

Spektrumun yaklaşık 10^{-3} m'den (mikrodalga) 780 nm'ye (görünür) kadar uzanan kısmı kızılötesi (IR) bölge olarak adlandırılır. Görünür bölgenin kırmızı kenarından dalga boyu ölçeğinde 1 mm'ye kadar uzanan kızılötesi radyasyonlar, ilk olarak Sir William Herschel tarafından 19. yüzyılda görünür bölge boyunca ve ardından görünür bölgeden ötesine doğru sıcaklık artışını algılayarak keşfedilmiştir ve bu bölge kısa süre sonra IR bölgesi olarak tanımlanmıştır. Ultraviyole bölgedeki duruma benzer şekilde, kızılötesi radyasyonlar insan gözüyle görülemez. Kızılötesi radyasyonlar görünür bölgeye kıyasla daha uzun bir dalga boyunda ortaya çıkar. Bu da, kızılötesi radyasyonlarla ilişkili enerjinin görünür ışıgından daha düşük ve mikrodalgalarından daha yüksek olduğu anlamına gelir. Buna göre, moleküler titreşimleri başlatabilen bir enerjiye sahip olan kızılötesi radyasyonlar, atomların bağları etrafındaki konumlarının tekrarlayan salınımlarını başlatarak etki ederken, tüm molekül sürekli bir öteleme ve dönme hareketi içindedir.

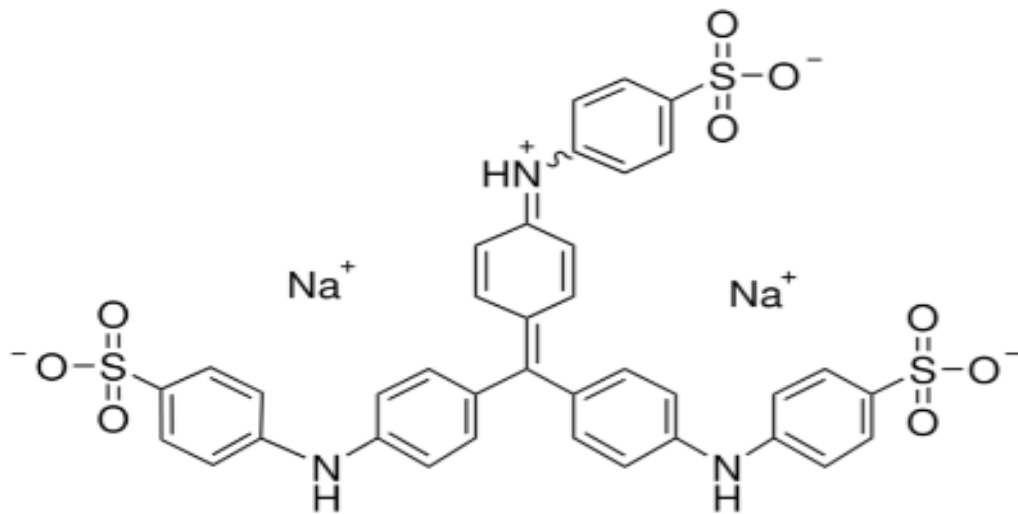
Genel olarak, titreşim spektroskopisi, hem kızılötesi (IR) hem de Raman spektroskopisini (RS) içeren ölçümleri tanımlamak için kullanılan ortak bir terimdir. Bir yaklaşım olarak, titreşim spektroskopisi, ışık/fotonların Emiliminden kaynaklanan moleküler titreşimleri ölçmek için kullanılır. Bu nedenle, titreşim frekansı ν ile eşleşen enerjinin Emilimi, E , dipol momentindeki değişim nedeniyle moleküler titreşimi tetikler. Her iki teknik de bir numunenin kimyasal yapısını ifade eden spektral çizimler verir [16-19].

2.3. DENEYLERDE KULLANILAN BOYAR MADDELER

2.3.1. Metil Mavisi ve Kullanım Alanları

Metil mavisi (MB), $C_{37}H_{27}N_3Na_2O_9S_3$, molekül ağırlığı = 799.07 g mol tipik popüler, suda çözünen bir boyadır. Boyama işlemlerinde ve boya giderimi için temsili bir bileşik olarak kullanılır.

Metil mavisi anyonik bir boyadır. Negatif iyon bağımlıdır ve farklı yapılarda bileşiklere sahiptirler. Metil mavisi trifenilmetan bir boyadır. Şu anda, membran filtrasyonu, adsorpsiyon, foto-kataliz, elektro-diyaliz, kimyasal çöktürme, elektrokimyasal ve iyon değişim işlemi gibi çeşitli teknolojiler su arıtımı için kullanılmaktadır [20,21].

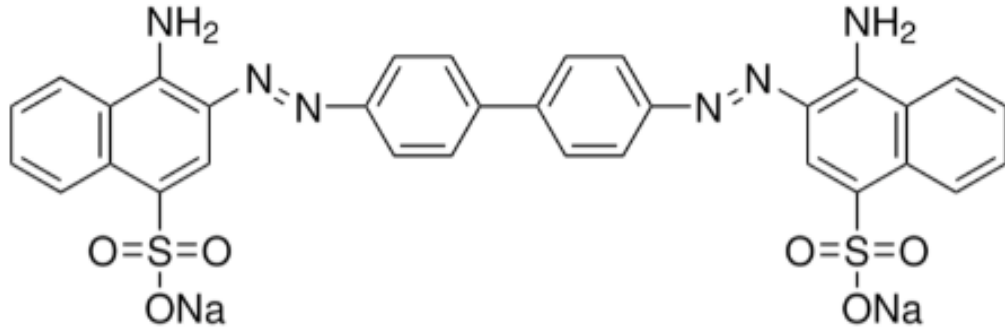


Şekil 2. 2. Metil mavisi kimyasal yapısı [3].

2.3.2. Kongo Kırmızısı ve Kullanım Alanları

Kongo kırmızısının molekül yapısı Şekil 2.3.'de gösterilmektedir ve kimyasal formülü $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$, Renk İndeksi 22120 olan bir sodyum tuzudur. Kongo kırmızısının molekül ağırlığı 696.65'tir.

Kongo kırmızısı boyası, dünyada en zararlı ve kullanılan boyalardan biri olan azo-aromatik gruptan olup, biyotransformasyonu sonucunda amin, benzidin ve diğer potansiyel olarak kanserojen gruplar ortaya çıkabilir. Bu toksik potansiyel nedeniyle, Kongo kırmızı boyası birçok ülkenin endüstrisinden renklendirici olarak çoktan yasaklanmıştı, ancak hala birçok ülkede kullanılıyor [22,23].



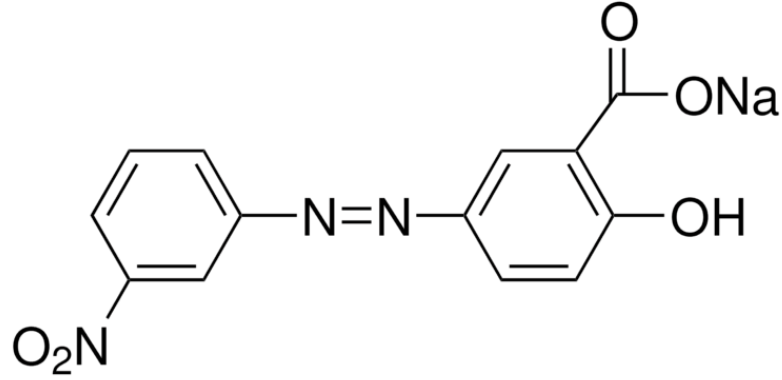
Şekil 2. 3. Kongo kırmızısı kimyasal yapısı [24].

2.3.3. Alizarin Sarısı ve Kullanım Alanları

Anyonik bir boya olan Alizarin sarısı GG, azo boyası olarak genellikle kromatografik reaktif, asit-baz indikatörü, sperm boyama vb. olarak kullanılır. Yapısı nedeniyle yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerine sahip oldukça kanserojen, genotoksik ve toksik bir boyadır. Alizarin sarısı GG içeren kirlenmiş su, deşarj edilmeden önce arıtılmalıdır.

Alizarin sarı GG (AYGG) [5-(3-nitrofenilazo)-2- hidroksibenzoik asit sodyum tuzu], bir azo grubu ile, $C_{13}H_8N_3NaO_6$ formülüne sahiptir. Asit olarak kullanılabilir baz

göstergesi, biyolojik lekeler ve tekstil, deri, plastik ve kozmetik alanlarında. Fenil halkası ile AYG'ın yapısında bulunan azo grupları, çevreye atıldığında zararlı etkilere yol açabilir [25,26].



Şekil 2. 4. Alizarin sarısı kimyasal yapısı [27].

2.4. LİTERATÜR ÖZETİ

Jia Liu ve arkadaşları $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ nanopartikül adsorbanları çöktürme yöntemi kullanarak sentezini yaptılar. Farklı Kongo Kırmızısı konsantrasyonları ve $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ nanopartikül dozajları için deneyler yapıldı. $\text{Fe}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ nanopartiküllerinin dengedeki maksimum Kongo Kırmızısı adsorpsiyon kapasitesi 128,6 mg/g olarak bulundu. Kongo Kırmızısı'nın adsorpsiyon verimi, başlangıç Kongo Kırmızısı konsantrasyonu 10 mg/L'den 30 mg/L'ye çıktığında %86,12'den %79,53'e düştüğü gözlemlendi. Adsorpsiyon sonuçları, adsorpsiyon mekanizmaları ve kinetik gibi temel parametreleri tanımlamak için modelleme yapıldı. Bir yalancı birinci dereceden kinetik model, sonuçlara uyduğu gözlemlendi. Denge adsorpsiyon verileri ayrıca izoterm modelleriyle de uyumlu hale getirildi ve hem Langmuir hem de Freundlich denklemleri uygun bulundu [28].

Arif Chowdhury ve arkadaşları CoNi_2S_4 malzemesini kullanarak sudan Kongo Kırmızısının adsorpsiyonu üzerine çalıştılar. İlk önce farklı sıcaklıklarda malzemeyi sentezlediler. Sentezlenen adsorbanın XRD, SEM, TEM ve FTIR teknikleri kullanarak karakterizasyonu yapıldı. Nanomalzeme, CR'nin çok yüksek bir adsorpsiyon

kapasitesine (2884 mg/g) sahiptir. CR'nin adsorpsiyonu, psödo-birinci dereceden kinetik ve modifiye edilmiş Zhu ve Gu izoterm modeline en iyi şekilde uymaktadır. Adsorpsiyon mekanizması, FTIR aracılığıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir [29].

Fei ve arkadaşları, katyonik (yani metilen mavisi, MB) ve anyonik (yani Kongo kırmızısı, CR) boyaların adsorpsiyonla daha iyi giderimi için Fe_3O_4 /kaolinit nanokompozitleri üretmek için yeni ve basit bir katı hal sentetik yöntemi geliştirmişlerdir. Elde edilen Fe_3O_4 /kaolinit nanokompozitleri, transmisyon elektron mikroskobu, X-ışını kırınımı, kızılötesi spektroskopisi, termogravimetrik analiz ve azot adsorpsiyon/desorpsiyon ölçümleriyle karakterize edilmiştir. Kaolinit yapısında oluşan Fe_3O_4 nanopartikül miktarının Fe_3O_4 /kaolinit nanokompozitinin özellikleri ve yapısı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Nanokompozitteki Fe_3O_4 kütle yüzdesi 0'dan 7'ye çıkarıldığında, nötr koşullar altında (yani pH: ~7,0) MB için maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g), 13,4'ten 42,3'e ve CR için 14,3'ten 138,5'e yükselmiştir. Bu, kaolinitin boya giderme kabiliyetinin orta düzeyde Fe_3O_4 ile modifikasyon yapılarak önemli ölçüde iyileştirilebileceğini göstermektedir. MB ve CR adsorpsiyonu en iyi şekilde psödo-ikinci mertebeden denklem, Langmuir adsorpsiyon modeli ve Freundlich adsorpsiyon modeli ile tanımlanmıştır [30].

Zichen Wang ve arkadaşları CeO_2 tozunu, çözelti yakma yöntemiyle sentezlediler. Elde ettikleri ürün, X-ışını kırınımı taramalı elektron mikroskobu ve BET yüzey alanı analizi ile karakterize edildi. Sonuçlar, CeO_2 tozlarının $28,17 \text{ m}^2/\text{g}$ yüzey alanına sahip köpüklü bir yapı sergilediğini gösterdi. CeO_2 tozlarının adsorpsiyon performansı, tipik Cr(VI) ve Kongo kırmızısı (CR) kirleticilerinin giderilmesine yönelik olarak test edildi. Sonuçlar, Cr(VI) ve CeO_2 tozlarının adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modelini ve psödo ikinci mertebe kinetiğini izlediğini ve sırasıyla 5,69 mg/g ve 35,51 mg/g adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu gösterdi [31].

Junshu Wu ve arkadaşları, hidrotermal koşullar altında NH_4F sulu çözeltisinde bir kimya şeması geliştirerek, KMnO_4 'ün Nb metal folyo ile indirgenmesiyle $\text{K}_{2-x}\text{Mn}_8\text{O}_{16}$ nanotellerini üretmişlerdir. NH_4F 'nin işlevleri ve çözelti fazında büyük miktarlarda anizotropik şekilli yapı oluşturma mekanizmaları hakkında bilgi edinilmiştir. Su arıtma denemeleri, $\text{K}_{2-x}\text{Mn}_8\text{O}_{16}$ nanotellerinin pH değerini ayarlamadan sulu

çözeltilerden yüksek oranda anyonik boya olan Kongo kırmızısını uzaklaştırma kapasitesine sahip olduğunu doğrulanmıştır. Bu çalışma ile, manganez oksitlerin kolayca ve hafif bir şekilde sentezlenmesinde ilerleme kaydetmekte ve çevresel iyileştirme için yeni bir nanomalzeme sınıfı tasarlamak için verimli bir yaklaşım sunabildiğini göstermektedir [32].

Milad Kohi Habibi ve arkadaşları, Ce katkılı ZnAl_2O_4 : x% Ce ($x = 1-5$ mol) parçacıkları, kolay eş-çöktürme yaklaşımıyla sentezlemiştir. Kalsinasyon sıcaklığının mikro yapılar ve lüminesans özellikleri üzerindeki etkisi ve Kongo kırmızısının (CR) giderimi için adsorpsiyon özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. X-ışını kırınım spektrumlarının sonuçları, ısıtılma sıcaklığının ZnAl_2O_4 saf fazının oluşumunu ve kristalit boyutunu etkileyen kritik bir hazırlama faktörü olduğunu ortaya konmuştur. Bu çalışma ile tavlama sıcaklığının 600 °C'den 1000 °C'ye çıkarılmasının, kristalit boyutunun sırasıyla 3,8 nm'den 13,7 nm'ye büyümesine yol açtığı sonucuna varılmıştır. Adsorpsiyon karakterizasyonları, CR'nin (10 ppm) çözeltisi için 50 dakika sonra giderim verimliliğinin %83,88'e ulaştığını, başlangıç konsantrasyonunun 40 ppm'ye yükseltilmesiyle ise giderim verimliliğinin %51,94'e düştüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca, sözde ikinci mertebeden modelin CR'nin adsorpsiyon davranışını iyi bir şekilde tahmin ettiği göstermiştir [33].

Yi Liu ve arkadaşları, çalışmalarında farklı metal iyonlarına sahip iki boyutlu MOF malzemelerini sentezleyip karakterize etmişler. MOF malzemeleri, sulu çözeltilerden anyonik boya alizarin sarısı GG'yi birbirleriyle karşılaştırmalı olarak uzaklaştırmak için kullanılmıştır. Temas süresi, başlangıç konsantrasyonu, sıcaklık ve iyonik kuvvet gibi adsorpsiyon verimliliğini etkileyen çeşitli parametreler sistematik olarak incelenmiştir. Boya bağlayıcı olarak çinko içeren MOF malzemelerinin adsorpsiyon kapasitesinin en yüksek olduğu ve bu durumun metal iyonu türünün adsorpsiyon verimliliğini büyük ölçüde etkilediğini gösterdiği bulunmuştur. Boya yüklü MOF malzemeleri basit bir yöntemle rejenere edilmiş ve malzemeler beş adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü boyunca üstün stabilite ve yeniden kullanılabilirliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, MOF malzemeleri, katyonik ve anyonik boylarla kirlenmiş atık sulardan anyonik boyları seçici olarak zenginleştirdiği gözlenmiştir.

Bu çalışma ile hazırlanan MOF malzemelerinin, sulu çözeltiden anyonik boyaları uzaklaştırmak için etkili ve potansiyel bir adsorban olduğu sonucuna varıldı [34].

Ramamoorthy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada eşmolar $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ nanokompoziti, zirkonyum için baskın tetragonal faz kullanılarak sol-jel yöntemiyle hazırlamışlar ve Alizarin Sarısı GG boyasının doğal güneş ışığı altında fotodegradasyonunu incelemişlerdir. $(101)\text{TiO}_2/(101)\text{ZrO}_2$ 'nin tercih edilen oryantasyonu ile Zr-O-Ti bağlanmasına olanak sağlayan arayüzey temasları heterojonksiyonlarda görülmüş ve TiO_2 kafesindeki kısmi Zr^{4+} ikamesi TiO_2 'nin asiditesini artırmıştır. Nanokompozitteki yüzey alanı, gözenek boyutu ve gözenek hacmindeki artış, boya çözeltisi için üstün adsorpsiyonuna katkıda bulunmuştur. $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$, ana TiO_2 'ye göre %68 oranında çok daha yüksek fotokatalitik aktivite göstermiştir. $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ 'nin EIS spektrumları, titanyumdan daha düşük empedans göstermiş ve bu da nanokompozit fotokatalizörünün daha yüksek aktivitesini desteklemektedir [35].

Ai-Lun Chang ve arkadaşları bu çalışmada metal (Ag, Zn ve Na) modifiye edilmiş Ba-La-Ti-oksit (BLTO) malzemesini hazırlamışlar, karakterize etmişler ve metil mavisi (MB) giderimi için bir adsorban olarak uygulamışlardır. Na-BaLa₄Ti₄O₁₅, 37,6 mg/g MB adsorpsiyon kapasitesi sergilerken, Zn-BaTiO₃/BaLa₂Ti₃O₁₀ ise 33,0 mg/g MB adsorpsiyon kapasitesi sergilemiştir; her ikisi de ticari TiO_2 tozundan sekiz kat daha yüksektir. MB adsorpsiyonu, Langmuir ve Freundlich izotermine göre ilerler ve işleyiş mekanizmasının kemisorpsiyon olduğunu ve güçlü adsorbat-adsorban etkileşimlerini içerdiğini öne süren psödo-2. derece kinetik modele uymaktadır. Özetle, uygun metal modifikasyonları ile BLTO, MB giderimi ve gelecekteki çevresel iyileştirmeler için bir emici olarak umut vaat ettiği sonucuna varmışlar [36].

Rahul Shukla ve arkadaşı bu çalışmada yeni bir adsorban olan alüminyum kobalt oksit (CS-ACO), çözelti yakma tekniğiyle sentezlediler. Sentezlenen ürün çeşitli tekniklerle karakterize edildi. CS-ACO'nun adsorpsiyon kapasitesi, ticari aktif karbonla gözlenenden daha yüksek olduğunu gözlediler. Dört anyonik boya, yani Kongo kırmızısı, Turuncu, İndigo, Karmin ve Metil mavisi CS-ACO üzerine adsorbe edildi. Kongo kırmızısı, adsorbanın birim ağırlığı başına maksimum adsorpsiyonu gösterdiği elde edildi. pH ve adsorban yüklemesinin adsorpsiyon kinetiği ve denge üzerindeki

etkisi belirlendi. Ve son olarak adsorpsiyon sırasında kontrol eden kütle transferi rejimleri belirlendi [37].



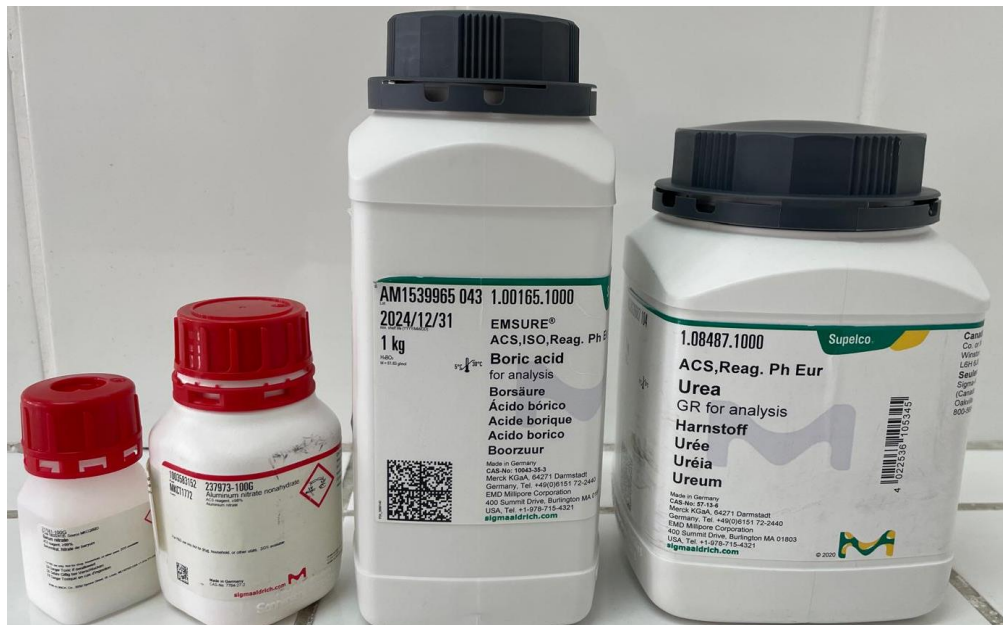
BÖLÜM 3

MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Atık sudan Metil mavisi, Kongo kırmızısı ve Alizarin sarısı maddelerinin uzaklaştırılması için adsorpsiyon yöntemi kullanılmıştır. Metil mavisi, Kongo kırmızısı ve Alizarin sarısı boyar maddelerinin saf toz halleri deneylerde kullanılmıştır. Adsorban ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) laboratuvar ortamında bir fırında ısıtıl işlem sonucu sentezlenmiştir.

Adsorpsiyon işleminin sonucunda Metil mavisi, Kongo kırmızısı ve Alizarin sarısı boyar maddelerinin konsantrasyonunu ölçmek için SHIMADZU UV 1800 model bir spektrofotometre kullanılmıştır.

Adsorpsiyon deneylerinde, Hettichzentrifugen model otofix 32A model santrifüj cihazı, DLAB MS H280 pro model magnetik karıştırıcı, preci XB 220A model hassas terazi ve GFL 2001/4 model saf su cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. 1. Deneylerde kullanılan bazı kimyasal maddeler.



3.1. ADSORBAN SENTEZİ

Bir toprak alkali alüminyum borat bileşiği olan $BaAl_2B_2O_7$ deneylerde adsorban olarak kullanılmıştır. Adsorbanı sentezlemek için kimyasal yöntemlerden biri olan yanma (combustion) yöntemi kullanılmıştır. Sentezde başlangıç kimyasalları olarak $Ba(NO_3)_2$, $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, H_3BO_3 , ve $CO(NH_2)_2$ kimyasalları kullanılmıştır. Başlangıçta bu kimyasalların stokiyometrik oranları hesaplanmış ve bir analitik terazi kullanılarak tartılmıştır. Tartılan kimyasallar bir beherde birleştirilmiş ve uygun miktarda saf suyla çözülmüştür. Daha sonra çözülen karışım bir porselen kapsüle aktarılmıştır. Porselen kapsüldeki karışım çözeltisi bir ısıtıcı üzerine konup $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ta suyu buharlaştırılmıştır. Suyu buharlaşan kapsül ısıtıcıdan alınıp $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'taki fırın içine konup 15 dakika bekletilmiştir. Fırından çıkarılan kapsül içindeki toz karışım öğütülüp homojen hâle getirilmiştir. Homojenize edilmiş toz karışım daha sonra bir alumina kayıkçık içine yerleştirilmiştir. Bu alumina kayıkçık daha sonra fırına yerleştirilip $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ta 6 saat bekletilmiştir (Şekil 3.2). Soğuyan toz malzeme, daha sonra karakterizasyona gönderilmiştir.



Şekil 3. 2. Fırına yerleştirildikten ve sentezlendikten sonra adsorbanın görünümü.

3.1.1. Adsorbanın Karakterizasyonu

Sentezlenen adsorbanın ($BaAl_2B_2O_7$) karakterizasyonu, X-ışını kırınımı (XRD) ve Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) cihazlarıyla analiz edilmiştir. Bunun için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezî Araştırma Laboratuvarındaki Panalytical EMPYREAN marka XRD cihazı ve Dokuz Eylül Üniversitesi Elektronik Malzemeler Üretim ve Uygulama Merkezindeki Thermo scientific NICOLET iS10 marka FTIR cihazı kullanılmıştır.

3.2. BOYAR MADDE ÇÖZELTİLERİNİN HAZIRLANMASI

Deneylerde kullanılmak üzere her bir boyar maddeden (Kongo kırmızısı, metil mavisi ve alizarin sarısı) 250 mg/L stok çözeltisi hazırlandı. Bu stok çözeltileri kullanılarak; 20 mg/L Kongo kırmızısı, 50 mg/L Metil mavisi ve 25 mg/L Alizarin Sarısı çözeltileri hazırlanmıştır. Kongo kırmızısı stok çözeltisi kullanılarak 5, 10, 20 ve 40 ppm'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin 497 nm dalga boyundaki absorbans değerleri kullanılarak kalibrasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 3. 16.). Sonra, stok metil mavi çözeltisi kullanılarak 5, 10, 20 ve 50, ppm'lik metil mavisi çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin 595 nm dalga boyundaki absorbans değerleri kullanılarak kalibrasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 3.27). Daha sonra Alizarin sarısı stok çözeltisi kullanılarak 2,5, 5, 10 ve 20 ppm'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin 353 nm dalga boyundaki absorbans değerleri kullanılarak kalibrasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 3.39.).

3.3. ADSORPSİYON DENEYLERİ

Adsorpsiyon deneyleri, üç farklı boyar madde (Kongo kırmızısı, Metil mavisi ve Alizarin sarısı) ve iki farklı parametre (adsorban madde miktarı ve temas süresi) kullanılarak 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapılan adsorpsiyon deneylerinin detaylı yapılışı çizelgelerde verilmiştir (Şekil 3.3-6.).



Şekil 3. 3. Balon jojelerdeki standart Kongo kırmızısı çözeltileri (Soldan sağa 5-10-20 ppm).



Şekil 3. 4. Manyetik karıştırıcı.



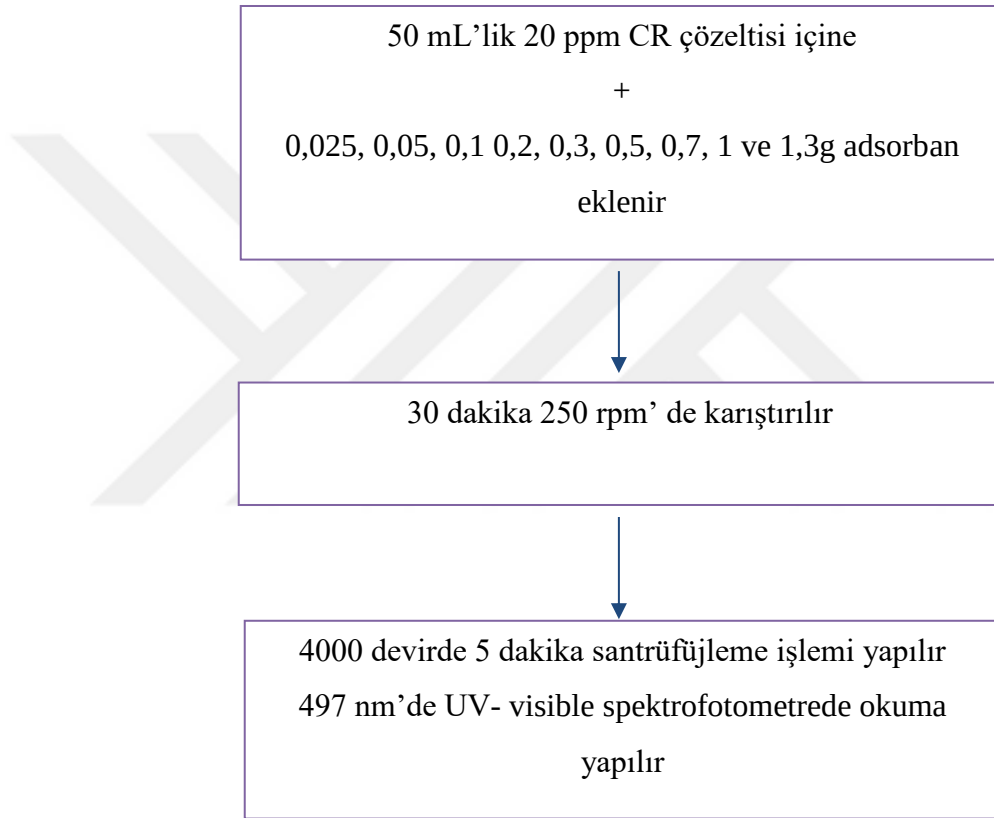
Şekil 3. 5. Santrifüj cihazı.



Şekil 3. 6. Deneyde kullanılan spektrofotometre

3.4. KONGO KIRMIZISI BOYAR MADDESİNE ADSORBAN MİKTARININ ETKİSİ

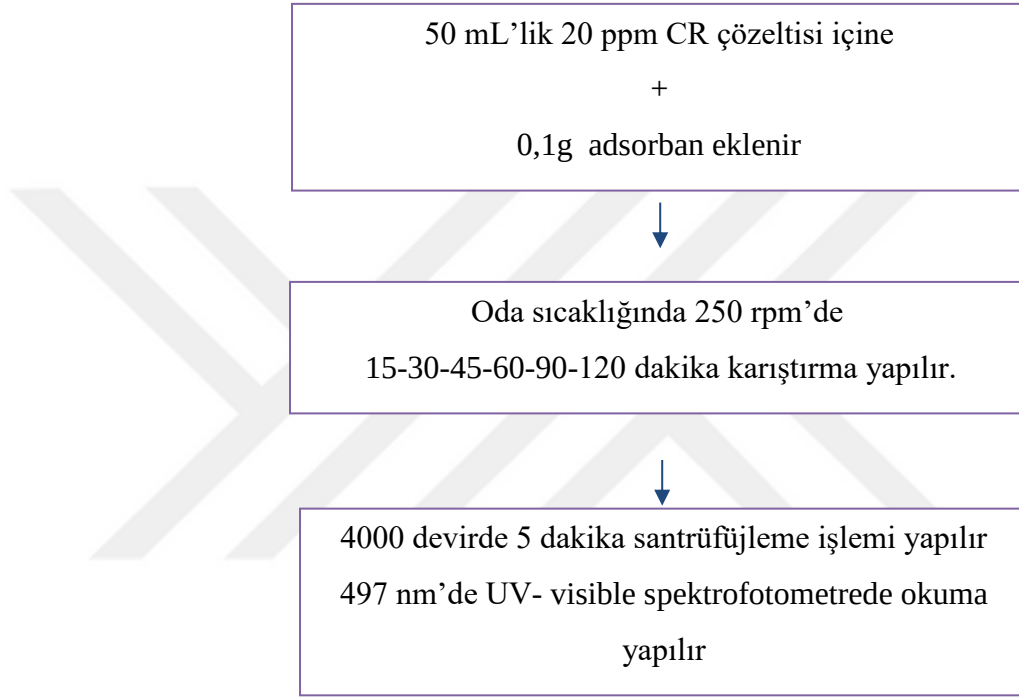
Dokuz farklı adsorban miktarı kullanılarak (0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1 ve 1,3g) 20 ppm, Kongo kırmızısı (CR) çözeltisi kullanarak 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin akış diyagramı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 7. Kongo kırmızısı boyar maddesine adsorban miktarının etkisi deneylerinin işlem basamakları.

3.5. KONGO KIRMIZISI BOYAR MADDESİNE TEMAS SÜRESİNİN ETKİSİ

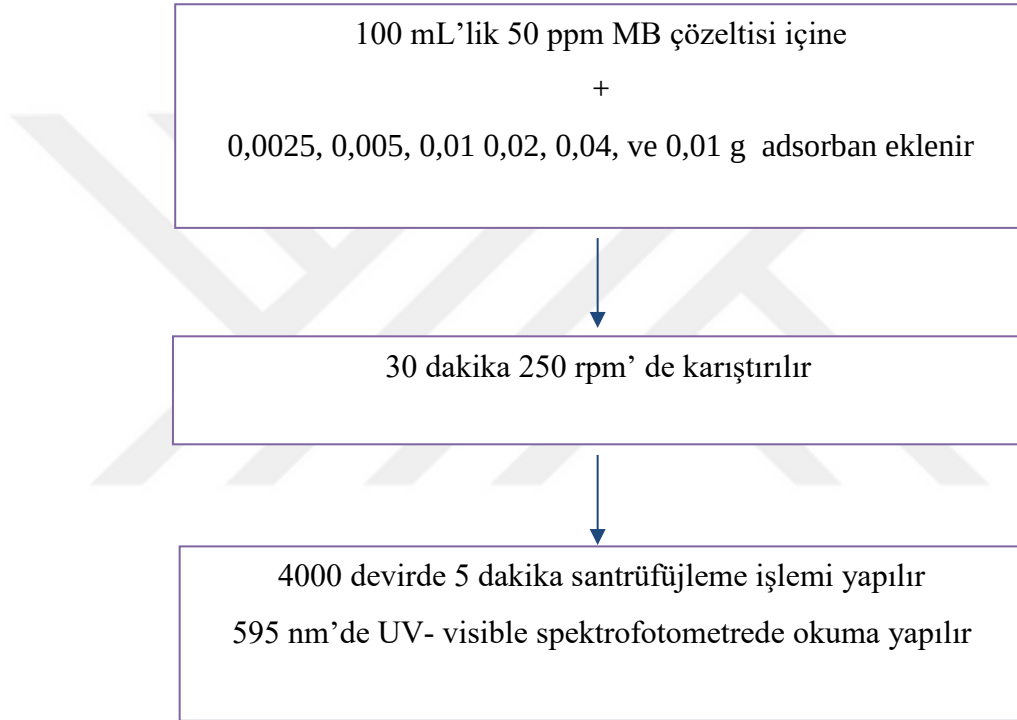
Kongo kırmızısı çözeltisi 20 ppm başlangıç konsantrasyonu üzerine 0,1g adsorban kullanılarak 15-120 dakika zaman aralığında adsorpsiyon işlemi yapılmıştır. Deneyler 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Yapılan deneylerin akış diyagramı Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. 8. Kongo kırmızısı boyar maddesine temas süresinin etkisi deneylerinin işlem basamakları

3.6. METİL MAVİSİ BOYAR MADDESİNE ADSORBAN MİKTARININ ETKİSİ

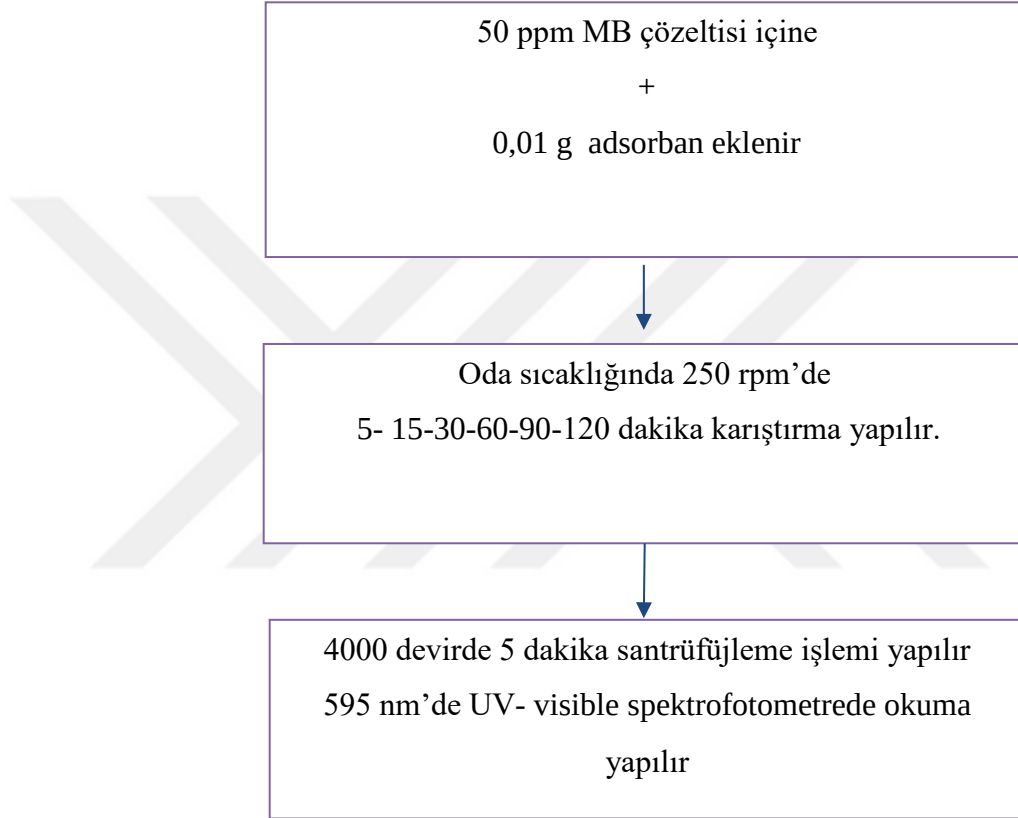
Altı farklı adsorban miktarı kullanılarak (0,0025; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04; ve 0,08g) 50 ppm metil blue (MB) çözeltisi kullanılarak 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin akış diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 9. Metil mavisi boyar maddesine adsorban miktarının etkisi deneylerinin işlem basamakları

3.7. METİL MAVİSİ BOYAR MADDESİNE TEMAS SÜRESİNİN ETKİSİ

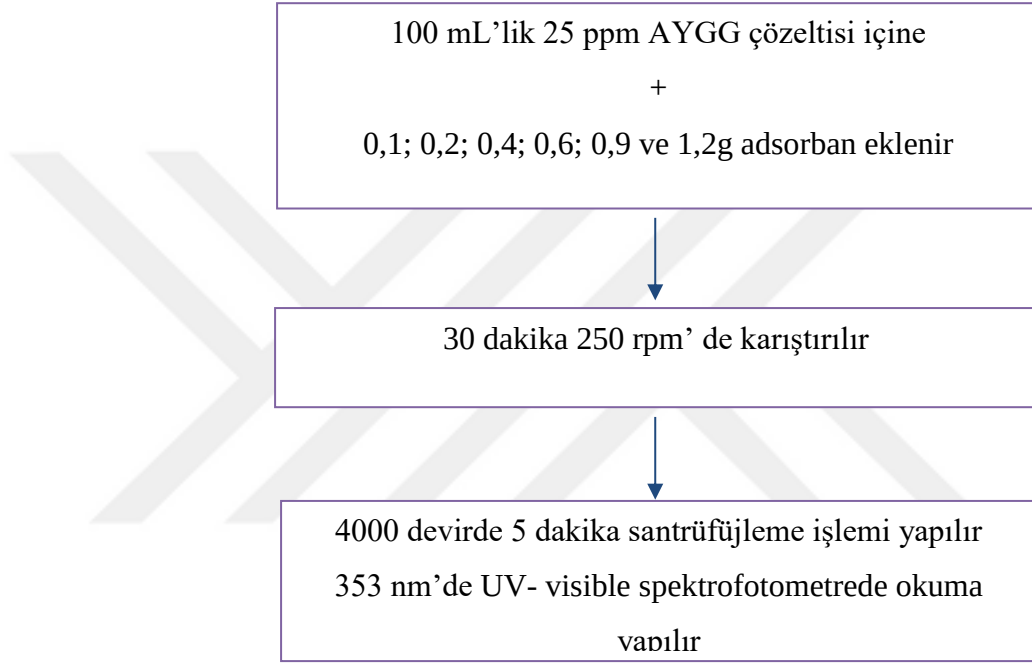
Metil mavisi (MB) çözeltisi 50 ppm başlangıç konsantrasyonu üzerine 0,01 g adsorban kullanılarak 5-120 dakika zaman aralığında adsorpsiyon işlemi yapılmıştır. Deneyler 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Yapılan deneylerin akış diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 10. Metil mavisi boyar maddesine temas süresinin etkisi deneylerinin işlem basamakları.

3.8. ALİZARİN SARISI BOYAR MADDESİNE ADSORBAN MİKTARININ ETKİSİ

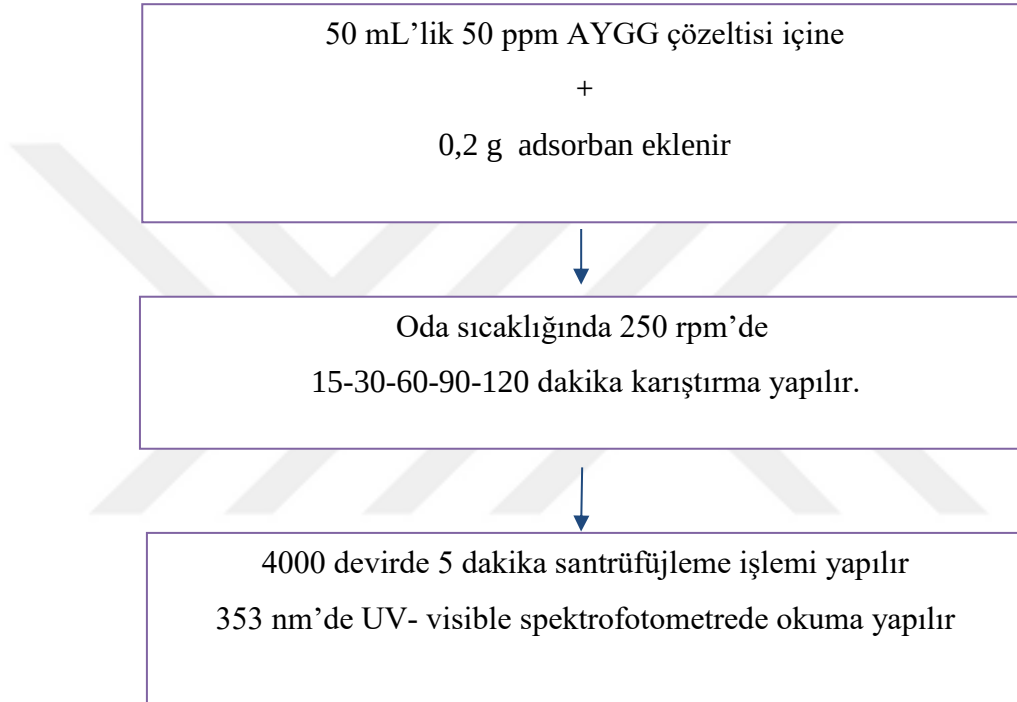
Altı farklı adsorban miktarı kullanılarak (0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,9 ve 1,2g) 25 ppm alizarin sarısı çözeltisi kullanılarak 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin akış diyagramı Şekil 3.11’da gösterilmiştir.



Şekil 3. 11. Alizarin sarısı boyar maddesine adsorban miktarının etkisi deneylerinin işlem basamakları

3.9. ALİZARİN SARISI BOYAR MADDESİNE TEMAS SÜRESİNİN ETKİSİ

Alizarin Sarısı çözeltisi 25 ppm başlangıç konsantrasyonu üzerine 0,01g adsorban kullanılarak 15-120 dakika zaman aralığında adsorpsiyon işlemi yapılmıştır. Deneyler 250 rpm karıştırma hızında sabit pH ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Yapılan deneylerin akış diyagramı Şekil 3.12’da gösterilmiştir.

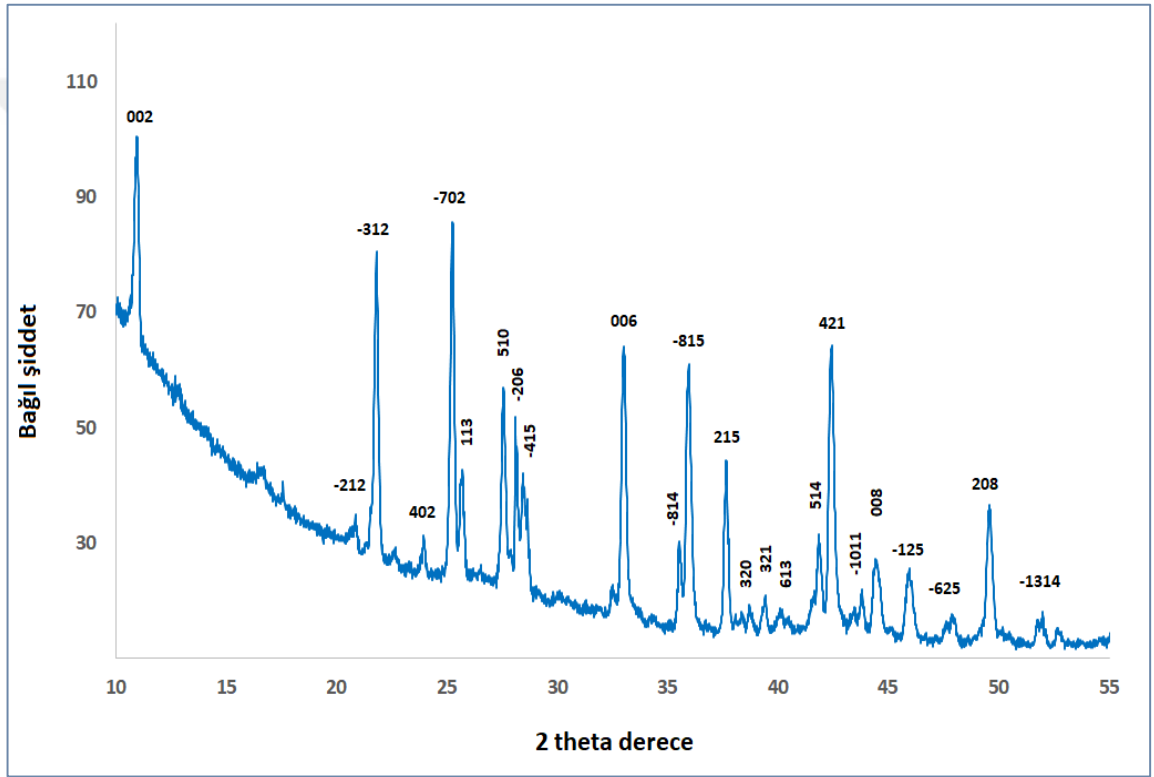


Şekil 3. 12. Alizarin sarısı boyar maddesine temas süresinin etkisi deneylerinin işlem basamakları.

3.10. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.10.1. X-Işını Kırınımı (XRD) Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

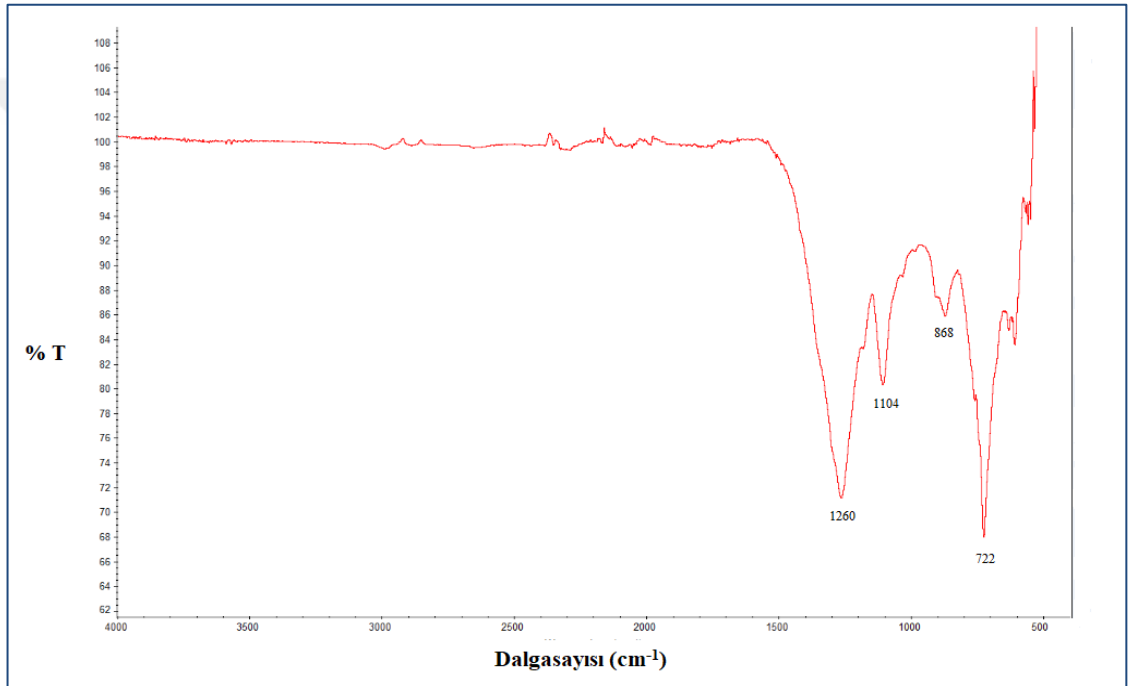
Sentezlenen adsorbanın ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) X-ışını kırınımı deseni Şekil 3.13’de görülmektedir. Şekildeki pik değerleri standart kart no: 00-029-0144 ile uyumludur. Uyuşan Miller indisleri şekil üzerinde gösterilmiştir. Böylece, sentezlenen adsorbanın $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ malzemesi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. 13. Sentezlenen adsorbanın ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) X-ışını kırınım (XRD) diyagramı

3.10.2. Infrared Spektrum (FTIR) Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

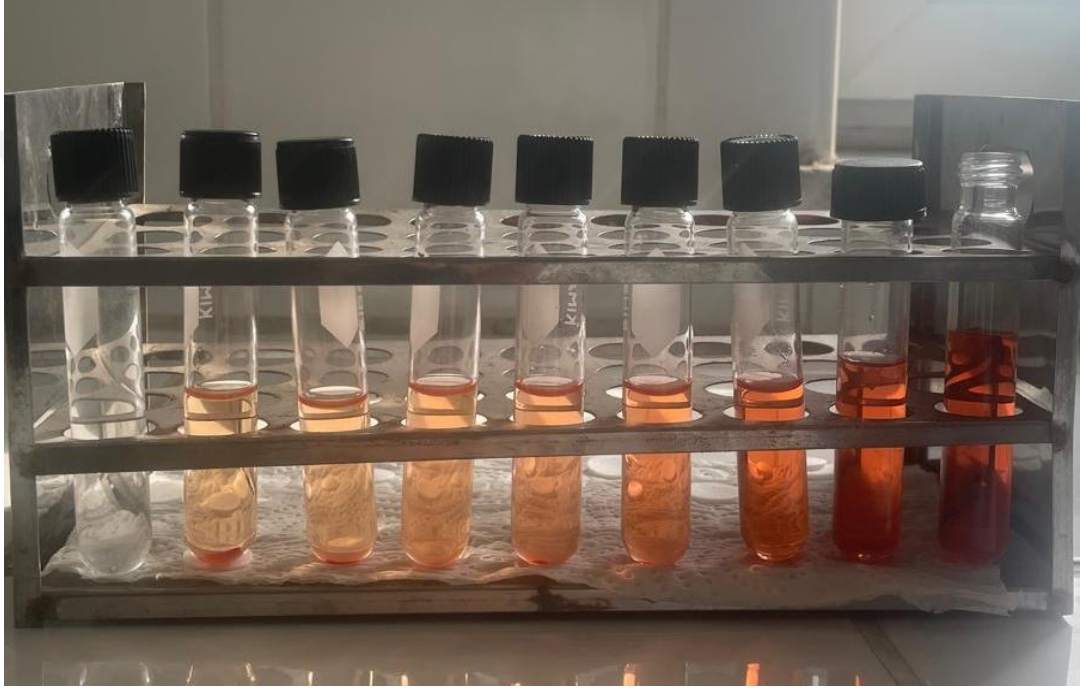
Sentezlenen $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ malzemesinin infrared spektrumu (FTIR) Şekil 3.14’de görülmektedir. FTIR spektrumunda üç belirgin pik görülmektedir. 1260 cm^{-1} civarındaki keskin pik, $[\text{BO}_3]^{-3}$ grubunun B-O gerilme hareketini göstermektedir. 1104 cm^{-1} civarındaki pik ise AlO_4 grubunun asimetrik gerilme hareketini göstermektedir. Ayrıca 722 cm^{-1} civarındaki kuvvetli pik ise B-O düzlem dışı bükülme hareketini göstermektedir.



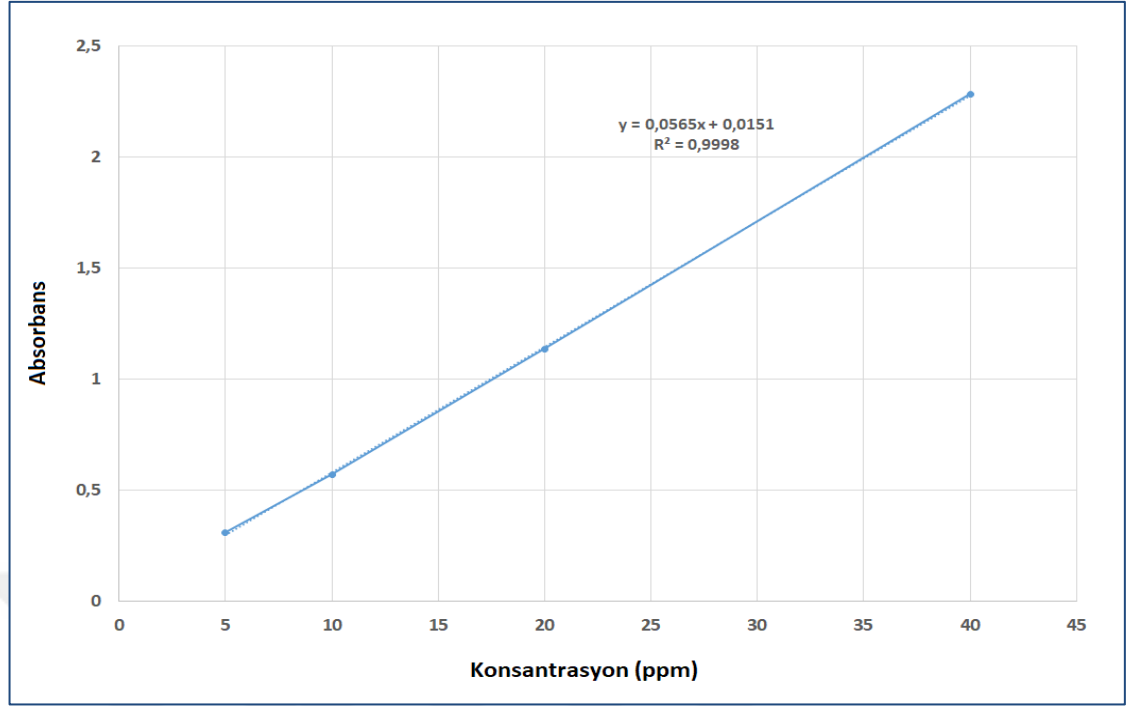
Şekil 3. 14. Sentezlenen $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$ malzemesinin infrared (FTIR) spektrumu.

3.10.3. Kongo Kırmızısı Boyar Maddesine Adsorban Miktarının Etkisi

Şekil 3.15 ve 3.18 ile Çizelge 3.1 ve 3.2'te görüldüğü gibi adsorban miktarının 0,025 gramdan 1,3 grama çıkarılmasıyla çözelti konsantrasyonu 17,82'den 4,03'e düşmüş ve bunun sonucunda adsorpsiyon verimi yüzdesi 10,89'dan 79,83'e yükselmiştir. Bu nedenle adsorban miktarının artırılmasının adsorpsiyon veriminin artmasıyla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılabilir.



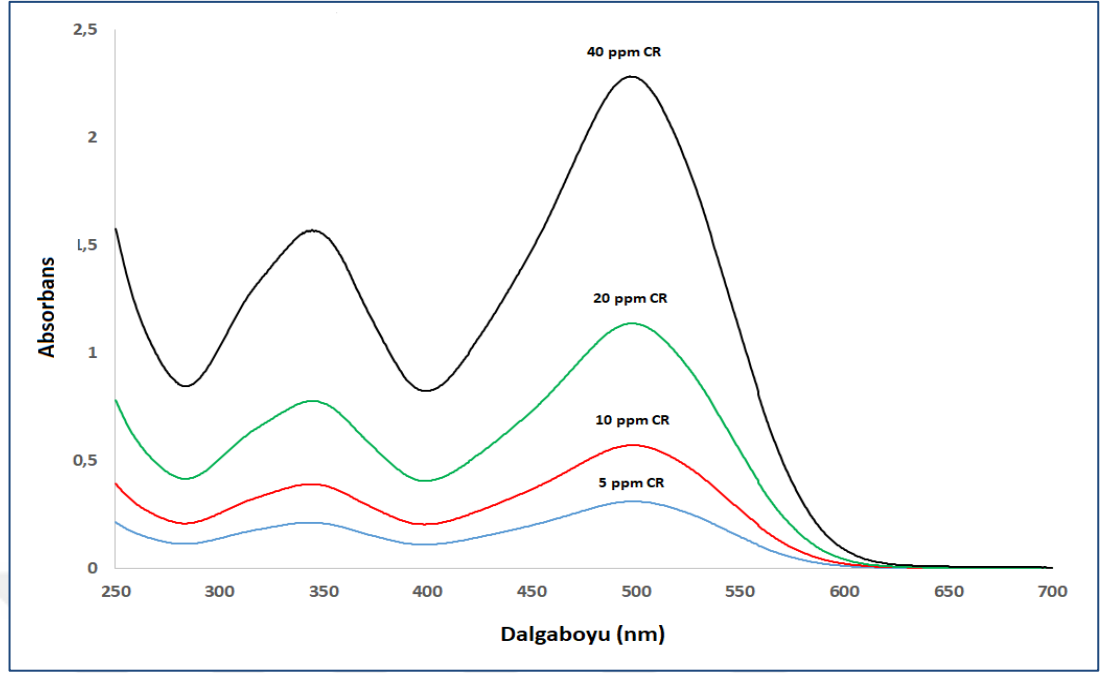
Şekil 3. 15. Soldan sağa madde miktarı: Su-1,3; 1; 0,7; 0,5; 0,3; 0,2; 0,1; 0,05 ve 0,025g adsorban eklendikten sonra 20 ppm konsantrasyonda kongo kırmızısı çözeltisi



Şekil 3. 16. Kongo kırmızısı (CR) çözeltilerinin kalibrasyon grafiği (497 nm, oda sıcaklığı)

Çizelge 3. 1. Standart Kongo kırmızısı çözeltilerinin 497 nm'deki konsantrasyon-absorbans değerleri.

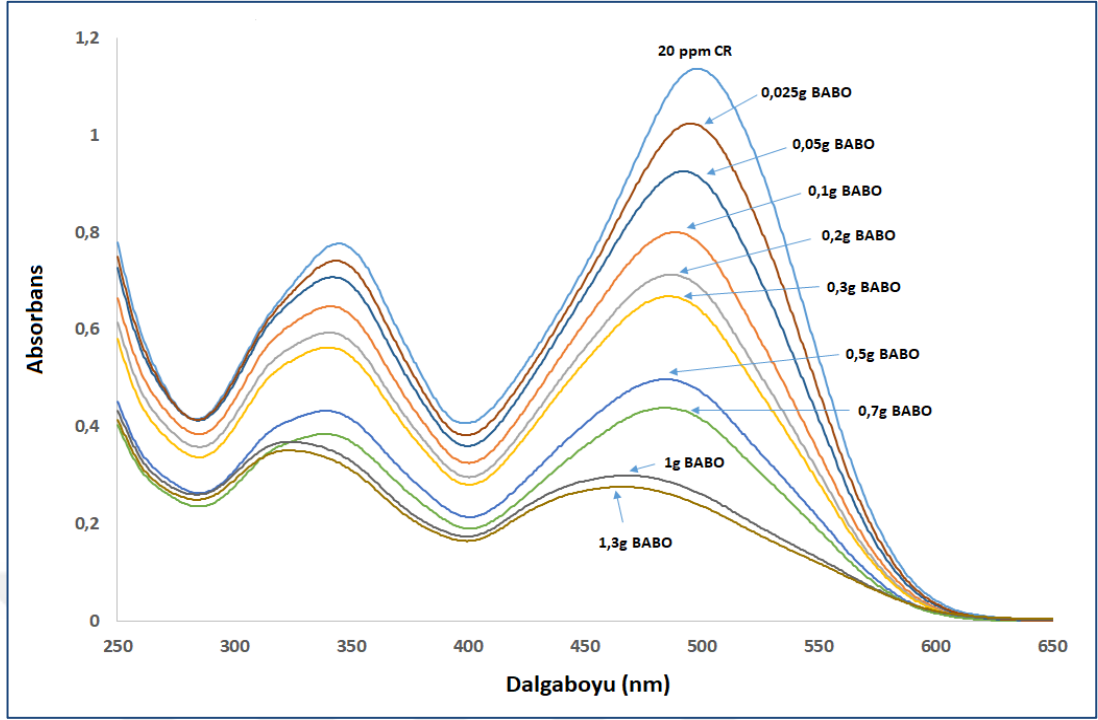
Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (A)
5	0,311
10	0,571
20	1,136
40	2,281



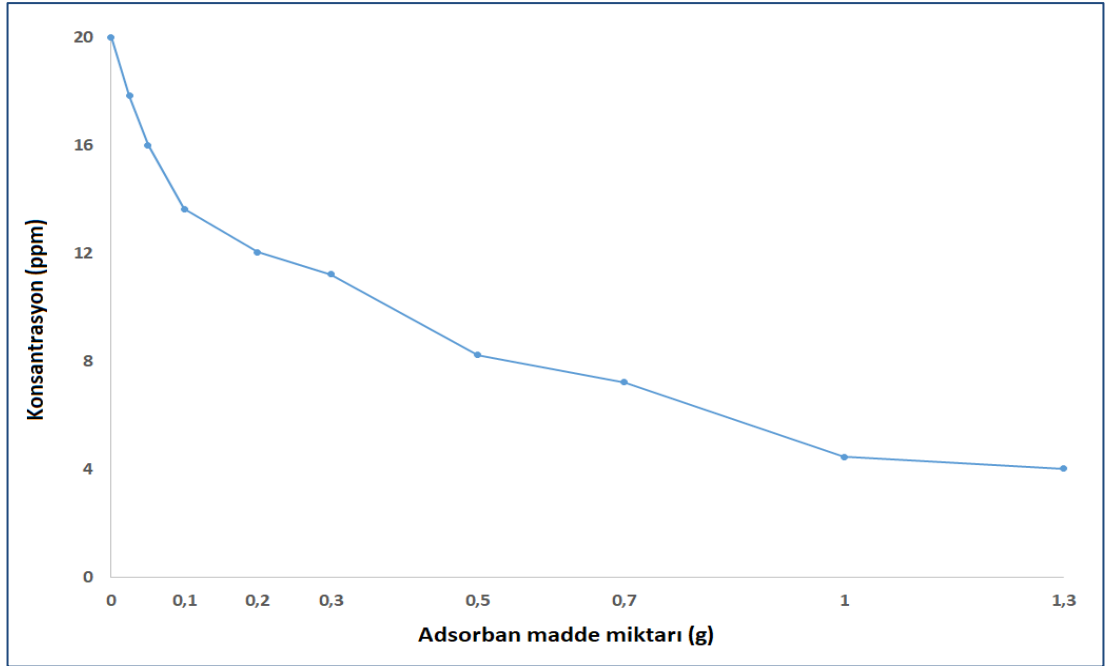
Şekil 3. 17. 5, 10, 20, 40 ppm Congo Red (CR) çözeltilerinin UV-görünür alan spektrumu (maksimum absorbans değeri 497 nm, oda sıcaklığı).

Çizelge 3. 2. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltisine eklenen farklı miktarlarda $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası elde edilen absorbans ve konsantrasyon değerleri.

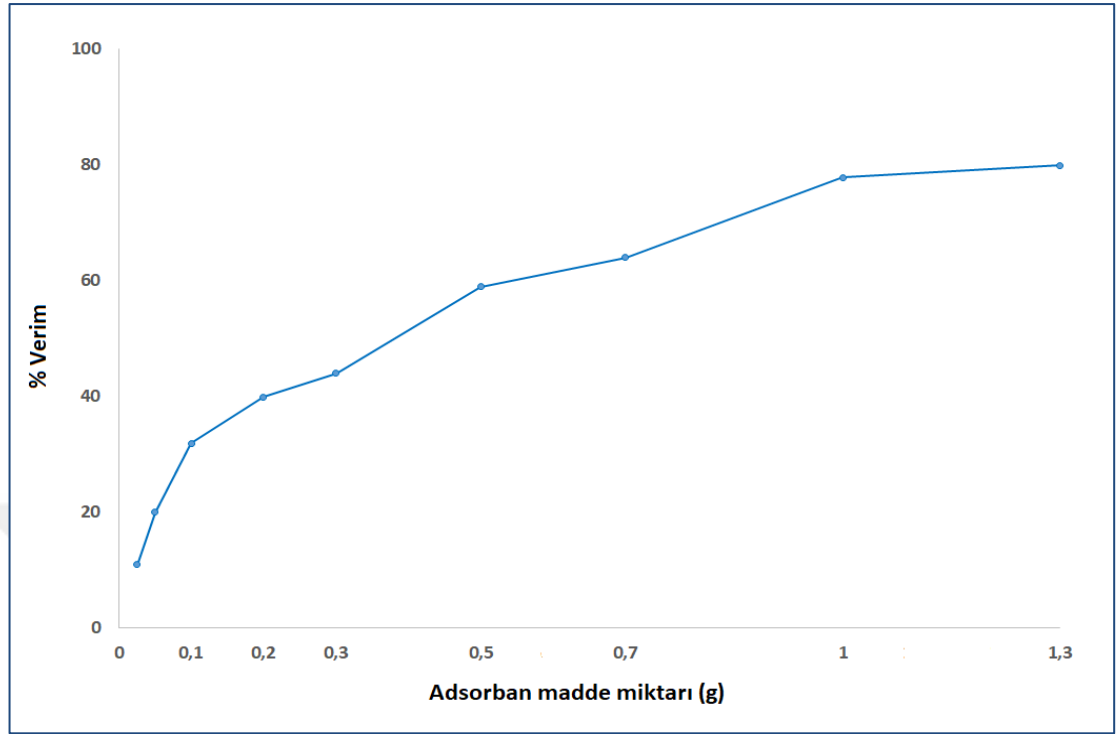
Adsorban Madde Miktarı(g)	Absorbans	Konsantrasyon (Ce, ppm)
0,025	1,022	17,82
0,05	0,919	16
0,1	0,785	13,63
0,2	0,695	12,3
0,3	0,649	11,22
0,5	0,48	8,23
0,7	0,423	7,22
1,0	0,267	4,46
1,3	0,243	4,03



Şekil 3. 18. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltisi içine farklı miktarlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,025, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0 ve 1,3g $BaAl_2B_2O_7$, 30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).



Şekil 3. 19. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen farklı adsorban madde miktarı ile konsantrasyon (C_e) arasındaki ilişki (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)



Şekil 3. 20. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen farklı miktarlardaki adsorbanların % adsorpsiyon verimi (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)

Çizelge 3. 3. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltilerine eklenen farklı miktarlardaki $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

Co(ppm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ce(ppm)	17,82	16	13,63	12,03	11,22	8,23	7,22	4,46	4,03
V(L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
m(g)	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3
% Verim	10,89	20,01	31,87	39,83	43,90	58,86	63,90	77,71	79,83

$$\text{Adsorpsiyon \%verimi} = (Co-Ce)/Co \cdot 100$$

3.10.4. Kongo Kırmızısı Boyar Maddesine Temas Süresinin Etkisi

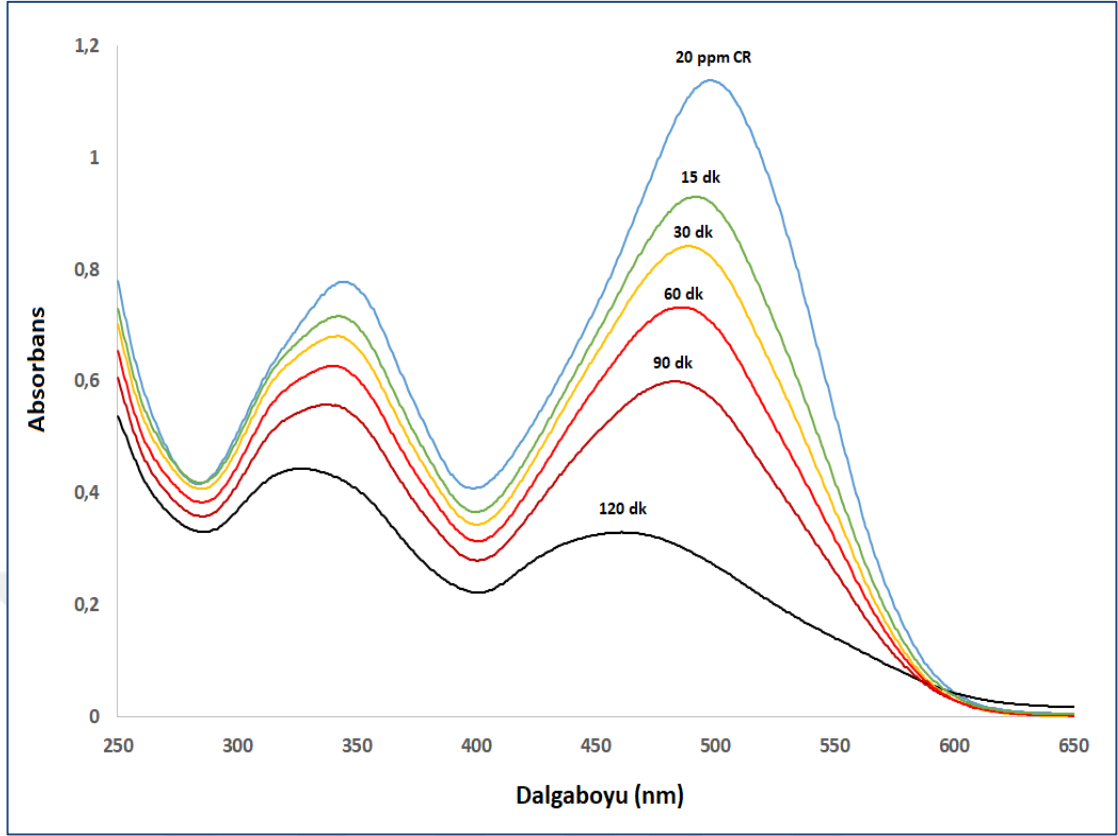
Deney, 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltisi üzerinde 15, 30, 60, 90 ve 120 dakika olmak üzere farklı temas sürelerinde 0,1 g adsorban ilave edilerek tekrarlanmış ve temas süresinin 15 dakikadan 120 dakikaya artırılmasıyla, çözelti konsantrasyonu 16,05'den 4,65'e düşmüş ve bunun sonucunda adsorpsiyon verimi yüzdesi 19,75'den 76,75'e yükselmiştir. Dolayısıyla temas süresinin artırılmasının adsorpsiyon veriminin artmasıyla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılabilir. (Şekil 3.21-24 ve Çizelge 3.4,3.5).



Şekil 3. 21. Soldan sağa temas süresi: 0,1 gram adsorban eklendikten sonra 20 ppm konsantrasyonda kongo kırmızısı çözeltisi(15, 30,60, 90 ve 120 dk, su)

Çizelge 3. 4. 20 ppm'lik Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen 0,1 gram adsorban miktarının farklı zamanlardaki Absorbans- Konsantrasyon değerleri (497 nm, 250 rpm karıştırma hızı).

Zaman (dk)	Absorbans	Konsantrasyon (Ce, ppm)
15	0,922	16,05
30	0,827	14,37
60	0,711	12,32
90	0,575	9,91
120	0,278	4,65

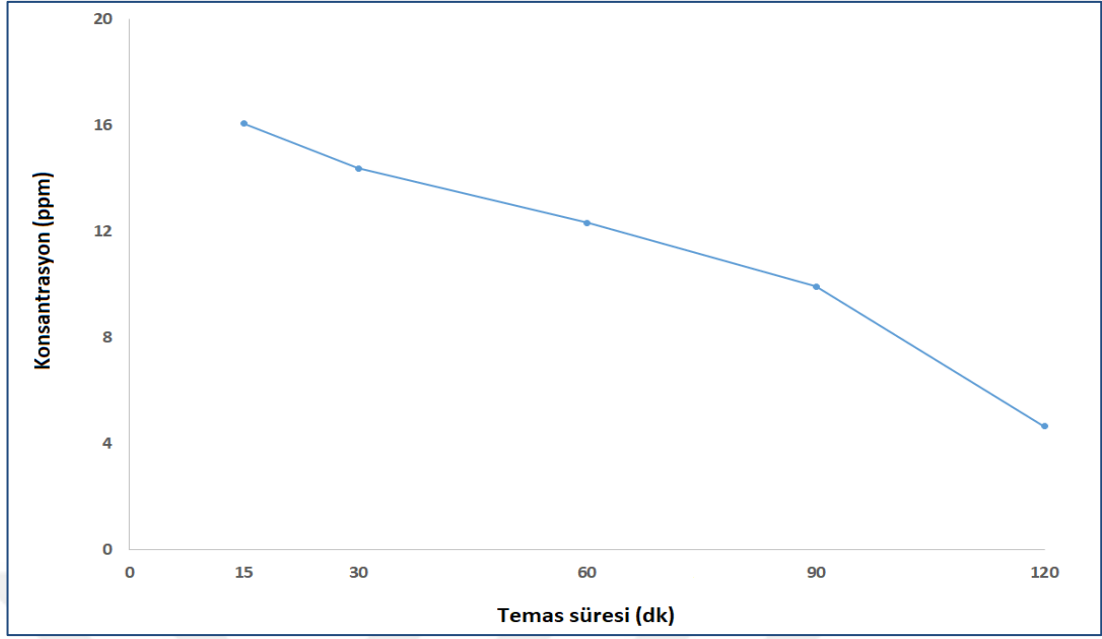


Şekil 3. 22. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine farklı zamanlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,1g BaAl₂B₂O₇, zaman: 15, 30, 60, 90, 120 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

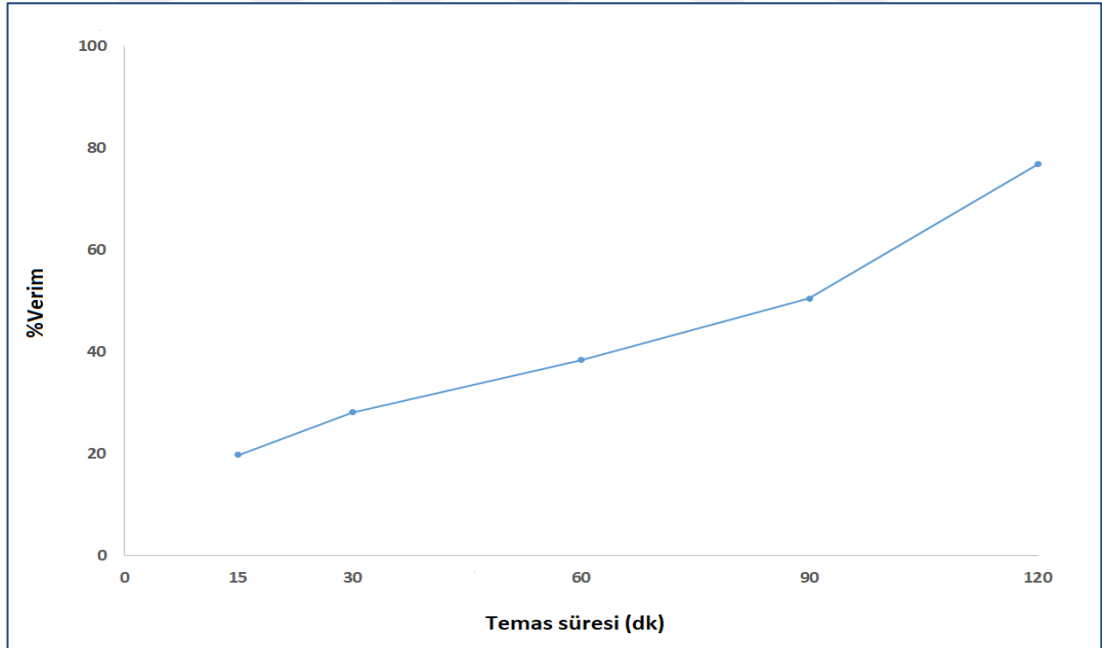
Çizelge 3. 5. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltilerine eklenen 0,1g adsorban sonrası farklı zamanlarla yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

Co(ppm)	20	20	20	20	20
Ce(ppm)	16,05	14,37	12,32	9,91	4,65
V(L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Zaman(dk)	15	30	60	90	120
% Verim	19,75	28,15	38,4	50,45	76,75

$$\text{Adsorpsiyon \%verimi} = (\text{Co}-\text{Ce})/\text{Co} \cdot 100$$



Şekil 3. 23. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen 0,1g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) konsantrasyon (C_e) üzerine etkisi (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)



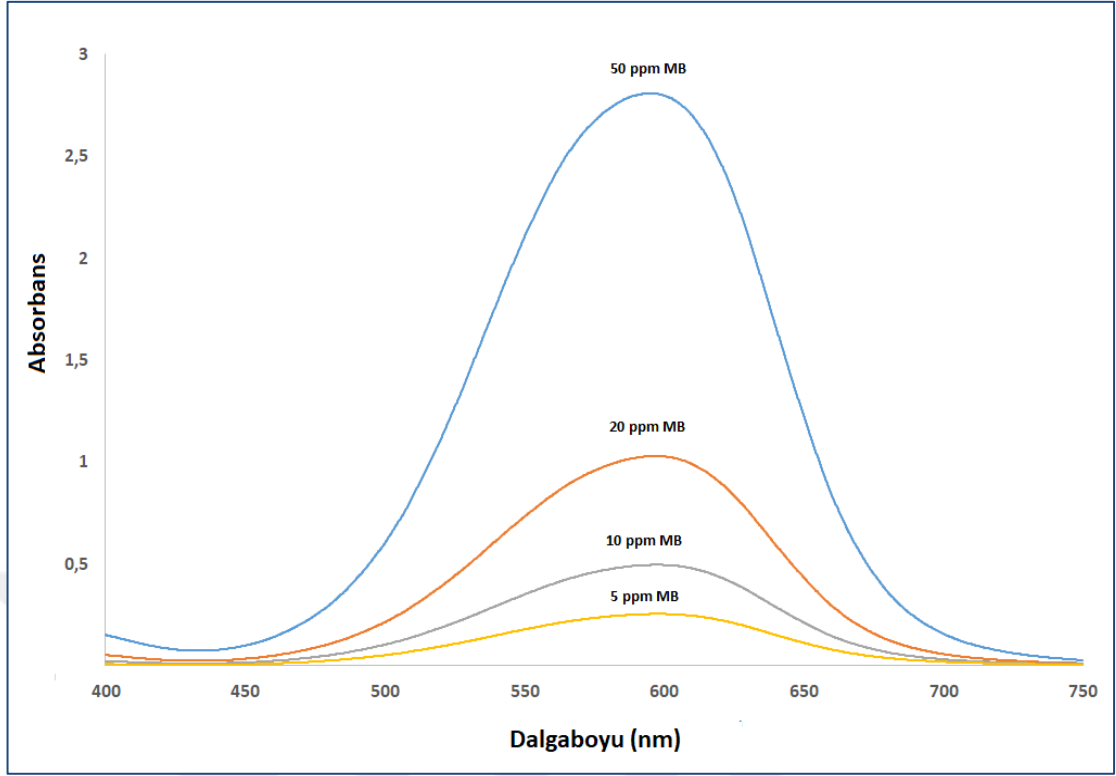
Şekil 3. 24. 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içine eklenen 0,1g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) adsorpsiyon (renk giderim) verimliliği (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)

3.10.5. Metil Mavisi Boyar Maddesine Adsorban Miktarının Etkisi

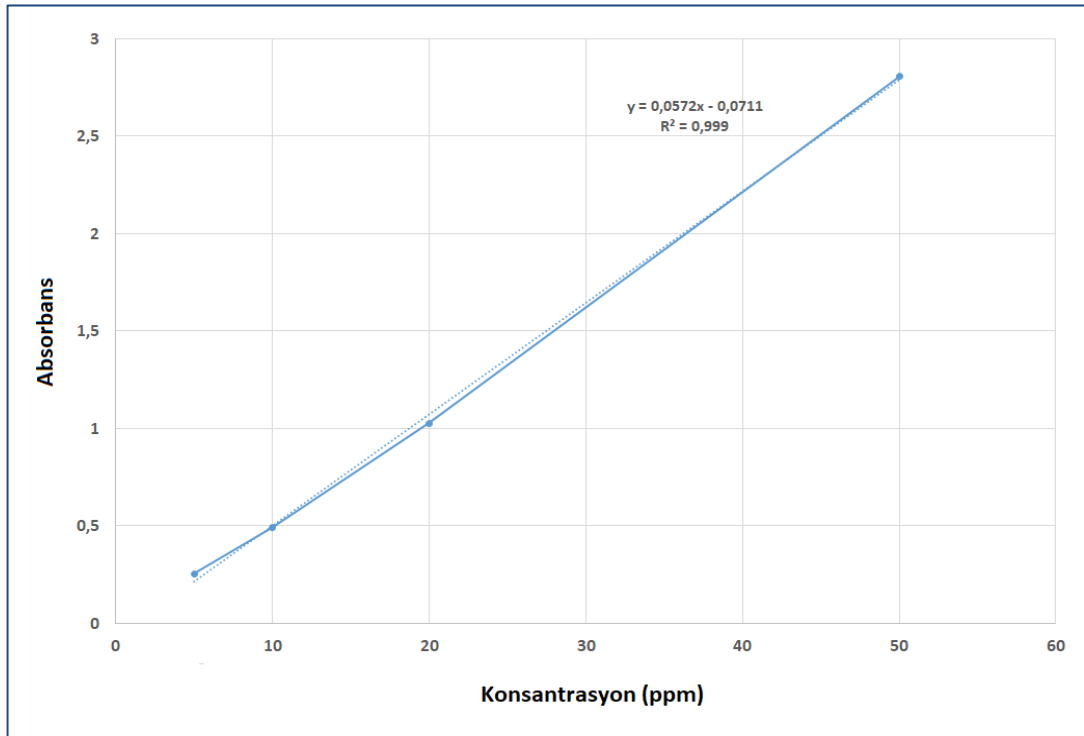
50 ppm'lik, 100 mL metil mavisi çözeltisine 30 dakikalık temas süresi boyunca farklı miktarlarda adsorban uygulanmış ve adsorban miktarının 0,0025 gramdan 0,08 grama çıkarılmasıyla adsorpsiyon veriminin yüzde 60,52'den yüzde 94,4'e çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, çözeltinin konsantrasyonu 19,74'den 2,80'e düşmüştür (Şekil 3.25-31 ve Çizelge 3.6-8).



Şekil 3. 25. Soldan sağa madde miktarı: 0,0025; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04 ve 0,08g adsorban eklendikten sonra 50 ppm konsantrasyonda metil mavisi çözeltisi



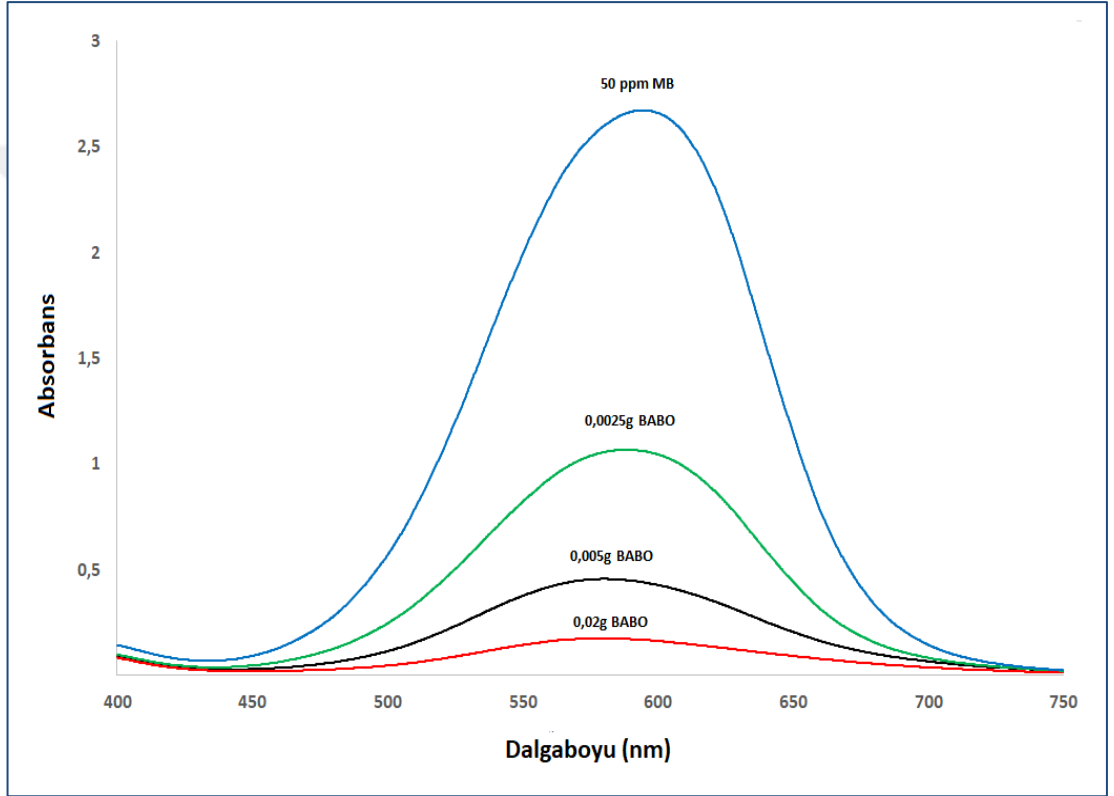
Şekil 3. 26. 5, 10, 20, 50 ppm Metil Mavisi (MB) çözeltilerinin görünür alan spektrumu (oda sıcaklığı, maksimum absorbans değeri 595 nm).



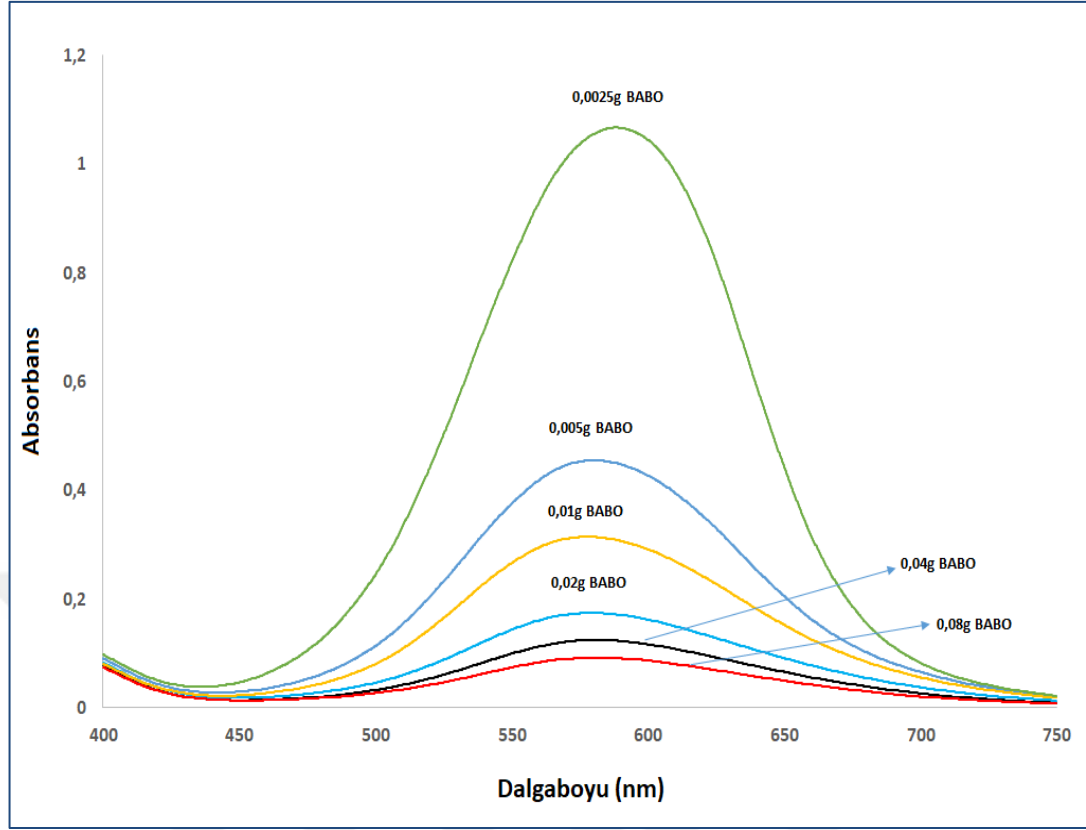
Şekil 3. 27. Metil Mavisi (MB) standart çözeltilerinin kalibrasyon grafiğı (595 nm, oda sıcaklığı).

Çizelge 3. 6. Standart Metil Mavisi (MB) çözeltilerinin 595 nm’deki konsantrasyon-absorbans değerleri.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (A)
5	0,253
10	0,493
20	1,026
50	2,805



Şekil 3. 28. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı miktarlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,0025, 0,005 ve 0,02g $BaAl_2B_2O_7$ (BABO), 30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).



Şekil 3. 29. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı miktarlarda eklenen adsorban miktarlarının adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,0025, 0,005, 0,01, 0,02, 0,04 ve 0,08g $BaAl_2B_2O_7$ (BABO), 30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

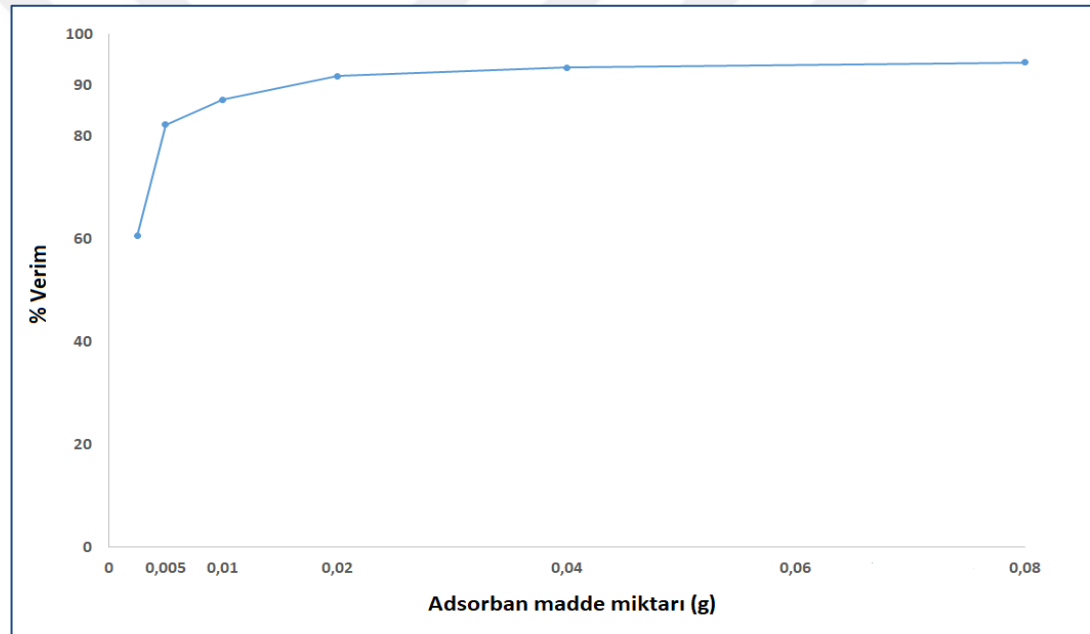
Çizelge 3. 7. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen farklı miktarlarda $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası elde edilen adsorpsiyon (595nm) ve konsantrasyon değerleri.

Adsorban Madde Miktarı(g)	Absorbans	Konsantrasyon (Ce, ppm)
0,0025	1,058	19,74
0,005	0,438	8,90
0,01	0,299	6,47
0,02	0,167	4,16
0,04	0,12	3,34
0,08	0,089	2,80

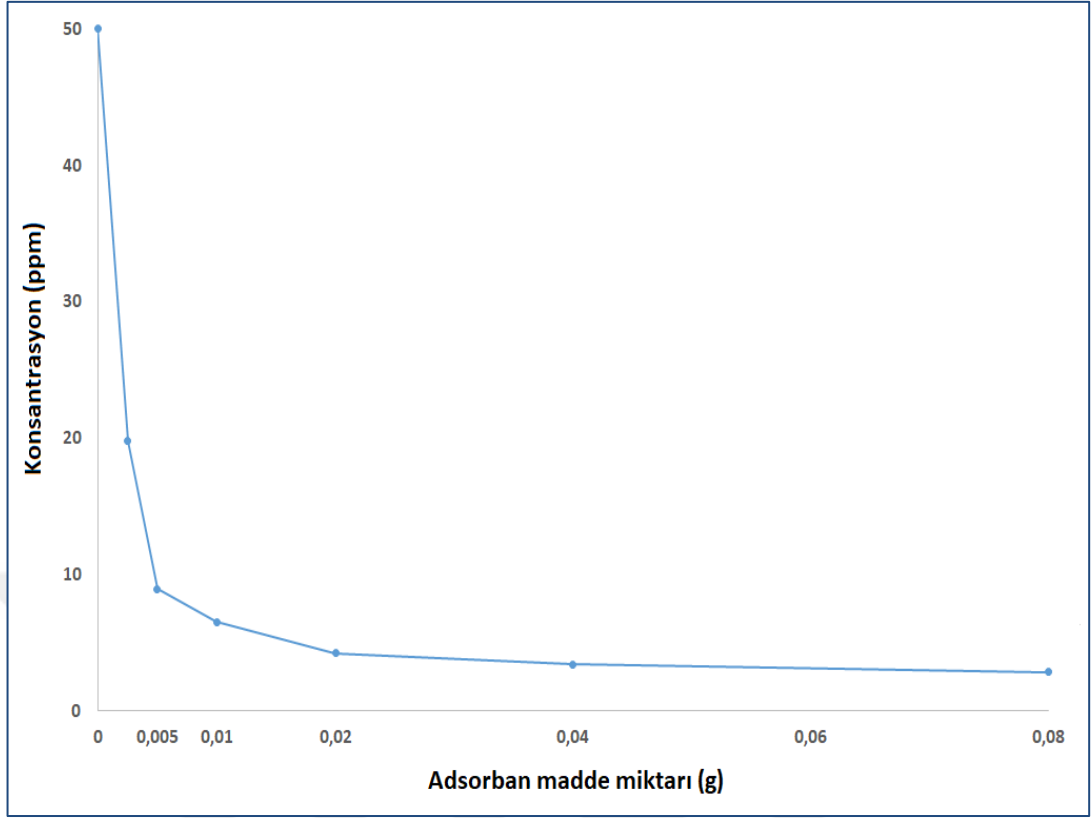
Çizelge 3. 8. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen farklı miktarlardaki $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası renk giderim verimlilikleri (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

Co(ppm)	50	50	50	50	50	50
Ce(ppm)	19,74	8,90	6,47	4,16	3,34	2,80
V(L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
m(g)	0,0025	0,005	0,01	0,02	0,04	0,08
% Verim	60,52	82,2	87,06	91,68	93,32	94,4

$$\text{Adsorpsiyon \%verimi} = (\text{Co}-\text{Ce})/\text{Co} \cdot 100$$



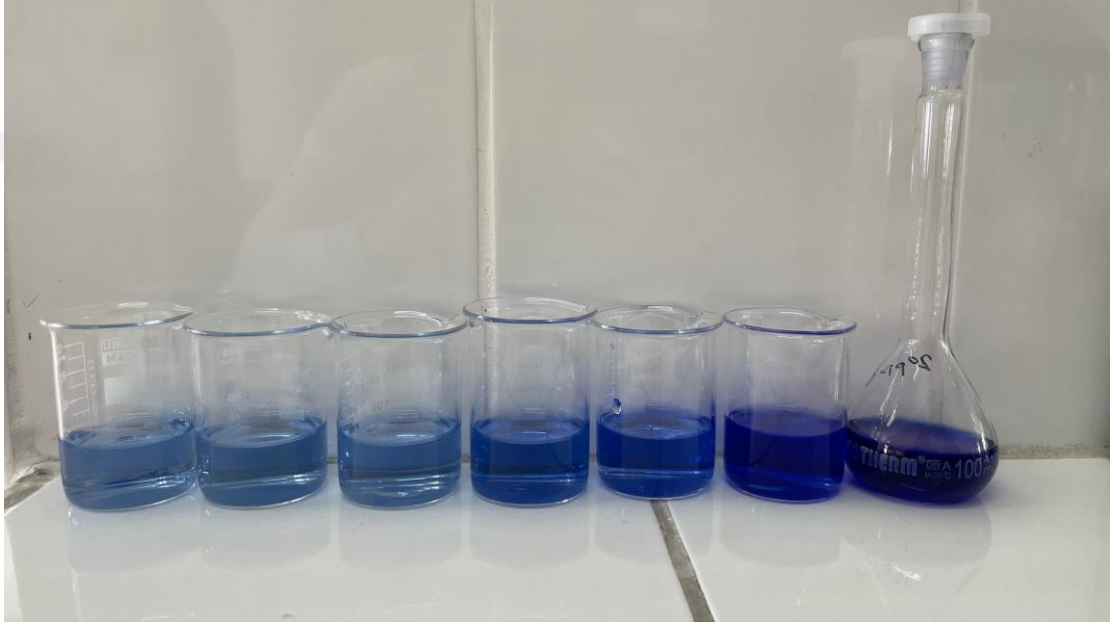
Şekil 3. 30. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine eklenen farklı miktarlardaki adsorbanların % adsorpsiyon verimi (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)



Şekil 3. 31. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine eklenen farklı adsorban madde miktarı ile konsantrasyon (C_e) arasındaki ilişki (30 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)

3.10.6. Metil Mavisi Boyar Maddesine Temas Süresinin Etkisi

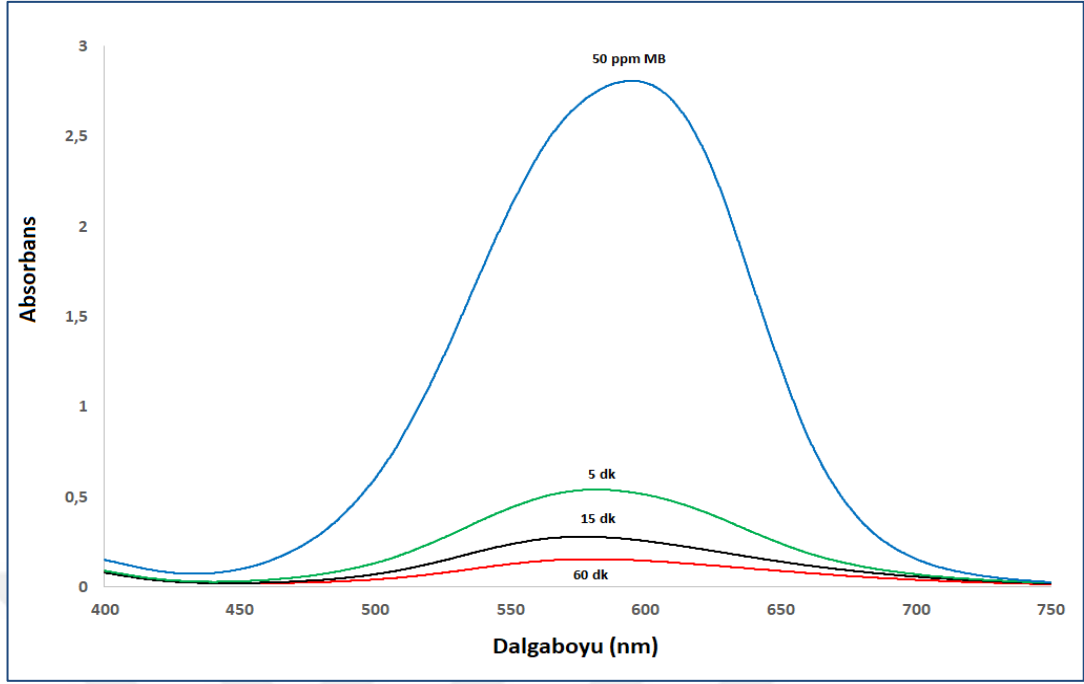
50 ppm metil mavisi çözeltisine 5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dakikalık temas süreleri boyunca 0,01 g adsorban ilave edilmiş ve temas süresinin artmasıyla adsorpsiyon veriminin %79,2'den %93,54'e çıktığı görülmüştür. Ayrıca çözeltinin çözünürlüğü 6,91'den 1,075'e düşmüştür. Bu mükemmel performans, adsorbanın metil mavisi üzerindeki olağanüstü etkisini göstermiştir (Şekil 3.32-38 ve Çizelge 3.9, 3.10).



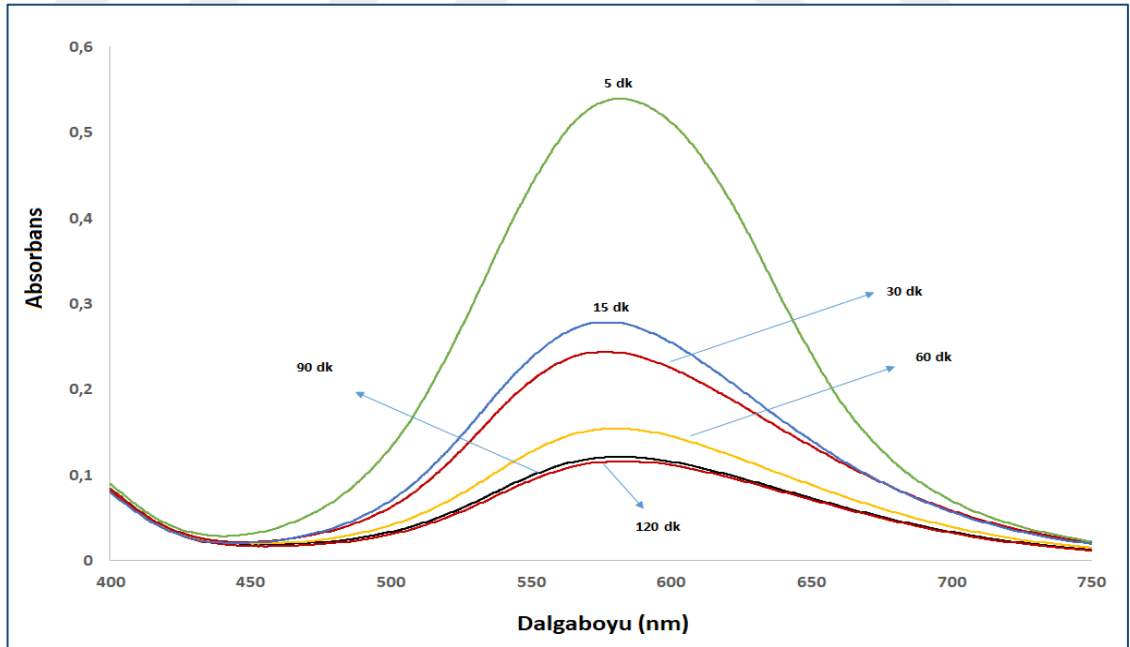
Şekil 3. 32. Soldan sağa temas süresi: 0,1 gram adsorban eklendikten sonra 50 ppm konsantrasyonda metil mavisi çözeltisi(120, 90, 60, 30, 15, 5 dk ve 50 ppm çözelti)

Çizelge 3. 9. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine eklenen 0,01 gram adsorban miktarının farklı zamanlardaki Absorbans- Konsantrasyon değerleri (595 nm, 250 rpm karıştırma hızı).

Zaman (dk)	Absorbans	Konsantrasyon (Ce, ppm)
5	0,524	10,40
15	0,263	5,84
30	0,231	5,28
60	0,149	3,85
90	0,118	3,31
120	0,114	3,23



Şekil 3. 33. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı zamanlarda eklenen adsorban çözeltilerin adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,01g $BaAl_2B_2O_7$, zaman: 5, 15, 60 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

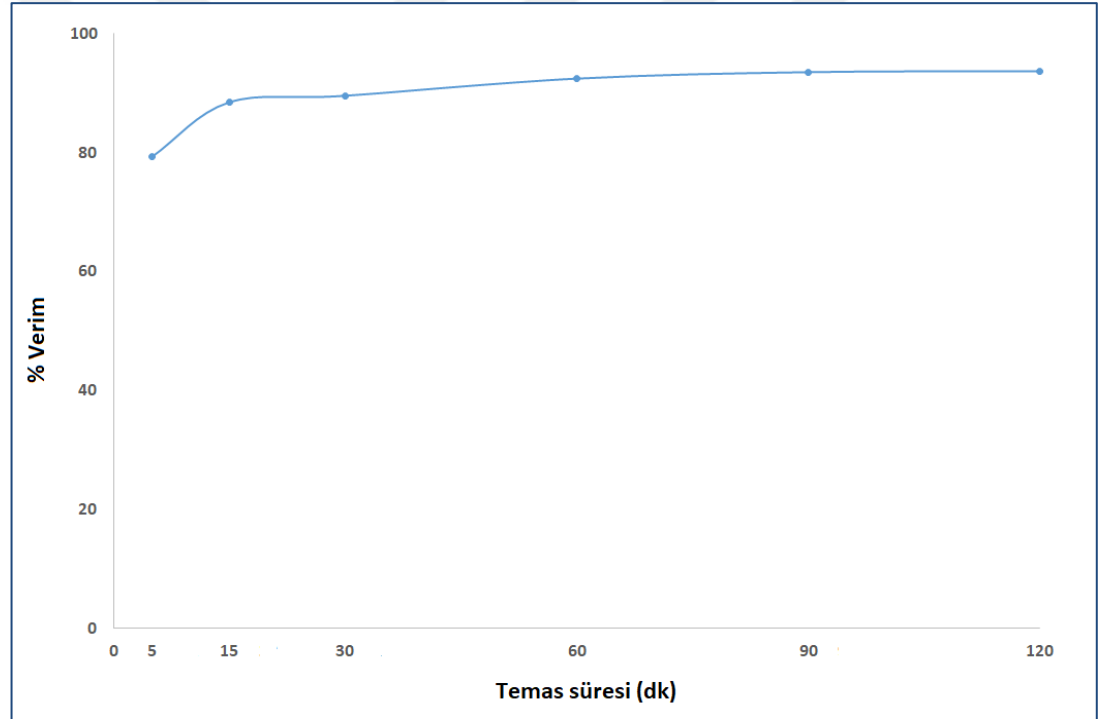


Şekil 3. 34. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltileri içine farklı zamanlarda eklenen adsorban çözeltilerin adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,01g $BaAl_2B_2O_7$, zaman: 5, 15, 30, 60, 90, 120 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

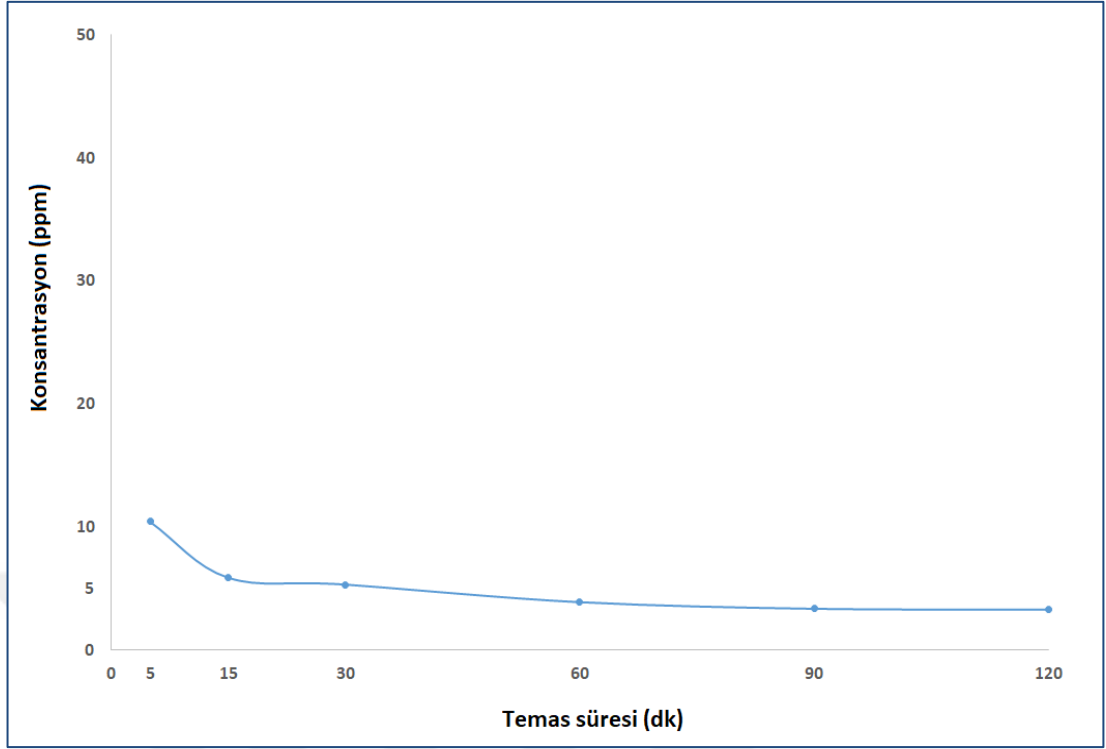
Çizelge 3. 10. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen 0,01g adsorban sonrası farklı zamanlarla yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

Co(ppm)	50	50	50	50	50	50
Ce(ppm)	10,40	5,84	5,28	3,85	3,31	3,23
V(L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zaman(dk)	5	15	30	60	90	120
% Verim	79,2	88,32	89,44	92,3	93,38	93,54

$$\text{Adsorpsiyon \%verimi} = (\text{Co}-\text{Ce})/\text{Co} \cdot 100$$



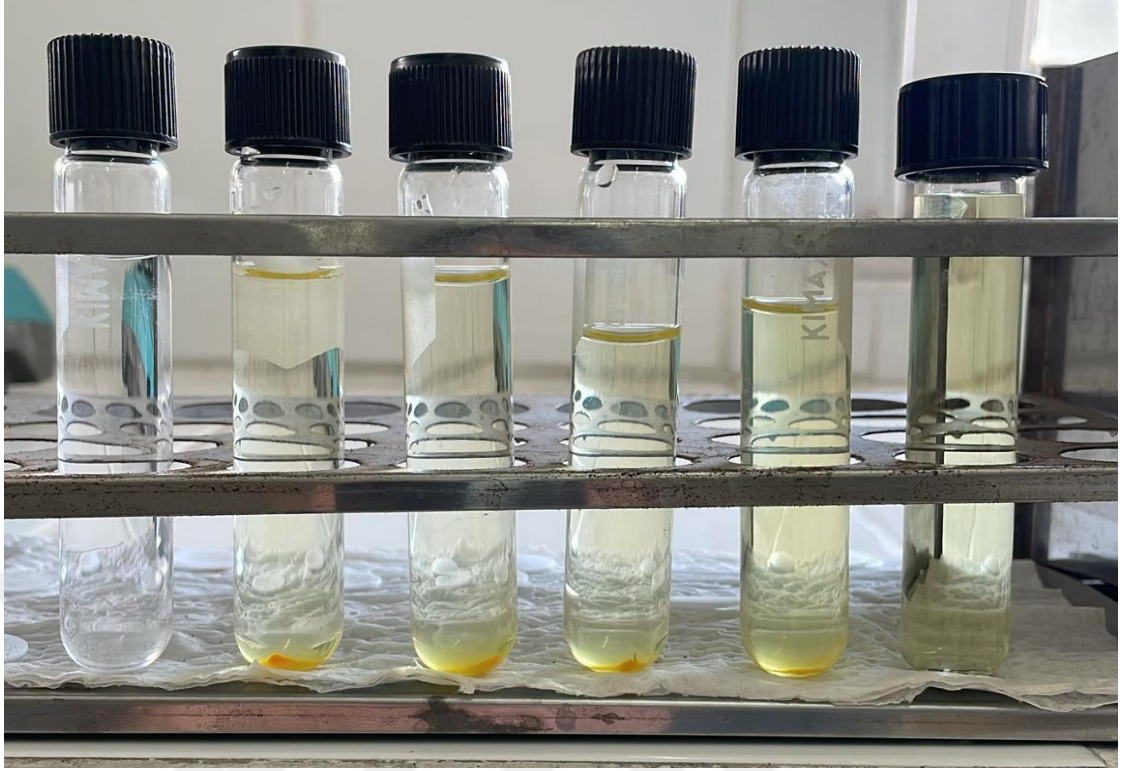
Şekil 3. 35. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen 0,01 g adsorban sonrası farklı zamanlardaki (5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) adsorpsiyon (renk giderim) verimliliği (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)



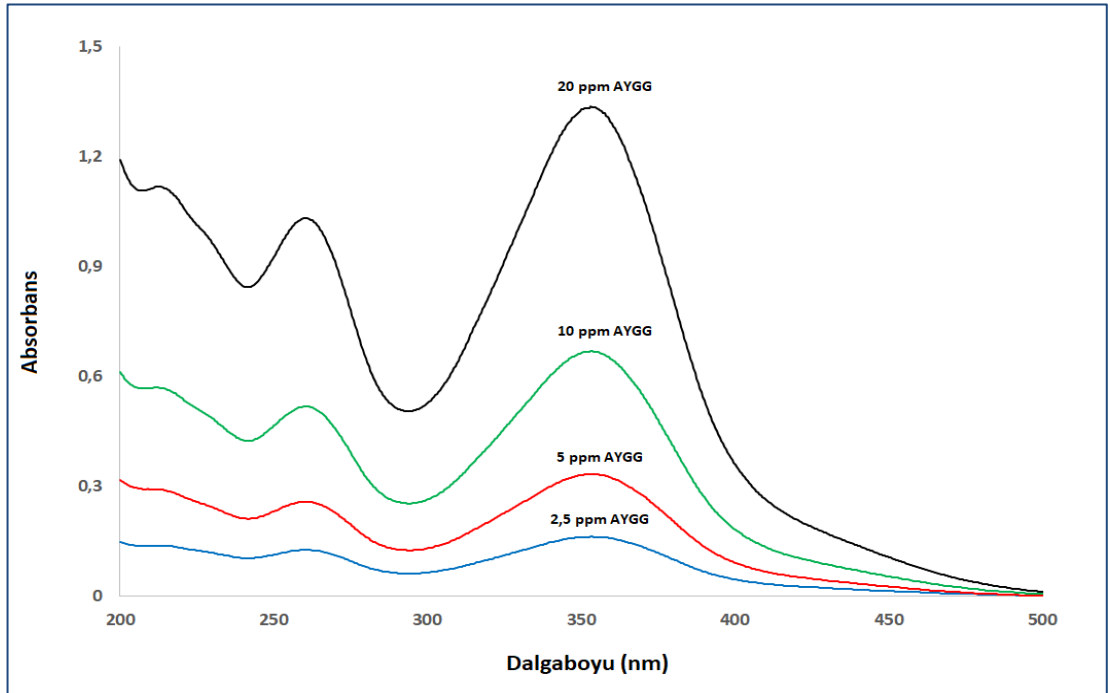
Şekil 3. 36. 50 ppm 100 mL Metil Mavisi (MB) çözeltilerine eklenen 0,01g adsorbanların farklı zamanlardaki (5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) konsantrasyon (Ce) değerleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

3.10.7. Alizarin Sarısı Boyar Maddesine Adsorban Miktarının Etkisi

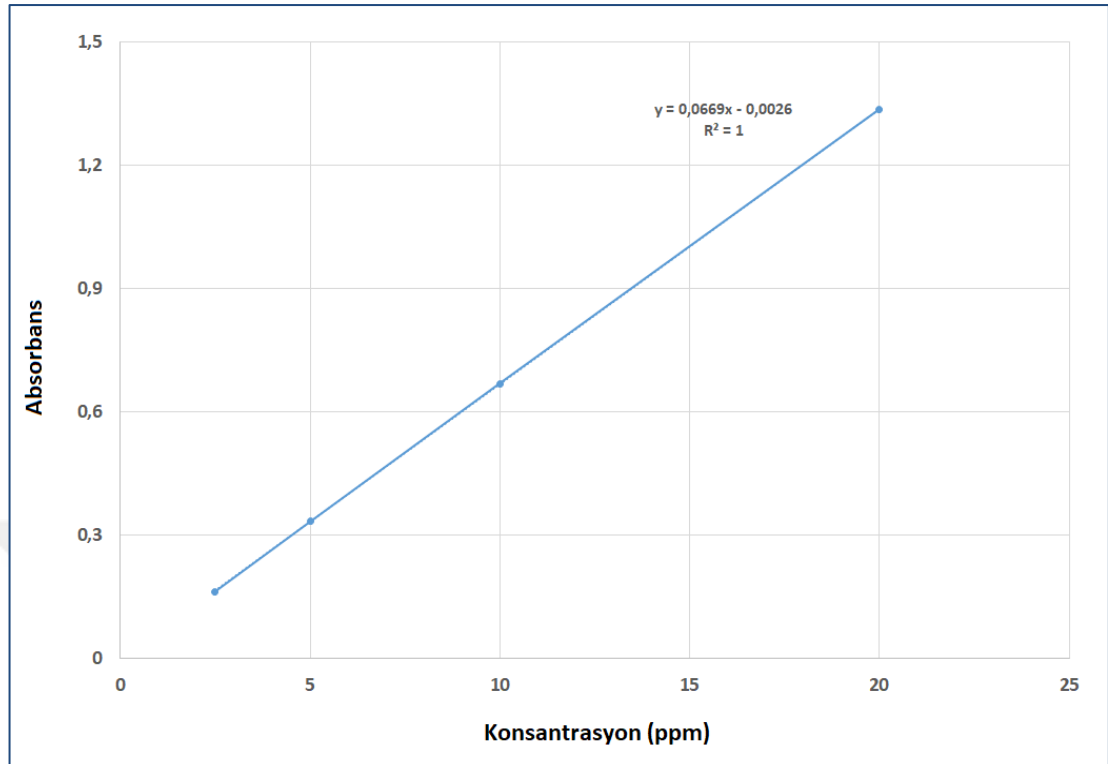
Şekil 3.37 ve 3.38 ile Çizelge 3.11 ve 3.12'te görüldüğü gibi adsorban miktarının 0,01 gramdan 1,2 grama çıkarılmasıyla çözelti konsantrasyonu 19,69'dan 3,64'e düşmüş ve bunun sonucunda adsorpsiyon verimi yüzdesi 21,22'den 85,43'e yükselmiştir. Bu nedenle adsorban miktarının artırılmasının adsorpsiyon veriminin artmasıyla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 3. 37. Soldan sağa madde miktarı: Su- 1,2; 0,9; 0,6; 0,4; 0,2 ve 0,1g adsorban eklendikten sonra 25 ppm konsantrasyonda alizarin sarısı çözeltisi.



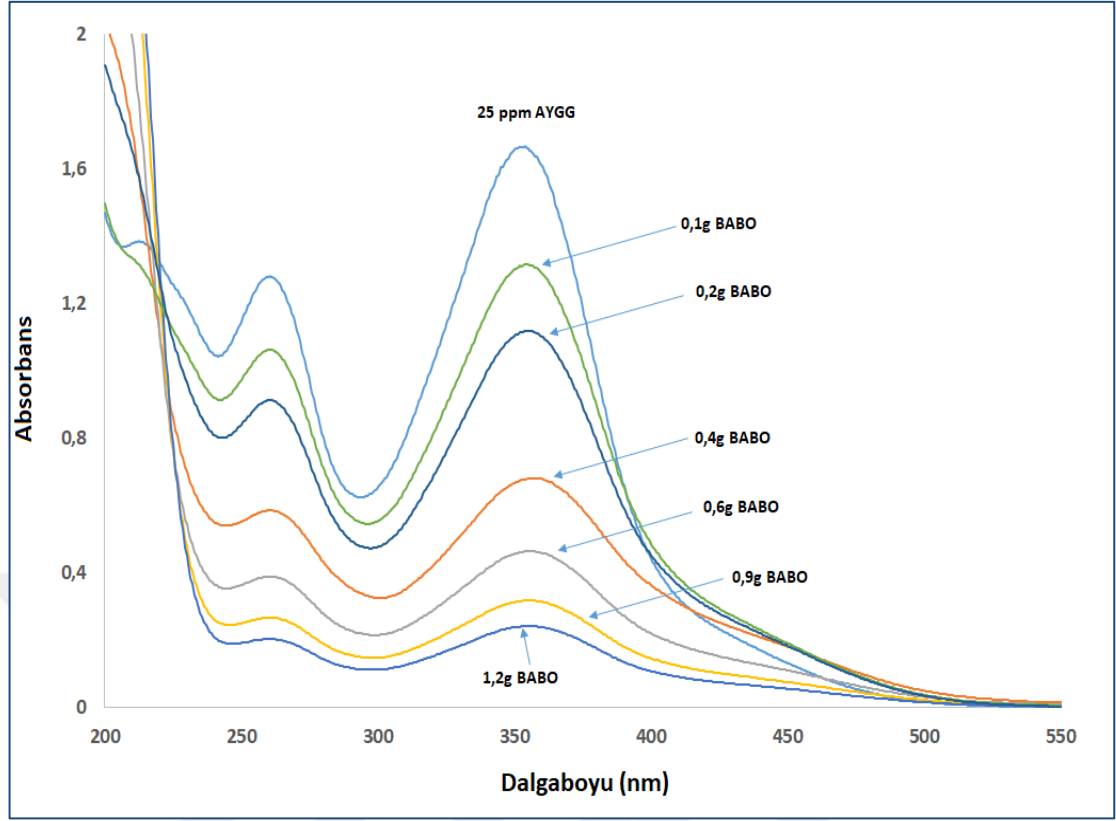
Şekil 3. 38. 2,5, 5, 10, 20 ppm Alizarin Yellow GG (AYGG) çözeltilerinin UV-görünür alan spektrumu (maksimum absorbans değeri 353 nm, oda sıcaklığı).



Şekil 3. 39. Standart Alizarin Yellow GG (AYGG) çözeltilerinin kalibrasyon grafiği (353 nm, oda sıcaklığı).

Çizelge 3. 11. Standart Alizarin Yellow GG çözeltilerinin 353 nm'deki konsantrasyon-absorbans değerleri.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (A)
2,5	0,163
5	0,333
10	0,668
20	1,335



Şekil 3. 40. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine farklı miktarlarda eklenen adsorbanın adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,9 ve 1,2g $BaAl_2B_2O_7$, 60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

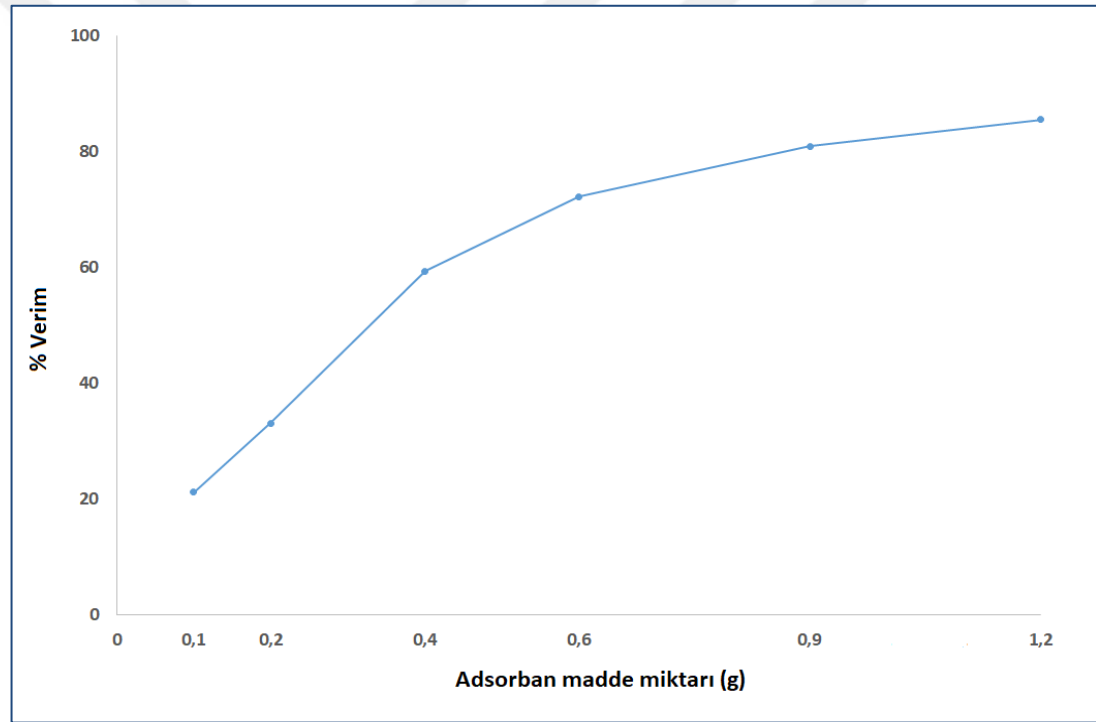
Çizelge 3. 12. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen farklı miktarlarda $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası elde edilen absorbans ve konsantrasyon değerleri.

Adsorban Madde Miktarı(g)	Absorbans	Konsantrasyon (Ce, ppm)
0,1	1,315	19,69
0,2	1,117	16,73
0,4	0,678	10,17
0,6	0,463	6,96
0,9	0,317	4,77
1,2	0,241	3,64

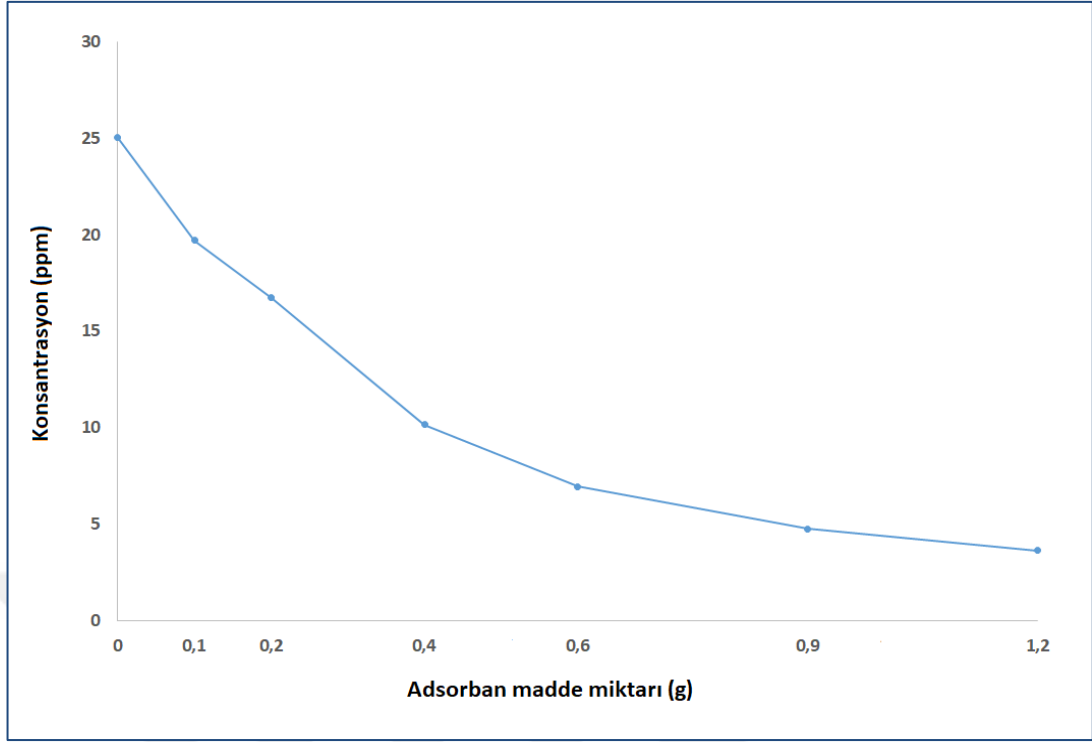
Çizelge 3. 13. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen farklı miktarlardaki $BaAl_2B_2O_7$ ve adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

Co(ppm)	25	25	25	25	25	25
Ce(ppm)	19,69	16,73	10,17	6,96	4,77	3,64
V(L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
m(g)	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2
% Verim	21,22	33,06	59,30	72,16	80,89	85,43

$$\text{Adsorpsiyon \%verimi} = (Co-Ce)/Co*100$$



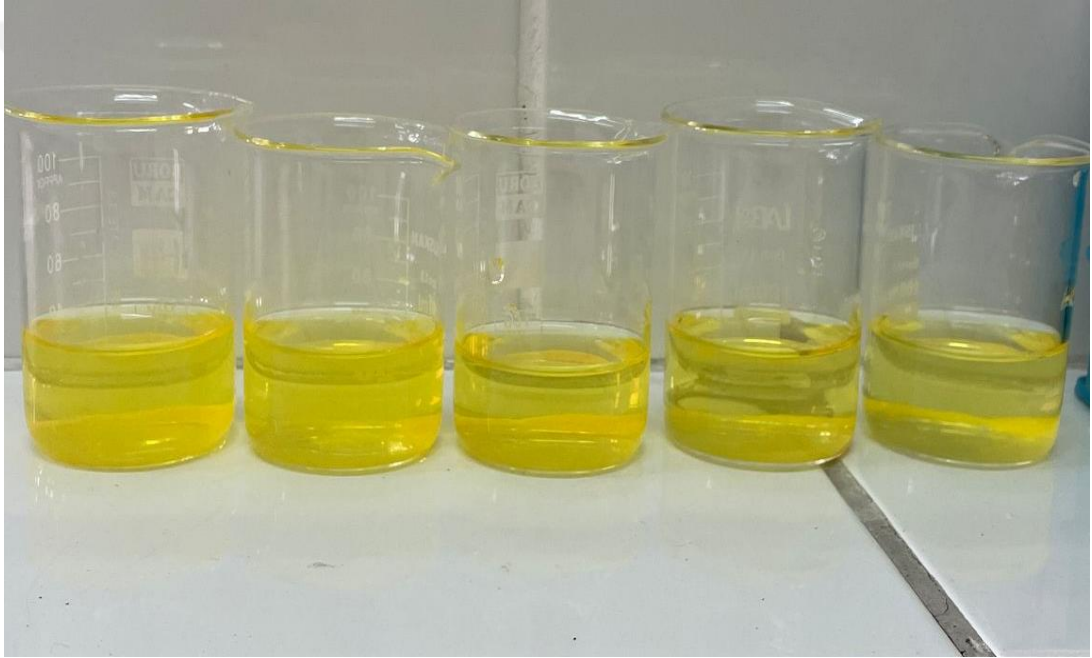
Şekil 3. 41. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen farklı miktarlardaki adsorbanların % adsorpsiyon verimi (60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)



Şekil 3. 42. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen farklı adsorban madde miktarı ile konsantrasyon (C_e) arasındaki ilişki (60 dakika temas süresi, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı)

3.10.8. Alizarin Sarısı Boyar Maddesine Temas Süresinin Etkisi

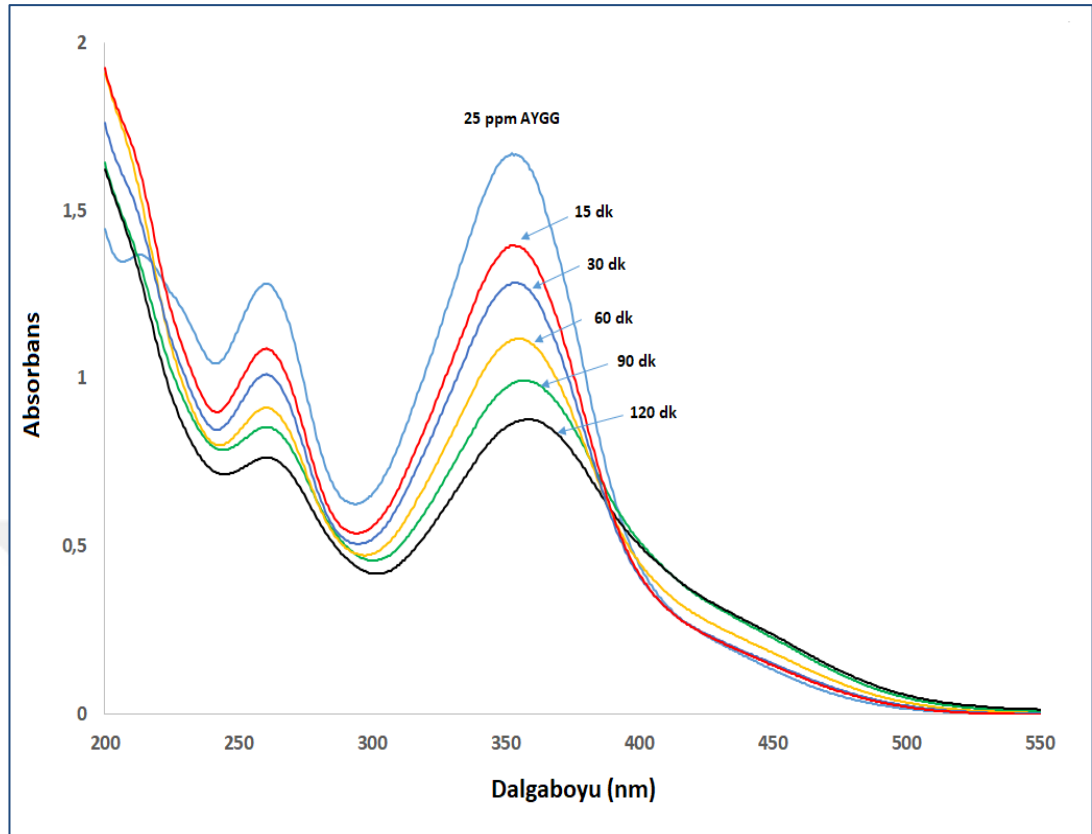
Deney, 25 ppm Alizarin sarısı çözeltisi üzerinde 15, 30, 60, 90 ve 120 dakika olmak üzere farklı temas sürelerinde 0,2 gram adsorban ilave edilerek tekrarlanmış ve temas süresinin 15 dakikadan 120 dakikaya artırılmasıyla, çözelti konsantrasyonu 20,91'den 13,01'e düşmüş ve bunun sonucunda adsorpsiyon verimi yüzdesi 16,38'den 47,95'e yükselmiştir. Dolayısıyla temas süresinin artırılmasının adsorpsiyon veriminin artmasıyla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılabilir. (Şekil 3.43, 3.46 ve Çizelge 3.14,3.15).



Şekil 3. 43. Soldan sağa temas süresi: 0,2 gram adsorban eklendikten sonra 25 ppm konsantrasyonda alizarin sarısı çözeltisi (15, 30, 60, 90 ve 120 dk)

Çizelge 3. 14. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen 0,2 gram adsorban miktarının farklı zamanlardaki Absorbans- Konsantrasyon değerleri (250 rpm karıştırma hızı).

Zaman (dk)	Absorbans	Konsantrasyon (Ce, ppm)
15	1,396	20,91
30	1,283	19,22
60	1,115	16,71
90	0,986	14,78
120	0,868	13,01

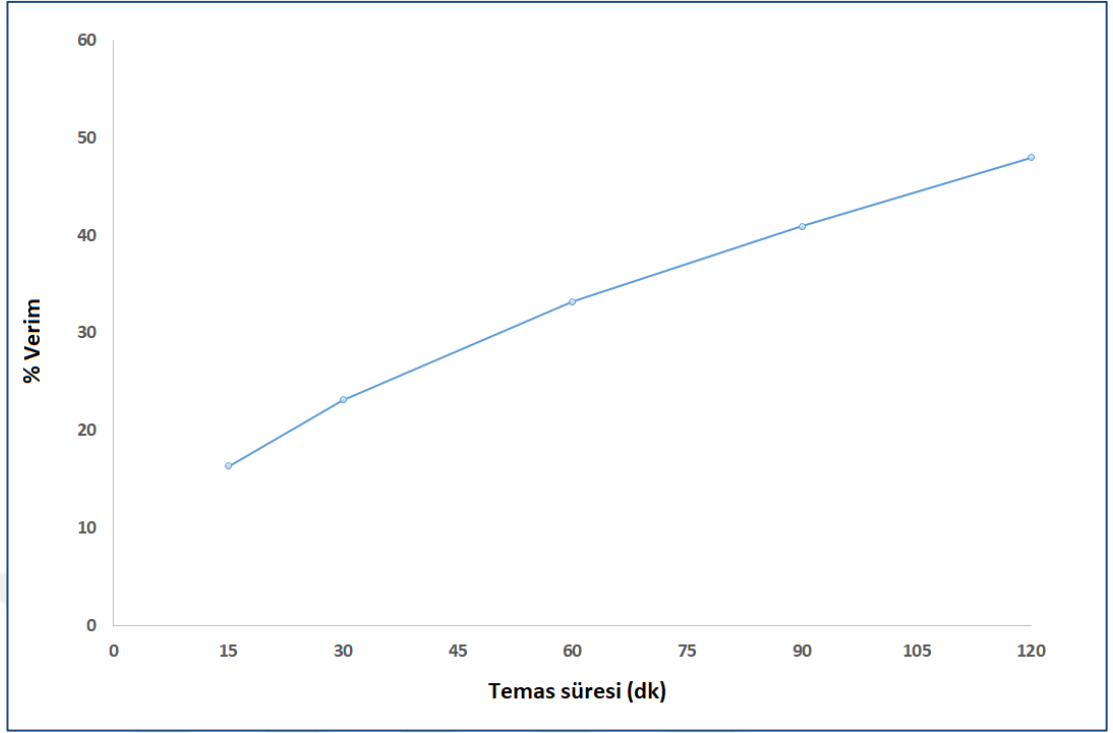


Şekil 3. 44. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltileri içine eklenen adsorban çözeltilerin farklı zamanlardaki adsorpsiyon işlemi sonrası spektrumları (0,2g BaAl₂B₂O₇, zaman: 15, 30, 60, 90, 120 dakika, oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

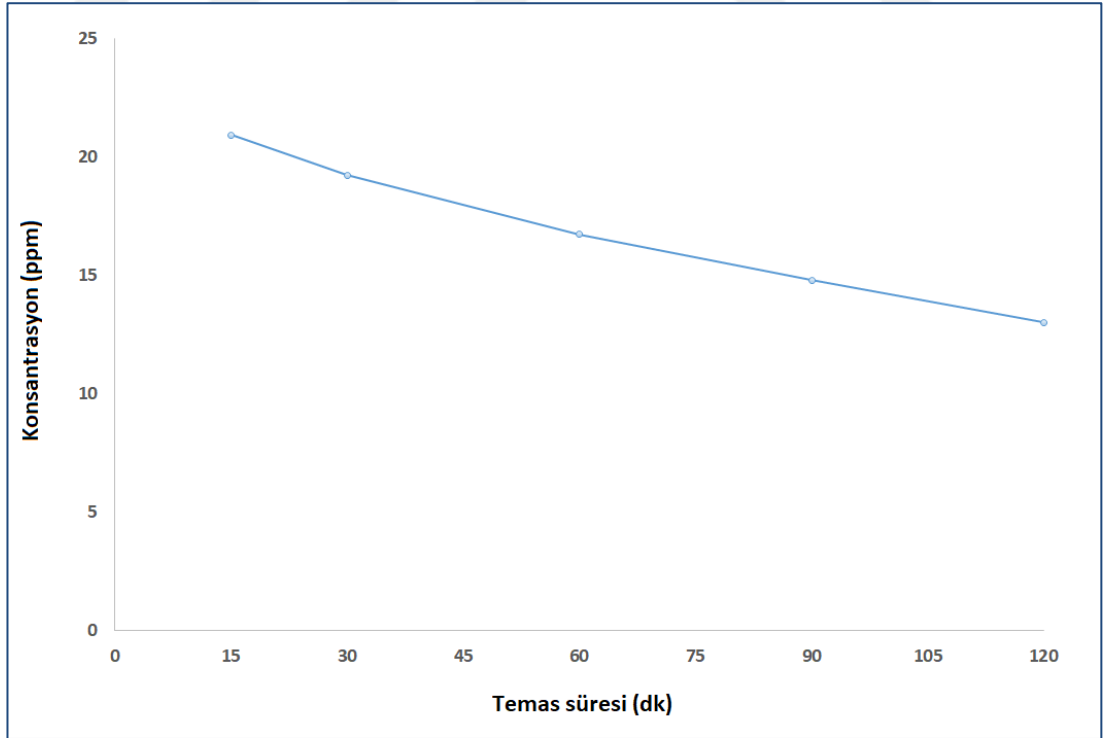
Çizelge 3. 15. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen 0,2g adsorban sonrası farklı zamanlardaki adsorpsiyon işlemi sonrası adsorpsiyon (renk giderim) verimlilikleri (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).

Co(ppm)	25	25	25	25	25
Ce(ppm)	20,91	19,22	16,71	14,78	13,01
V(L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Zaman(dk)	15	30	60	90	120
% Verim	16,38	23,13	33,18	40,89	47,95

$$\text{Adsorpsiyon \%verimi} = (\text{Co}-\text{Ce})/\text{Co} \cdot 100$$



Şekil 3. 45. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen 0,2g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) adsorpsiyon (renk giderim) verimliliği (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı).



Şekil 3. 46. 25 ppm Alizarin Yellow GG çözeltilerine eklenen 0,2g adsorbanların farklı zamanlardaki (15, 30, 60, 90 ve 120 dk.) konsantrasyon (C_e) üzerine etkisi (oda sıcaklığında, 250 rpm karıştırma hızı) .

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 1) Bu tez çalışmasıyla ilk defa baryum alüminyum borat ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) bileşiği kullanılarak üç farklı anyonik boyarmadde üzerine adsorpsiyon yani renk giderim özelliği araştırılmıştır.
- 2) Çözeltide yakma yöntemi kullanılarak adsorban baryum alüminyum borat ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) bileşiği yüksek sıcaklıkta sentezlenmiş ve XRD metodu ile karakterize edilmiştir.
- 3) Sentezlenen baryum alüminyum borat ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) bileşiğinin yapısındaki bor- oksijen bağ özellikleri FTIR cihazı kullanılarak incelenmiştir.
- 4) Adsorpsiyon deneyleri, üç farklı boyar madde (Kongo kırmızısı, Alizarin sarısı GG ve Metil mavisi) ve iki farklı parametre (adsorban madde miktarı ve temas süresi) kullanılarak 250 rpm karıştırma hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.
- 5) 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içerisine farklı miktarlarda (0,025-1,3g) Baryum alüminyum borat ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) eklenerek renk giderim verimliliği çalışılmış ve artan adsorban miktarıyla adsorpsiyon verimliliğinin arttığı (Co=20ppm, 1,3g $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$, 30dk, %79,83 verim) gözlenmiştir.
- 6) 20 ppm Kongo kırmızısı çözeltileri içerisine 0,1g Baryum alüminyum borat ($\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$) eklenerek zamana bağlı (15-30-60-90-120 dakika) renk giderim

verimliliği çalışılmış ve artan süre ile adsorpsiyon verimliliğinin arttığı (Co=20ppm, 0,1g BaAl₂B₂O₇, 120 dk, %76,75 verim) gözlenmiştir.

- 7) 25 ppm Alizarin sarısı GG çözeltileri içerisinde farklı miktarlarda (0,1-1,2g) Baryum alüminyum borat (BaAl₂B₂O₇) eklenerek renk giderim verimliliği çalışılmış ve artan adsorban miktarıyla adsorpsiyon verimliliğinin arttığı (Co=25ppm, 1,2g BaAl₂B₂O₇, 60dk, %85,43 verim) gözlenmiştir.
- 8) 25 ppm Alizarin sarısı GG çözeltileri içerisinde 0,2g Baryum alüminyum borat (BaAl₂B₂O₇) eklenerek zamana bağlı (15-30-60-90-120 dakika) renk giderim verimliliği çalışılmış ve artan süre ile adsorpsiyon verimliliğinin arttığı (Co=25ppm, 0,2g BaAl₂B₂O₇, 120 dk, %47,95 verim) gözlenmiştir.
- 9) 50 ppm Metil mavisi çözeltileri içerisinde farklı miktarlarda (0,0025-0,08g) Baryum alüminyum borat (BaAl₂B₂O₇) eklenerek renk giderim verimliliği çalışılmış ve artan adsorban miktarıyla adsorpsiyon verimliliğinin arttığı (Co=50ppm, 0,08g BaAl₂B₂O₇, 30dk, %94,4 verim) gözlenmiştir.
- 10) 50 ppm Metil mavisi çözeltileri içerisinde 0,01g Baryum alüminyum borat (BaAl₂B₂O₇) eklenerek zamana bağlı (5-15-30-60-90-120 dakika) renk giderim verimliliği çalışılmış ve artan süre ile adsorpsiyon verimliliğinin arttığı (Co=50ppm, 0,01g BaAl₂B₂O₇, 120 dk, %93,54 verim) gözlenmiştir.

Baryum alüminyum borat (BaAl₂B₂O₇), toprak metal borat ailesinin bir üyesidir. Kristal yapısı incelendiği zaman baryum (Ba²⁺) ve alüminyum (Al³⁺) katyonlarından oluştuğu görülmektedir. Özellikle +2 yüklü ve büyük çaplı Baryum katyonu adsorbanın yüzeyini yük açısından oldukça (+) polarize yapmaktadır. Bu özellik adsorbanı anyonik boyarmaddeler için kuvvetli fiziksel çekim alanı oluşturmaktadır. Böylece, katyonik yüzeye sahip adsorbanın anyonik boyar maddeler olan Kongo kırmızısı, Alizarin sarısı GG ve Metil mavisi sulu çözeltilerinin rengini giderdiği, yapılan spektrofotometrik çalışmalarla gözlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile, Baryum alüminyum borat (BaAl₂B₂O₇) bileşiğinin Kongo kırmızısı, Alizarin sarısı GG ve

Metil mavisi anyonik boyarmaddeleri üzerinde iyi bir adsorban olduğu sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

- 1 Kaya, Ö., “Katı Faz Ekstraksiyonu Yöntemiyle Boyar Madde Moleküllerinin Sulu Ortamdan Giderilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2024).
- 2 Sarı, Y., “Reaktif Kırmızı 195 Boyar Maddesinin Hurma Çekirdeği İle Adsorpsiyonunun Yanıt Yüzey Yöntemi İle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2023).
- 3 Bayram, O., Göde, F., ve Pekgözlü, İ., “Removal of methyl blue (MB) from aqueous solution using strontium aluminoborate ($\text{SrAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$): Synthesis, characterization and adsorption studies”, *J. Dispersion Sci. and Tech.*, <https://doi.org/10.1080/01932691.2023.2190395> (2023).
- 4 Bayram, O., Moral, E., Pekgözlü, İ. ve Göde, F., “Use of $\text{Sr}_2\text{Mg}(\text{BO}_3)_2$ in Congo red removal from aqueous solutions: Synthesis, adsorption, isotherm, kinetic study”, *J. Dispersion Sci. and Tech.*, <https://doi.org/10.1080/01932691.2023.2278497> (2023).
- 5 N. Ye ve ark., “Crystal structure of Barium aluminium borate, $\text{BaAl}_2\text{B}_2\text{O}_7$, Z”. *Kristallogr., NCS* 213, (1998).
- 6 Aziz, Hamidi Abdul, "Wastewater Engineering", In: "Environmental Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM)", Wang, LK, Wang, MHS, and Pankivskyi, YI (Series Editors). 209 pages. *Lenox Institute Press*, MA, USA. <https://doi.org/10.17613/9g1r-6886> (2023).
- 7 Shoja, E., “Bir Alüminyum Borat Bileşiği Kullanarak Sulardaki Congo Red Ve Metil Blue Boyar Maddelerinin Renk Gideriminin Spektrofotometrik Yöntemle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2024).
- 8 Özer, R., “Gözenekli İndirgenmiş Grafen/Aktif Karbon (Rgo/Ac) Kompozit Aerojel Eldesive Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Adsorpsiyon Çalışması” Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2024).
- 9 Zora, F., H., “Çeşitli Biyokütleler İle Farklı Bazık Boyar Maddelerin Atıksulardan Uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2024).
- 10 Gholivand, M., B., Yamini, Y., Dayeni, M., Seidi, S., ve Tahmasebi, E.,

- “Adsorptive removal of alizarin red-S and alizarin yellow GG from aqueous solutions using polypyrrole-coated magnetic nanoparticles”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (2015).
- 11 Guntur, A., I., ve Hiroshi, S., “Review on effect of different type of dyes on advanced oxidation processes (AOPs) for textile color removal”, *Chemosphere*, (2021).
 - 12 Cary T. Chiou, “Fundamentals of the Adsorption Theory”, **Chapter 4**, Wiley, (2002), <https://doi.org/10.1002/0471264326.ch4>
 - 13 Douglas A. Skoog, F. Holler J., Stanley R. “Crouch, Principles of Instrumental Analysis”, Seventh Edition, **Cengage Learning**, Boston, USA, 2018, ISBN: 978-1-305-57721-3
 - 14 Gündüz, T., “İnstrümental Analiz”, **Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi**, (1999).
 - 15 Callister, W. D. ve Jr. D. G. **Rethwisch, Materials Science and Engineering**, sayfa 87, Wiley 2013, ISBN: 978-1-118-32457-8
 - 16 El-Azazy, M , “Introductory Chapter: Infrared Spectroscopy- A Synopsis of the Fundamentals and Applications”, **Intech Open**, Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82210> (2018).
 - 17 Herschel W., “Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun”. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, (90), 284-292. (1800).
 - 18 Maas van der JH. “Basic Infrared Spectroscopy”. 2nd ed. London: **Heyden & Son Ltd.**; (1972).
 - 19 Theophanides T, editor. “Introduction to Infrared Spectroscopy”, Materials Science, Engineering and Technology. Rijeka, Croatia: **InTech**; (2012).
 - 20 Chang, A., Nguyen B., Nguyen, V., ve Hu, Ç., “Adsorption kinetics of methyl blue using metal-modified barium lanthanum titanate as an effective absorbent”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (2021).
 - 21 Azama, K., Razab, R., Shezada, N., Shabira, M., Yangc, W., Ahmada, N., Shafiq, Q., Akhterd, P., Razzaqa, A., Hussain M., “Development of recoverable magnetic mesoporous carbon adsorbent for removal of methyl blue and methyl orange from wastewater”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (2020).
 - 22 Lafi, R., Montasser, I, ve Hafiane, A., “Adsorption of congo red dye from aqueous solutions by prepared activated carbon with oxygen-containing functional groups

and its regeneration”, *Adsorption Science & Technology*, (2018).

- 23 Borth, K., W., Galdino, C., W., Teixeira, V., C., Anaissi, F., J., “Iron oxide nanoparticles obtained from steel waste recycling as a green alternative for Congo red dye fast adsorption”, *Applied Surface*, (2021).
- 24 Swetha S. M. Bhat and Nalini G. Sundaram, “Efficient visible light photocatalysis of Bi₄TaO₈Cl nanoparticles synthesized by solution combustion technique”, *RSC Adv.*, 3, 14371-14378. <https://doi.org/10.1039/C3RA40240A> (2013).
- 25 Liu, Y., Liu, Y., Qu, R., Ji, C., ve Sun, C., “Comparison of adsorption properties for anionic dye by metal organic frameworks with different metal ions”, *Colloids and Surfaces A*, (2019).
- 26 Liu, Y., Liu, Y., Zhang, Z., Pei, D., Wei, J., and Di, D., “Modified macroporous adsorption resins with amino and acetyl groups through a novel method and adsorption behaviors for alizarin yellow GG”. *Polymer Engineering & Science*, 54(8), 1960-1968. (2014).
- 27 Ghaemmaghami, P.-S., Zolgharnein, J. M., Masoomi, Y., Farahani, S. D. “Remediation of Alizarin Yellow GG from aqueous sources by Quasi-UiO-66; Box-Bencken design optimization and adsorption chercitization”, *Inorganic Chemistry Communications*, 168 112881. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112881> (2024).
- 28 Jia Liu, Nan Wang, Huili Zhang, Jan Baeyens, “Adsorption of Congo red dye on Fe_xCo_{3-x}O₄ nanoparticles”, *Journal of Environmental Management*, 238 473-483. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.009> (2019).
- 29 Liu, J., Wang, N., Zhang, H., Baeyens, J., “Adsorption of Congo red dye on Fe_xCo_{3-x}O₄ nanoparticles”, *Journal of Environmental Management*, 238 473-483. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.009> (2019).
- 30 Chowdhury, A., Sunita Kumari, S., Afaq Ahmad Khan, A., A., Hussain, S., “Synthesis of mixed phase crystalline CoNi₂S₄ nanomaterial and selective mechanism for adsorption of Congo red from aqueous solution”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 106554. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106554> (2021).
- 31 Fei, F., Gao, Z., Wu, H., Wurendaodi, W., Zhao, S. ve Asuh, S. “Facile solid-state synthesis of Fe₃O₄/kaolinite nanocomposites for enhanced dye adsorption”, *Journal of Solid State Chemistry*, 291 121655. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121655> (2020).

- 32 Wang, Z., Junfeng Zhao, J., Shilong Yin, S., “Solution combustion synthesis of CeO₂ powders and its application in water treatment”, *Int J Appl Ceram Technol.*, 19 2990–2997. DOI: 10.1111/ijac.14171 (2022).
- 33 Wu, J., Li, H., ve Wang, J., “Synthesis of K_{2-x}Mn₈O₁₆ Nanowires for Swift Removal of Congo Red”, *Energy and Environment Focus*, 251-56. doi:10.1166/eef.2013.1025 (2013).
- 34 Habibi, M., K., Rafiaei, S., M., Alhaji, A, ve Zare, M., “ZnAl₂O₄: Ce³⁺ phosphors: Study of Crystal Structure, Microstructure, Photoluminescence Properties and Efficient Adsorption of Congo Red Dye”, *Journal of Molecular Structure*, 1228 129769, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129769> (2021).
- 35 Liu, Y., Yongfeng Liu, Y., Rongjun Qu, R., Chunnuan Ji, C., Changmei Sun, C., “Comparison of adsorption properties for anionic dye by metal organic frameworks with different metal ions”, *Colloids and Surfaces A*, 586 124259. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124259> (2020).
- 36 Ramamoorthy, S., Das, S., Balan, R., Lekshmi, I.C., “TiO₂-ZrO₂ nanocomposite with tetragonal zirconia phase and photocatalytic degradation of Alizarin Yellow GG azo dye under natural sunlight”, *Materials Today: Proceedings*, 47 4641–4646. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.482> (2021).
- 37 Chang, A., L., Nguyen, B., S, Nguyen, V., H., ve Hu, C., “Adsorption kinetics of methyl blue using metal-modified barium lanthanum titanate as an effective absorbent”, *Materials Chemistry and Physics*, 276 125363. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125363> (2022).
- 38 Shukla, R., Madras, G., “Facile synthesis of aluminium cobalt oxide for dye adsorption”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 2259–2268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2014.10.007> (2014).

ÖZGEÇMİŞ

İlknur Sibel YÜKSEL, 2015 Bartın Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezun olduktan sonra danışmanlık sektöründe 9 yıl çevre mühendisi pozisyonunda çalıştı. Şu an Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğünde çevre mühendisi olarak çalışmaktadır.

