



Saccharomyces cerevisiae ile Remazol Sarı (RR) boyasının kesikli sistemde biyosorpsiyonu

Fatma Erdem^{1*}, Ayşe Tosun², Mübeccel Ergun²

¹Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, Ankara, 06520, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06570, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Remazol Sarı (RR) giderimi
- *Saccharomyces cerevisiae* ile boya giderimi
- Desorpsiyon

Makale Bilgileri

Geliş: 17.09.2015

Kabul: 09.03.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.278452

Anahtar Kelimeler:

Saccharomyces cerevisiae,
remazol sarı,
biyosorpsiyon,
kesikli sistem

ÖZET

Bu çalışmada Remazol Sarı (RR) tekstil boyasının giderimi ısıtma işlemle ölü forma getirilmiş *Saccharomyces cerevisiae* ile kesikli sistemde pH, sıcaklık, başlangıç boya ve biyosorbent konsantrasyonu gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak incelenmiştir. pH=2; C₀= 400 ppm; C_b= 2 g/L; T=25°C; karıştırma hızı=140 rpm koşullarında maksimum %88 giderim ve 163 mg/g biyosorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır. Biyosorbente EtOH ve NaCl ile ön işlem yapılarak biyosorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve ön işlemin biyosorpsiyon performansı üzerinde olumlu bir etkisi gözlenmemiştir. Desorpsiyon çalışmaları sonucunda 0,5 M NaOH ile %36,5 ve pH değeri 8'e ayarlı su ile %1,5 desorpsiyon verimine ulaşılmıştır. Elde edilen deneysel veriler Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modellerine uygulanarak sistemi en iyi Langmuir izoterm modelinin tanımladığı belirlenmiştir. Biyosorpsiyon kinetiği ise ikinci derece kinetik model ile uyumludur. Biyosorpsiyon prosesine ait termodinamik parametreler ΔH=25,3 kJ/mol ve ΔS=52 j/molK olarak bulunurken biyosorpsiyon prosesinin endotermik olduğu belirlenmiştir. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında *Saccharomyces cerevisiae* için biyosorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR ve SEM analizi yapılarak biyosorpsiyon mekanizmasındaki fonksiyonel gruplar incelenmiş ve biyosorpsiyon sonrası oluşan yapısal değişikliklerin varlığı görülmüştür.

Biosorption of Remazol Yellow (RR) by *Saccharomyces cerevisiae* in a batch system

H I G H L I G H T S

- Remazol Yellow (RR) removal
- Dye removal by *Saccharomyces cerevisiae*
- Desorption

Article Info

Received: 17.09.2015

Accepted: 09.03.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.278452

Keywords:

Saccharomyces cerevisiae,
remazol yellow,
biosorption,
batch system

ABSTRACT

In this study biosorption of Remazol Yellow (RR) textile dye from the waste water was investigated onto thermally dried *Saccharomyces cerevisiae* in a batch system as a function of pH, temperature, initial dye and biomass concentration. At pH=2; C₀= 400 ppm; C_b= 2 g/L; T=25°C; with a stirring rate of 140 rpm the highest removal %88 and biosorption capacity 163 mg/g was found. Ethanol and NaOH was used as pretreatment agent. In desorption studies with 0.5 M NaOH %36.5 and with water (pH 8) %1.5 desorption efficiency was caught. The Freundlich, Langmuir, Temkin, Harkins-Jura adsorption models were evaluated. Langmuir isotherm model and second order kinetic model is the best model for the biosorption process. Thermodynamic parameters were also calculated ΔH=25.3 kJ/mol ve ΔS=52 j/molK and biosorption is endothermic. For characterization study FTIR and SEM analysis were done to the *Saccharomyces cerevisiae* before and after the biosorption to search functional groups changes because of the biosorption process.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: fatmaduran82@gmail.com / Tel: +90 312 565 5743

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gittikçe artan nüfusla birlikte gelişen teknoloji ve hızlı sanayileşme çözülmesi oldukça zor olan çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir. Zehirli yapısı ve bileşenlerinin kararlılığı nedeniyle alıcı ortamlara deşarj edilmesi tehdit oluşturan atık suların önce kirlilik yükünü azaltmak ve askıda katıları, metal iyonlarını ve mikroorganizmaları uzaklaştırmak için etkili ve ekonomik bir arıtım yapılması gerekmektedir [1]. Endüstriyel kirlenmenin boyutlarının ortaya konması aşamasında tekstil endüstrisi önemli bir paya sahiptir. Yılda 7×10^5 ton üzerinde, yaklaşık 10,000 farklı boya üretilmektedir [2]. Tekstil boyalarından reaktif boyalar kromofor ve reaktif grup olmak üzere yapısında iki farklı grup bulunduran boyalardır. Reaktif boyalar diğer boya sınıflarından farklı olarak tekstil liflerine kovalent bağ ile bağlanmaktadır [3]. Son yıllarda elyaf, polyester, pamuk, yün ve özellikle selüloz maddelerin boyanmasında oldukça sık kullanılan reaktif boyalardan Remazol boyalar suya, terlemeye, 75°C 'de alkali yıkamaya, sürtmeye, ütümeye ve çözücülere karşı oldukça yüksek dayanım standardına sahiptirler [4]. Boyaların çevreye ve insana zarar verdiğinin anlaşılmasıyla birlikte atık sulardan renkli bileşenlerin uzaklaştırılması süreci çevresel önem kazanmıştır. Bunun için fiziksel veya kimyasal çeşitli yöntemler kullanılsa da bu yöntemlerin pahalı, yetersiz ve açığa çıkan atığın bertarafının zor olması nedeni ile biyolojik materyallerin biyosorbent olarak kullanıldığı atıksu arıtım teknikleri geleneksel metotlara potansiyel bir alternatif olarak görülmektedir [5]. Biyosorbentler tarımsal atıklar, algler, bakteriler, kitosan ve mantarlar olarak sınıflandırılırlar [6]. *Saccharomyces cerevisiae* diğer mikroorganizmalarla karşılaştırıldığında benzersiz özelliklerinden dolayı boya giderim çalışmalarında oldukça sık kullanılan bir biyosorbenttir. Üreme ortamının maliyeti oldukça düşüktür. *Saccharomyces cerevisiae* birçok çalışmada kabul görmüş ve biyolojik açıdan iyi bilinen bir model organizmadır [7]. Biyosorpsiyon çalışmalarında mikroorganizmaların canlı/ölü, aktif/deaktif, serbest/tutuklanmış, çeşitli fizikokimyasal yöntemlerle ön işlem görmüş, endüstri atığı, laboratuvar koşullarında üretilmiş gibi çeşitli formları kullanılmaktadır. Korhan vd. çalışmalarında *Saccharomyces cerevisiae* ile Remazol Navy Blue (RNB)'nin giderimini incelemişler ve pH 3 ve 30°C 'de %97,94 oranında giderim elde etmişlerdir [8]. Suteu vd. çalışmalarında Brilliant Red HE-3B reaktif boyasının sulu çözeltilerden giderimini ölü formdaki *Saccharomyces cerevisiae* ile kesikli sistemde incelemişlerdir [9]. Mahmoud çalışmasında Remazol mavi giderimini *Saccharomyces cerevisiae* ile tekrarlı-kesikli sistemde incelemiştir [10]. Biyosorbente yapılan çeşitli ön işlemlerle elde edilen % giderim değeri değişmektedir. Hu çalışmasında canlı ve otoklavlanmış gram-negatif bakteri kullanarak reaktif boya giderimini incelemiş ve otoklavlama ile biyosorbent yüzey alanının artmasına bağlı olarak biyosorpsiyonun arttığını belirtmiştir [11]. Tosun vd. çalışmalarında ölü formdaki *Saccharomyces cerevisiae*'ya metanol, etanol ve sodyum hidroksit ile ön işlem yaparık

bakır giderimini incelemişler ve en yüksek giderime sodyum hidroksit ön işlemlili *S. Cerevisiae* ile (17,7 mg/g) ulaşılmıştır [12]. Bu çalışmada biyolojik olarak arıtımı henüz literatürde çalışılmamış Remazol Sarı (RR) boyası ölü formdaki *Saccharomyces cerevisiae* ile kesikli sistemde pH, sıcaklık, başlangıç boya iyonu konsantrasyonu gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak incelenmiştir. Biyosorbente EtOH ve NaCl ile ön işlem yapılmıştır. 0,5 M NaOH ve pH değeri 8'e ayarlı su ile desorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kesikli sistemden elde edilen biyosorpsiyon verileri çeşitli adsorpsiyon izoterm modellerine uygulanarak model sabitleri belirlenmiştir. Biyosorpsiyon prosesine ait termodinamik parametreler hesaplanarak sistemin kinetik hız modellerine uyumluluğu araştırılmıştır. Karakterizasyon çalışması kapsamında *Saccharomyces cerevisiae*'nin biyosorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR ve SEM analizleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Biyosorbent, Saccharomyces cerevisiae Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı (Halk Sağlığı Kurumu) Kültür Laboratuvarı'ndan, liyofiliz stok kültürü halinde temin edilmiştir.

2.1. Mikroorganizma Hazırlanışı (Preparation of the Microorganism)

Saccharomyces cerevisiae için litrede 5 g maya özütü, 20 g pepton, 20 g glikoz, 20 g agar ve 5 g malt özütü içeren agar ortamı eğik bir yüzey oluşturacak şekilde katılaştırılmış ve *Saccharomyces cerevisiae* ekimi yapılarak 30°C 'de 48 saat üremeye bırakılmıştır. Litrede 5 g maya özütü, 20 g pepton, 20 g glikoz ve 5 g malt özütü içeren ön aktiveleme ortamı hazırlanarak *Saccharomyces cerevisiae* eğik agar tüplerinden bu ortama transfer edilip 30°C 'de 1 gün inkübasyona bırakılmıştır. Litrede 50 g glikoz, 12 g KH_2PO_4 , 5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 g maya özütü ve 0,5 g CaCl_2 içeren üreme ortamı hazırlanarak ön aktiveleme ortamındaki *Saccharomyces cerevisiae* üreme ortamına transfer edilmiştir. Üreme basamakları tamamlanan *Saccharomyces cerevisiae* otoklavda 121°C 'de 15 dk bekletilerek ısı ilemlle ölü forma getirilmiştir.

2.2. Biyosorpsiyon Deneyleri (Biosorption Experiment)

Biyosorpsiyon deneyleri 100 ml boya çözeltisi içeren 250 ml erlenlerde çalkalamalı su banyosunda 140 rpm çalkalama hızında gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Boya Analizi (Dye Analysis)

Remazol Sarı (RR) konsantrasyonu UV/VIS Spektrometresi ile 416 nm'de absorbansın zamanla değişimine bağlı olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerlerden Eş. 1 ile % giderim ve biyosorpsiyon kapasitesi q mg/g değerleri hesaplanmıştır.

$$\% \text{Giderim} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \text{ ve } q \text{ (mg/g)} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_b} \quad (1)$$

2.3. Ön İşlem Çalışmaları (Pretreatment Study)

Üretim basamakları tamamlandıktan sonra 121°C'de 15 dk boyunca ısıtma işlemi ölü forma dönüştürülen *Saccharomyces cerevisiae*'ya EtOH ve NaCl ile ön işlem yapılmıştır. 1 g kurutulmuş biyosorbent 65 ml etanol ve 0,6 M %37' lik HCl ile 150 rpm'de 5 saat karıştırılmıştır. Filtre kağıdından süzülerek 12 saat 70°C'de kurutulmuştur. 1 g kurutulmuş biyosorbent 20 ml 0,5 M NaCl ile 60°C 150 rpm'de 2 saat karıştırılmıştır. Filtre kağıdından süzülüp distile su ile yıkanarak 2 saat 70°C'de kurutulmuştur.

2.4. Desorpsiyon (Desorption)

0,5 M NaOH ve pH değeri 8'e ayarlı su ile boya yüklenmiş biyosorbente desorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilerek desorpsiyon verimi Eş. 2 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Desorpsiyon Verimi} = \frac{C_{des}}{C_{ads}} \times 100 \quad (2)$$

2.5. İzoterm Modelleri (Isotherm Models)

Langmuir İzotermi;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_{max}} + \left(\frac{b}{Q_{max}}\right)C_e \quad (3)$$

C_e/q_e değerinin, C_e değerine karşı değişiminin grafiğe geçirilmesiyle ortaya çıkan doğrunun eğimi b/Q_{max} sabitinin değerini verirken, kesim noktası da $1/Q_{max}$ sabitinin değerini verecektir.

Doğrusallaşmış Freundlich İzotermi;

$$q_e = K_F C_e^n \quad (4)$$

$\log q_e$ 'nin, $\log C_e$ 'ye karşı değişimi grafiğe geçirilirse K_F ve n sabitleri bulunur.

Doğrusallaşmış Temkin İzotermi;

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad (5)$$

$\ln C_e$ 'ye karşı çizilen q_e grafiği A ve B sabitlerinin belirlenmesini sağlamaktadır [11].

Harkins-Jura İzotermi;

$$\frac{1}{q_e^2} = \left(\frac{B}{A}\right) - \left(\frac{1}{A}\right) \log C_e \quad (6)$$

2.6. Biyosorpsiyon Kinetiği (Biosorption Kinetic)

2.6.1. Yalancı birinci derece kinetik model (Pseudo-first order kinetic model)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (7)$$

Eş. 7 $t=0$ da $q_t=0$ için integre edilirse Eş. 8 elde edilir.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303}t \quad (8)$$

Hız sabiti k_1 , $\log(q_e - q_t)$ 'nin t 'ye karşı çizilen grafiğin eğiminden, teorik q_e değeri ise grafiğin kesişim (y eksenini kestiği nokta) noktasından hesaplanır.

2.6.2. Yalancı ikinci derece kinetik model (Pseudo-second order kinetic model)

Yalancı ikinci dereceden kinetik model Y.S. Ho tarafından geliştirilmiştir.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (9)$$

Eş. 9 $t=0$ 'da $q_t=0$ için integre edilirse Eş. 10 elde edilir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (10)$$

Başlangıç adsorpsiyon hızı ise $h = k_2 \cdot q_e^2$ 'dir.

Hız sabiti k_2 ve teorik q_e değerleri sırasıyla t/q_t 'nin t 'ye karşı çizilen grafiğinin kesişim (y eksenini kestiği nokta) ve eğiminden hesaplanır.

2.7. Termodinamik Analiz (Thermodynamic Analysis)

Adsorpsiyon prosesi için entalpi, entropi ve serbest enerji değişimleri denge sabiti yardımıyla belirlenebilir. Bu termodinamik parametreler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir (Eş 11-Eş. 14).

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (11)$$

$$\ln K_c = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (12)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (13)$$

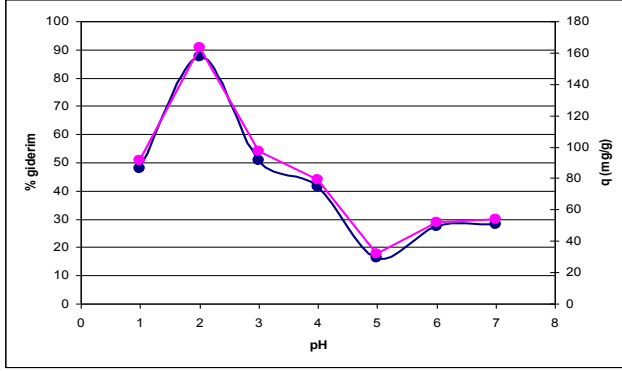
ΔH ve ΔS sırasıyla, $\ln K_c$ 'ye karşı $1/T$ 'nin grafiğinin eğiminden ve kesim noktasından hesaplanır. Adsorpsiyon denge sabiti ise [13],

$$K_c = \frac{C_{ads}}{C_e} \quad (14)$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. pH Etkisi (Effect of pH)

pH değeri 1,0-7,0 aralığında değiştirilerek yapılan biyosorpsiyon deneyleri sonucunda Şekil 1'de % giderim ve q (mg/g) değerlerinin pH ile değişimi elde edilmiştir.



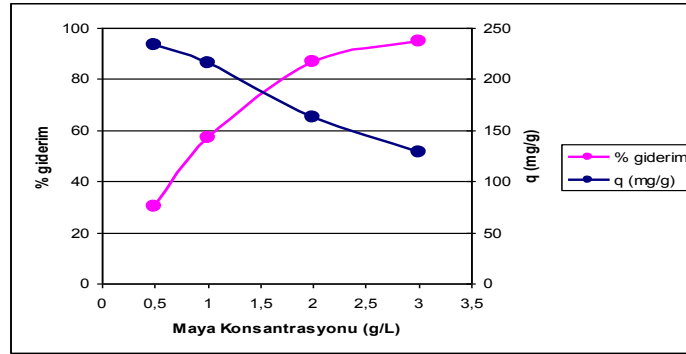
Şekil 1. Farklı pH değerlerinin biyosorpsiyon üzerindeki etkisi (The effect of different pH values on biosorption)

Düşük pH değerlerinde biyosorbent yüzeyi protonca zengin olduğu için negatif yüklü boyarmadde anyonları ile pozitif

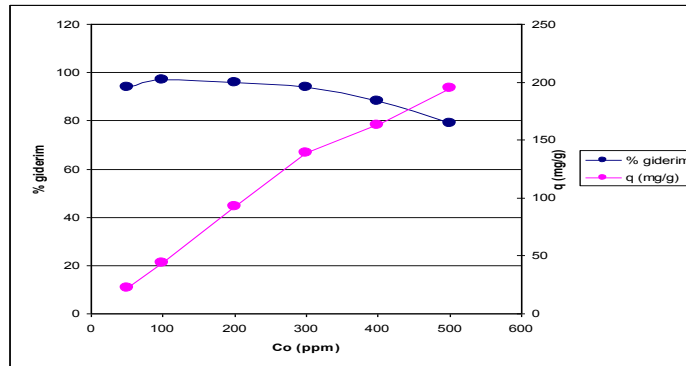
yüklü biyosorbent bölgeleri arasındaki elektrostatik etkileşim artmakta ve buna bağlı olarak ulaşılan giderim değeri artmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde düşük pH değerlerinde daha yüksek giderim değerine ulaşıldığı belirtilmiştir [14, 17]. Yapılan bu çalışmada pH 2 değerinde %88 boya giderimi ve 163 mg/g biyosorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır. Bu değerler pH 7 değerinde çok daha düşük olmakla birlikte % giderim değeri %28 iken q mg/g değeri 53 mg/g'dır. Yüksek pH değerlerinde denge süresi kısaldığı için sistem daha çabuk dengeye ulaşırken daha düşük pH değerinde bu sürenin arttığı gözlemlenmiştir.

3.2. Biyosorbent Derişiminin Etkisi (Effect of Biosorbent Concentration)

Biyosorbent derişiminin biyosorpsiyona etkisini incelemek için 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 g/L olmak üzere farklı biyokütle derişimlerinde biyosorpsiyon deneyleri gerçekleştirilerek Şekil 2'de % giderim ve q mg/g değerlerinin biyosorbent konsantrasyonu ile değişimi elde edilmiştir. Artan başlangıç biyosorbent konsantrasyonu ile % giderim miktarı artarken q mg/g değeri azalmaktadır. Biyosorbent konsantrasyonunun 0,5 g/L'den 3 g/L'ye artması ile artan adsorpsiyon yüzey alanı ve aktif adsorpsiyon site sayısına bağlı olarak % giderim değeri %30'dan %95'e yükselmiştir.



Şekil 2. Farklı başlangıç biyosorbent konsantrasyonlarının biyosorpsiyon üzerindeki etkisi (The effect of initial biosorbent concentration values on biosorption)



Şekil 3. Farklı başlangıç başlangıç boya konsantrasyonunun biyosorpsiyon üzerindeki etkisi (The effect of initial dye concentration values on biosorption)

Tablo 1. İzoterm Model Sabitleri (Isotherm Model Constants)

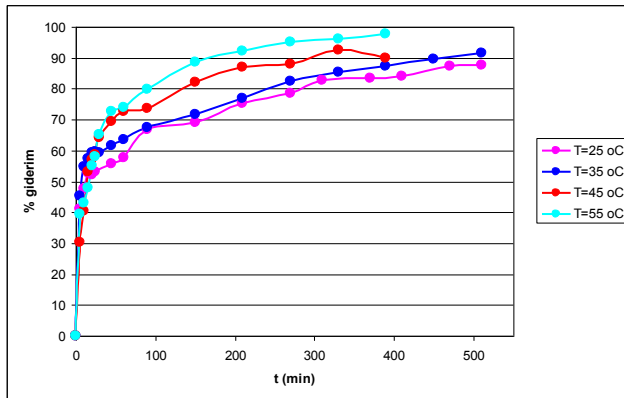
Langmuir İzotermi				Freundlich İzotermi		
T°C	R ²	Q _{max} (mg/g)	b	R ²	K _f	n
25	0,99	238,10	0,08	0,92	87	6,06
35	0,99	256,41	0,04	0,81	34	2,84
45	0,99	256,41	0,08	0,71	130	9,11
55	1,00	454,55	0,07	0,97	69,93	2,31
Temkin İzotermi				Harkins-Jura İzotermi		
T°C	R ²	A	B	R ²	A	B
25	0,91	6,38	84,44	0,91	39525,69	3,21
35	0,86	2,71	71,91	0,67	12330,46	2,55
45	0,46	2,73	99,34	0,41	69930,07	3,63
55	1,00	1,52	26,24	0,83	23866,35	1,76

3.3. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi (Effect of Initial Dye Concentration)

Başlangıç boya konsantrasyonunun etkisini araştırmak amacıyla 50, 100, 200, 300, 400, 500 ppm olmak üzere farklı başlangıç boya konsantrasyon değerlerinde biyosorpsiyon deneyleri gerçekleştirilerek Şekil 3'te % giderim ve q (mg/g) değerlerinin başlangıç konsantrasyonu ile değişimi elde edilmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonunun, boya ile biyosorbent yüzeyi arasındaki kütle transferinde oldukça etkin bir parametredir. Başlangıç boya konsantrasyonunun artması ile biyosorbent üzerindeki aktif adsorpsiyon siteleri doygunluğa ulaşmakta ve buna bağlı olarak düşük boya konsantrasyonunda daha yüksek boya giderim değerine ulaşılmaktadır. Çalışmada 50-500 ppm Remazol Sarı (RR) konsantrasyonunda % giderim değeri %94'den %79'a düşmüştür.

3.4. Sıcaklık Etkisi (Effect of Temperature)

Ortam sıcaklığının etkisini araştırmak için 25°C, 30°C, 45°C ve 55°C olmak üzere farklı sıcaklık değerlerinde biyosorpsiyon deneyleri gerçekleştirilerek Şekil 4'te % giderim ve q mg/g değerlerinin sıcaklık ile değişimi elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı sıcaklık değerlerinin biyosorpsiyon üzerindeki etkisi
(The effect of different temperature values on biosorption)

Sıcaklık arttıkça çözeltide kalan boya derişimi azalmakta buna bağlı olarak % giderim değerleri zamanla artmaktadır.

Artan sıcaklıkla boya giderim miktarının artıyor olması prosesin endotermik olduğunu göstermektedir. Artan sıcaklık ile artan biyosorpsiyon hızına bağlı olarak biyosorpsiyon denge süresinin kısalmıştır. 55°C'de sistem 100 dakikada dengeye gelirken 25°C'de 270 dakikada dengeye ulaşılmıştır.

3.5. İzoterm Modelleri (Isotherm Models)

DeneySEL verilerin Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modelleri ile uyumluluğu araştırılmıştır. Tablo 1 incelendiğinde R² ≥ 0,99 olması nedeni ile deneySEL verilerin Langmuir izoterm modeli ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

3.6. Biyosorpsiyon Termodinamiği (Biosorption Thermodynamic)

3.6.1. Biyosorpsiyon Isısı (Biosorption Heat)

Biyosorpsiyon prosesine ait farklı sıcaklık değerlerinde elde edilen termodinamik parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı sıcaklık değerlerinde elde edilen termodinamik parametreler
(Thermodynamic parameters at different temperature)

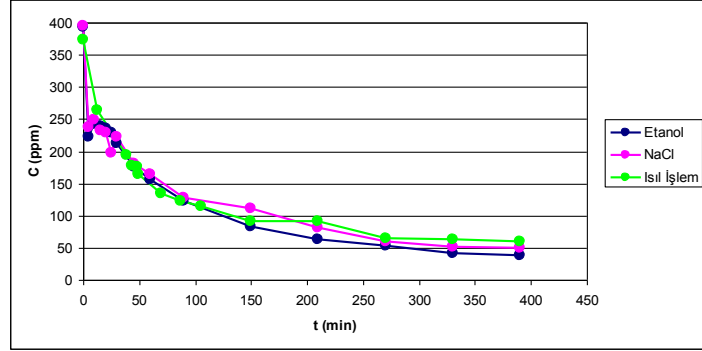
T(°C)	ΔH(kj/mol)	ΔS(j/mol K)	ΔG(kj/mol)
25			-15,47
35			-15,99
45	25,3	52	-16,51
55			-17,03

Elde edilen pozitif biyosorpsiyon ısı biyosorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Literatürde biyosorpsiyon ısı 2,1–20,9 kJ/mol aralığında ise fiziksel adsorpsiyon, 20,9–418,4 kJ/mol aralığında ise kimyasal adsorpsiyon olduğu belirtilmiştir [11].

Buna bağlı olarak bu çalışmada Remazol Sarı (RR) tekstil boyasının biyosorpsiyonu bulunan 25,3 kJ/mol biyosorpsiyon ısı değeri ile kimyasal yapıdadır. Standart Gibbs serbest enerji değeri (ΔG) değerlerinin negatif olması biyosorpsiyonun kendiliğinden (spontenous) gerçekleştiğini göstermektedir.

Tablo 3. Kinetik Model Sabitleri (Kinetic Model Constants)

T°C	Birinci derece kinetik model			İkinci derece kinetik model					
	k_1 (dk ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	q_d (mg/g)	R^2	k_2 (g/mg.dk)	q_e (mg/g)	h (g/mg.dk)	q_d (mg/g)
25	0,010	92,07	0,96	163	0,99	0,00031	164	39	163
35	0,011	103,97	0,93	179	0,99	0,00032	172	13	179
45	0,013	158,60	0,84	187	0,99	0,00038	189	9	187
55	0,020	107,25	0,76	188	0,99	0,00048	191	8	188

**Şekil 5.** Etanol, NaCl ve ısıtılmış mikroorganizma ile boya konsantrasyonunun zamanla değişimi (Dye concentration change with Ethanol, NaCl and thermal pretreated microorganism)

3.7. Kinetik Modelleme (Kinetic Models)

Deneysel verilere uygulanan Yalancı Birinci Derece Kinetik Model ve Yalancı İkinci Derece Kinetik Model sabitleri Tablo 3'te verilmiştir. $R^2 \geq 99$ olması ve denklemlerden elde edilen q_e mg/g değerlerinin deneysel q_e mg/g değerleri ile yakınlık göstermesi nedeni ile deneysel veriler yalancı ikinci derece kinetik model ile uyumludur. Bu durum boyar madde ile mikroorganizma arasında kimyasal bir etkileşim olduğuna işaret etmektedir.

3.8. Ön İşlem Sonuçları (Pretreatment Results)

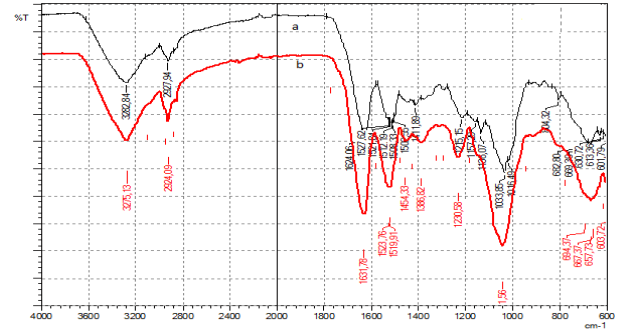
Isıl işlemle ölü forma getirilmiş biyosorbente Etanol ve NaCl ile ön işlem yapıldıktan sonra elde edilen biyosorpsiyon verileri Şekil 5'te verilmiştir. Literatürde biyosorbente yapılan çeşitli ön işlem çalışmaları incelendiğinde ön işlemin biyosorpsiyonu artırıcı yönde etkisi olduğu belirtilmektedir [17, 18]. Şekil 6 incelendiğinde ısıtılmış işlemle ölü forma getirilmiş *Saccharomyces cerevisiae* ile çözeltide kalan Remazol Sarı (RR) derişimi 47 ppm iken Etanol ile işlem sonrası 38 ppm, NaCl ile işlem sonrası 50 ppm olarak belirlenmiştir. Isıl işlemle ölü forma dönüştürme aşamasında mikroorganizma yüzey yapısı tamamen değiştiğinden sonrasında yapılan EtOH ve NaCl ile ön işlemin biyosorpsiyon üzerinde herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

3.9. Desorpsiyon Çalışmaları (Desorption Study)

0,5M NaOH ile desorpsiyon verimi %36,5 iken pH değeri 8'e ayarlı su ile %1,5 bulunmuştur.

3.10. FTIR Analizi (FTIR Analysis)

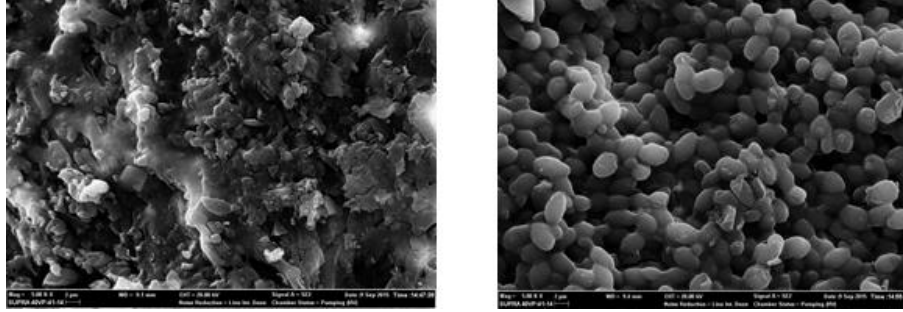
Gerçekleşen biyosorbent-boyarmadde fonksiyonel grup etkileşimi Şekil 6'da incelenmiştir.

**Şekil 6.** *Saccharomyces cerevisiae* için FTIR pikleri (a-biyosorpsiyon sonrası b-biyosorpsiyon öncesi) (FTIR Pics for *Saccharomyces cerevisiae* a- before b- after biosorption)

Elde edilen piklerdeki biyosorpsiyon öncesi ve sonrası farklılıklar karşılaştırıldığında 3275 cm⁻¹-3282 cm⁻¹ N-H gerilme bandı, 2924 cm⁻¹-2927 cm⁻¹ C-H gerilme bandı, 1631 cm⁻¹-1624 cm⁻¹ C=C gerilme bandı, 1527 cm⁻¹ 1523 cm⁻¹ H-C-H gerilme bandı, 1502 cm⁻¹ 1454 cm⁻¹ N=O gerilme bandı, 1411 cm⁻¹-1386 cm⁻¹ N=O gerilme bandı gibi değişimler gözlenmiştir.

3.11. SEM Analizi (SEM Analysis)

Saccharomyces cerevisiae'nin biyosorpsiyon öncesi ve sonrası elde edilen SEM fotoğrafları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. *Saccharomyces cerevisiae* biyosorpsiyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (SEM photograph of *Saccharomyces cerevisiae* before and after biosorption)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Isıl işlemle ölü forma getirilmiş *Saccharomyces cerevisiae* ile kesikli sistemde Remazol Sarı (RR) gideriminde çalışma değerleri $C_0=400$ ppm; $pH=2$; $C_b= 2$ g/L ve sıcaklık $25^\circ C$ olarak belirlenmiştir. Biyosorpsiyon prosesi Langmuir izoterm modeli ve yalancı ikinci derece kinetik model ile uyumludur. $\Delta H=25,3$ kJ/mol ve $\Delta S=52$ j/molK olup endotermik yapıdadır. EtOH ve NaCl ile ön işlemin biyosorpsiyon kapasitesini değiştirmedığı gözlenmiştir. 0,5 M NaOH ile desorpsiyon için verim %36,5 iken pH değeri 8'e ayarlı su ile desorpsiyon verimi %1,5 olarak belirlenmiştir.

5. SEMBOLLER (SYMBOLS)

A ve B	Harkins-Jura sabitleri
B	Langmuir sabiti (L/mg)
C_0	Boya başlangıç derişimi (mg/L)
C_{ads}	Anında adsorplanan boyar maddenin konsantrasyonu (mg/L)
C_b	Biyosorbent miktarı (g/L)
C_{des}	Desorpsiyon çözeltisinde ölçülen boya konsantrasyonu (g/L)
C_e	Denge anında çözelti ortamında kalan boyar maddenin konsantrasyonu (mg/L)
C_t	t anındaki boya derişimi (mg/L)
k_1	Hız sabiti (dk^{-1})
k_2	Hız sabiti (g/mg.dk)
K_f	Deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi
N	Adsorpsiyon yoğunluğu
Q_{max}	Maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)
q_e	Denge anında adsorbentın gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)
q_t	Herhangi bir anda adsorbentın gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)
t	Temas süresi (dk)
ΔG	Standart Gibbs Serbest Enerjisi (kJ/mol)
ΔH	Standart Entalpi (kJ/mol)
ΔS	Standart Entropi (J/mol K)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Camcıoğlu Ş., Özyurt B., Zeybek Z., Hapoğlu H., Aeroacoustics investigation of unsteady incompressible cavity flow, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (3), 655-664, 2016.
2. Okur M., Tekstil Removal of Metal-Complex Dye From Textile Wastewaters Using Eggshell, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (4), 777-785, 2013.
3. Choudhury A.K.R., Textile Preparation and Dyeing, Science Publishers, Amerika, 514, 2006.
4. NIIR Board of Consultants & Engineers , The Complete book on Natural Dyes & Pigments, Asia Pacific Business Pres, 129, 2005.
5. Srinivasan A., Viraraghavan T., Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: A review, J. Environ. Manage., 91 (10), 1915-1929, 2010.
6. Sharma S.K., Green Chemistry for Dyes Removal from Waste Water: Research Trends and Applications, John Wiley & Sons, 137, 2015.
7. Wang J., Chen C., Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review, Biotechnol. Adv., 24 (5), 427-451, 2006.
8. Korhan H., Halipçi H.N., Kertmen M., Dıđrak M., *Saccharomyces cerevisiae* Biyokütlesi ile Remazol Navy Blue Boyar Maddesinin Biyosorpsiyonu, KSÜ Bil. Derg., 15 (3), 2012.
9. Sutey D., Blaga A.C., Diaconu M., Malutan T., Biosorption of reactive dye from aqueous media using *Saccharomyces cerevisiae* biomass. Equilibrium and kinetic study, Cent. Eur. J. Chem, 11 (2), 2048-2057, 2013.
10. Mahmoud M.S., Decolorization of certain reactive dye from aqueous solution using Baker's Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strain, HBRC Journal, 12 (1), 88-98, 2016.
11. Hu T-L., Removal of reactive dyes from aqueous solution by different bacterial genera, Water Sci. Technol., 34 (10), 89-95, 1996.
12. Tosun A., Akçelik Ö., Yalçinkaya Ö., Türker A.R., Ergun M., Removal of Copper (II) from Aqueous Solution by Pre-treated *Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C. Hansen (251 (TP (3-2))), Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 3 (4), 63-70, 2015.
13. Mehdi V., Marjan A., Marjan Z., Bitajafari Y., Application of the Freundlich, Langmuir, Temkin and Harkins-Jura Adsorption Isotherms for Some Amino Acids and Amino Acids Complexation with Manganese Ion (II) on Carbon Nanotube, International

- Conference on Nanotechnology and Biosensors, 2, 2011.
14. Baran E., Tekli ve İkili Sistemde Zeolit Yüzeyine Malachite Green ve Rhodamine B'nin Adsorpsiyonunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, 2012.
 15. Özer A, Akaya, G., Turabik M., Biosorption of acid red 274 on *Enteromorpha prolifera* in a batch system, J. Hazard. Mater., 126 (1-3), 119–127, 2005.
 16. Aksu Z., Dönmez G., A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue reactive dye, Chemosphere, 50 (8), 1075-1083, 2003.
 17. Hu T.L., Sorption of reactive dyes by *Aeromonas* biomass, Water Sci. Technol., 26 (1-2), 357-66, 1992.
 18. O'Mahony T., Guibal E., Tobin J.M., Reactive dye biosorption by *Rhizopusarrhizus* biomass, Enzyme Microb. Technol., 31, 456-463, 2002.