

ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LİTYUM (I) BİYOSORPSİYONUNDA *Coniochaeta hoffmannii* BİYOKÜTLESİ-  
NİN KULLANIMI

Yasemin ŞAHBUDAK

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA  
2025

Her hakkı saklıdır

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİTYUM (I) BİYOSORPSİYONUNDA *Coniochaeta hoffmannii* BİYOKÜTLESİNİN KULLANIMI

Yasemin ŞAHBUDAK

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY

Gerçekleştirilen tez çalışmasında balkabağı posasından elde edilen hidrolizatta geliştirilen *Coniochaeta hoffmannii* biyokütlesi lityum (I) biyosorpsiyon çalışmalarında biyosorbent olarak kullanılmıştır. Çalışmada biyosorpsiyonu etkileyen pH (2, 4, 6, 8, 10), başlangıç lityum (I) konsantrasyonu (0.5, 1.0, 2.0, 2.5 ve 3 mg/L) ve zaman (0, 5, 15, 30, 45 ve 60 dakika) gibi önemli parametreler optimize edilmiştir.

Yapılan deneylerde en yüksek lityum (I) biosorpsiyonunun pH 6 değerinde gerçekleştiği, en yüksek biyosorpsiyon veriminin ise 0.61 mg/L lityum (I) varlığında %22.95 olduğu gözlemlenmiştir. Başlangıç lityum (I) konsantrasyonlarındaki artışın biyosorpsiyonda azalmaya sebep olduğu görülmüştür. 1 g/L biyosorbent varlığında 3.0 mg/L lityum (I) biyosorpsiyon verimi %15 olarak elde edilmiştir.

Yapılan deneyler için, adsorpsiyon dengesinin matematiksel olarak tanımlanmasında Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modelleri kullanılmış, model sabitleri hesaplanarak adsorpsiyon dengesinin her iki adsorpsiyon modeline de uyduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, *Coniochaeta hoffmannii* biyokütlesinin son yıllarda kullanımı giderek artan lityum (I) biyogideriminde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Eylül 2025, 41 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** *Coniochaeta hoffmannii*, Lityum (I), Bal kabağı posası, Biyosorpsiyon

## ABSTRACT

Master Thesis

### UTILIZATION OF *Coniochaeta hoffmannii* BIOMASS IN LITHIUM (I) BIOSORPTION

Yasemin ŞAHBUDAK

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

Advisor: Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY

In this thesis study, the biomass of *Coniochaeta hoffmannii* developed in the hydrolysate obtained from pumpkin pulp was used as a biosorbent in lithium (I) biosorption studies. Key parameters affecting biosorption such as pH (2, 4, 6, 8, 10), initial lithium (I) concentration (0.5, 1.0, 2.0, 2.5, and 3 mg/L), and contact time (0, 5, 15, 30, 45, and 60 minutes) were optimized.

The experimental results showed that the highest lithium (I) biosorption occurred at pH 6, with the maximum biosorption efficiency observed as 22.95% in the presence of 0.61 mg/L lithium (I). It was observed that increasing the initial lithium (I) concentration led to a decrease in biosorption efficiency. In the presence of 1 g/L biosorbent and 3.0 mg/L lithium (I), the biosorption efficiency was determined to be 15%.

To mathematically describe the adsorption equilibrium in the experiments, the Langmuir and Freundlich isotherm models were employed. Based on the calculated model constants, it was determined that the adsorption equilibrium fit both models.

This study demonstrated that the biomass of *Coniochaeta hoffmannii* holds significant potential for lithium (I) bioremoval, an application that has been gaining increasing importance in recent years.

September 2025, 41 pages

**Key Words:** *Coniochaeta hoffmannii*, Lithium (I), Pumpkin pulp, Biosorption

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim süresince tecrübeleriyle her daim yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü) ve sevgili Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarı'ndaki çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu imkânlara ulaşmamıza vesile olan Cumhuriyetimizin kurucusu Ulu Önder Mustafa Kemal ATATÜRK'e sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Yasemin ŞAHBUDAK  
Ankara, Eylül 2025

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

|                                                        |      |
|--------------------------------------------------------|------|
| ETİK.....                                              | i    |
| ÖZET.....                                              | ii   |
| ABSTRACT .....                                         | iii  |
| TEŞEKKÜR .....                                         | iv   |
| SİMGELER DİZİNİ .....                                  | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                  | ix   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                | viii |
| 1. GİRİŞ .....                                         | 1    |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ .....                               | 3    |
| 2.1 Lityumun Genel Özellikleri.....                    | 3    |
| 2.1.1 Lityumun bulunduğu yerler.....                   | 3    |
| 2.1.2 Lityumun elde edilmesi.....                      | 4    |
| 2.1.3 Lityumun kullanım alanları .....                 | 5    |
| 2.1.4 Hava sistemlerinde lityumun kullanımı .....      | 6    |
| 2.1.5 Cam ve seramik alanında lityumun kullanımı ..... | 6    |
| 2.1.6 Batarya ve pilde lityum kullanımı .....          | 7    |
| 2.1.7 Tıp alanında lityumun kullanımı.....             | 7    |
| 2.1.8 Lityumun zararlı etkileri.....                   | 8    |
| 2.2 Arıtma Teknolojileri .....                         | 8    |
| 2.2.1 Fiziksel yöntemler .....                         | 9    |
| 2.2.1.1 Ters osmoz .....                               | 10   |
| 2.2.1.2 İyon değişimi.....                             | 10   |
| 2.2.1.3 Adsorpsiyon .....                              | 10   |
| 2.2.1.4 Elektrodializ .....                            | 11   |
| 2.2.2 Kimyasal yöntemler .....                         | 11   |
| 2.2.2.1 Özütleme .....                                 | 11   |
| 2.2.2.2 Çöktürme .....                                 | 12   |
| 2.3 Biyolojik Arıtma Yöntemleri .....                  | 12   |
| 2.3.1 Biyosorpsiyon .....                              | 12   |
| 2.3.2 Biyobirikim .....                                | 13   |
| 2.4 Adsorpsiyon .....                                  | 13   |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.1 Kimyasal adsorpsiyon .....                                                    | 13 |
| 2.4.2 Fiziksel adsorpsiyon .....                                                    | 14 |
| 2.4.3 İyonik adsorpsiyon .....                                                      | 14 |
| 2.4.4 Adsorpsiyonu etkileyen faktörler .....                                        | 14 |
| 2.4.4.1 Adsorbentin özellikleri.....                                                | 14 |
| 2.4.4.2 Adsorpsiyon ortamının özellikleri .....                                     | 15 |
| 2.4.4.3 Adsorbentler .....                                                          | 15 |
| 2.5 Aktif Karbon .....                                                              | 15 |
| 2.6 Biyosorpsiyon .....                                                             | 16 |
| 2.7 Fungusların Genel Özellikleri.....                                              | 17 |
| 2.8 Mayalar .....                                                                   | 18 |
| 2.9 Ascomycota Şubesinin Özellikleri .....                                          | 18 |
| 2.9.1 <i>Coniochaeta hoffmannii</i> .....                                           | 18 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                                          | 19 |
| 3.1 Materyal .....                                                                  | 19 |
| 3.1.1 Çalışmada kullanılan mikroorganizma kaynağı.....                              | 19 |
| 3.1.2 Çalışmada kullanılan zirai atık kaynağı .....                                 | 19 |
| 3.1.3 Deneylerde kullanılan Lityum (I) stok çözeltisinin hazırlanması.....          | 19 |
| 3.2 Yöntem .....                                                                    | 19 |
| 3.2.1 Biyosorbentlerin üretilmesi ve biyosorpsiyon deneyleri için hazırlanması .... | 20 |
| 3.2.2 Kullanılan zirai atığın ön-muamele işlemi.....                                | 20 |
| 3.2.3 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisi.....                             | 21 |
| 3.2.4 Başlangıç lityum (I) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi .....            | 21 |
| 3.2.5 Farklı zaman aralıklarının biyosorpsiyona etkisi .....                        | 22 |
| 3.3 Analiz Yöntemleri .....                                                         | 22 |
| 3.3.1 Atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (AAS) .....                             | 22 |
| 3.3.2 Biyosorpsiyon veriminin hesaplanması.....                                     | 22 |
| 3.3.3 Biyosorpsiyon ve denge biyosorpsiyon kapasiteleri .....                       | 22 |
| 3.3.4 Araştırmada kullanılan denge modelleri .....                                  | 23 |
| 3.3.5 Freundlich modeli .....                                                       | 23 |
| 3.3.6 Langmuir modeli.....                                                          | 24 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....                                                        | 26 |
| 4.1 Başlangıç pH Değerinin Lityum (I) Biyosorpsiyonuna Etkisi .....                 | 26 |
| 4.1.1 Başlangıç lityum (I) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi .....            | 28 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.2 Lityum (I) biyosorpsiyonunda sürenin etkisi .....                        | 29 |
| 4.1.3 Lityum adsorpsiyonunda denge modellerin kullanılması .....               | 30 |
| 4.1.4 Langmuir denge modellenmesi .....                                        | 31 |
| 4.1.5 Freundlich denge modellenmesi.....                                       | 31 |
| 4.1.6 Lityum (I) adsorpsiyonunun denge modellemesi ve model sabitlerinin ..... | 32 |
| bulunması.....                                                                 | 32 |
| 5. SONUÇ .....                                                                 | 34 |
| KAYNAKLAR .....                                                                | 35 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                  | 41 |



## SİMGELER DİZİNİ

|               |                                                                                                                                                |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| %             | Yüzde                                                                                                                                          |
| $\mu\text{g}$ | Mikrogram                                                                                                                                      |
| b             | Langmuir adsorpsiyon modelindeki adsorpsiyon entalpisi ile ilgili sabit (L/mg)                                                                 |
| $C_0$         | Biyosorpsiyon ortamına eklenen başlangıç derişimi (mg/L)                                                                                       |
| $C_{ad}$      | Herhangi bir anda, adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan bileşen derişimi (mg/L)                                                          |
| $C_{den}$     | Biyosorpsiyon ortamında dengede adsorplanmadan kalan bileşen derişim (mg/L)                                                                    |
| $\text{Cm}^3$ | Santimetreküp                                                                                                                                  |
| dk            | Dakika                                                                                                                                         |
| Gr            | Gram                                                                                                                                           |
| HCl           | Hidrojen klorür                                                                                                                                |
| HMO           | Hidrojen Mangan Oksit                                                                                                                          |
| $K_F$         | Sıcaklığa, adsorbente ve adsorplanan bileşene bağlı olarak, adsorpsiyon kapasitesinin büyüklüğünü gösteren Freundlich adsorbsiyon sabiti       |
| Kg            | Kilogram                                                                                                                                       |
| km            | Kilometre                                                                                                                                      |
| L             | Litre                                                                                                                                          |
| Li            | Lityum                                                                                                                                         |
| LiCl          | Lityum klorür                                                                                                                                  |
| mEq/L         | MiliEkivalan/L                                                                                                                                 |
| ml            | Mililitre                                                                                                                                      |
| $\mu\text{m}$ | Mikrometre                                                                                                                                     |
| n             | Freundlich adsorpsiyon modelindeki adsorpsiyon derecesini gösteren sabit                                                                       |
| nm            | Nanometre                                                                                                                                      |
| NaOH          | Sodyum hidroksit                                                                                                                               |
| q             | Adsorpsiyon ortamında herhangi bir zamanda adsorbentin adsorpladığı bileşen derişimi (mg/L)                                                    |
| $Q_0$         | Langmuir adsorpsiyon modelinde yüzeyde tam bir tek tabaka oluşturmak için, adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarı (mg/g) |
| $q_{den}$     | Dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarı (mg/g)                                                                      |
| $q_m$         | Kurutulmuş bir gram hücredeki maximum lityum (I) miktarı (mg/g)                                                                                |
| $R^2$         | Korelasyon katsayısı                                                                                                                           |
| T             | Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                |
| X             | Adsorbentin çözeltideki derişimi (g/L)                                                                                                         |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Dünyada lityum rezervleri (Bin ton) 2022.....                                                      | 4  |
| Şekil 2.2 Lityumun kullanıldığı alanların yüzdelik dağılımı .....                                            | 5  |
| Şekil 2.3 Uygulama alanlarına göre lityum madencilik dağılımı .....                                          | 6  |
| Şekil 3.1 Kurutulmuş balkabağı kütlesi .....                                                                 | 20 |
| Şekil 4.1 <i>C.hoffmanni</i> hücresinin farklı pH değerlerinde yüzde lityum (I) giderim değerleri .....      | 26 |
| Şekil 4.2 Başlangıç lityum konsantrasyonunun birim biyosorbent kütlesi başına adsorplanma değerleri .....    | 28 |
| Şekil 4.3 <i>C. hoffmanni</i> hücresinin lityum (I) adsorpsiyonunun zamana bağlı olarak değişim eğrisi ..... | 30 |
| Şekil 4.4 Lityum adsorpsiyonunun Langmuir denge grafiği .....                                                | 31 |
| Şekil 4.5 Lityumunun lineerleştirilmiş Freundlich adsorpsiyon denge grafiği.....                             | 32 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 Lityumun kullanıldığı sektörlerin 2010-2021 yılları arasındaki karşılaştırması (Anonim 2021).....                                                                                               | 7  |
| Çizelge 3.1 <i>C.hoffmanni</i> hücrelerine lityum (I) biyosorpsiyonunda farklı başlangıç lityum (I) derişimlerinde elde edilen en yüksek birim biyosorbent başına adsorplanan lityum (I) %'de miktarı ..... | 28 |
| Çizelge 3.2 <i>C. hoffmanni</i> hücrelerine lityum (I) biyosorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerinden elde edilen model sabitleri.....                                                  | 33 |



## 1. GİRİŞ

Dünya’da her geçen gün artan küresel ısınma sera gazlarının artışıyla birlikte endişe verici düzeylere ulaşmaktadır. Sera gaz seviyelerinin artışı petrol türevi artıklar önemli bir etkiye sahiptir. Bu artan gaz seviyesi dünyanın sıcaklığının artmasına neden olmakla birlikte ileride kontrol edilmesi zor düzeye ulaşacağı düşünülmektedir. Fosil kaynak kullanımları, arabaların egzozundan çıkan zararlı gazlar, ormanların yok edilmesi, endüstriyel atıklar sera gazı etkisinin artmasına neden olan birkaç faktörden biridir (Bradley vd. 2017).

Yakın bir gelecekte gerekli önlemler alınmazsa dünyayı bekleyen sonuçlar ise aşırı sıcaklık artışıyla birlikte gelişen orman yangınları, buzulların erimesiyle oluşacak olan seller doğal ekolojik dengenin bozulmasına neden olacaktır. Bilim insanları dünyayı tehdit eden bu durum karşısında alternatif enerji kaynakları elde etmeye yönelmiştir. Bu enerji kaynaklarından biride her yıl popülaritesini artıran lityum metali yer almaktadır. Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler teknolojik ürünlere olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Birçok teknolojik üründe lityum kullanılması ve lityum metalinin diğer teknolojik ürünlere nazaran çevre dostu olması gibi olumlu birçok özelliğinin bulunması son yıllarda lityuma olan talebin artmasının en büyük nedenlerindendir (Zhang vd. 2022). Uçak, bilgisayar pilleri, elektrikli araçların bataryalarında, diş implantlarında ve daha birçok alanda lityum kullanımı bulunmaktadır.

Endüstride kullanılan malzemeler, ilerleyen teknoloji ve insan popülasyonunun her geçen gün artması çevre kirliliğindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Çevre kirliliğindeki bu artış ekolojik dengeyi günden güne bozmaktadır (Martinez vd. 2014).

Fabrikalardan atılan zararlı atıklar, arıtılmamış atık tarım suları, santraller, ekolojik çevrede sorunlara neden olmaktadır. Bu atıklardan biride Lityum (I) elementidir. Lityum (I) elementinin en sık elde edildiği yerler cevherlerdir. Son yapılan çalışmalarda tuzlu sular-  
dan da lityumun elde edilebileceği görülmüştür. Bu durumun gelecekte lityum bulma açığının azalmasına neden olacağı düşünülmektedir (Wang vd. 2017).

Lityumun endüstri alanlarında, uçak yapımında, sağlık alanından oldukça fazla kullanılmaktadır. Dünyanın lityum sayesinde ileriye gideceği ön görülmektedir. Lityumdan yapılan pillerin birçok alanda kullanılıyor olması kendisine olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Lityumun 2025 yılında üretiminin %66 oranında artacağı düşünülmektedir (Wang vd. 2018).

Hızla artan tüketimle birlikte kirliliklerde artış göstermektedir. İnorganik ve organik olarak atık sularda oluşan kirlilik ikiye ayrılmaktadır. İnorganik kirlilik canlı organizmalarda birikebilmektedir. Fenoller, pestisitler, hidrokarbonlar ise organik kirleticiler olarak adlandırılmaktadır (Wang vd. 2017). Çeşitli yöntemlerden faydalanarak bu kirlilikler giderilebilmektedir. Ters osmoz, fiziksel yöntemler, çöktürme, iyon değişimi gibi yöntemlerle metaller ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemler arasında ekonomik avantajları ve alınan verimin daha fazla olmasından dolayı en çok adsorpsiyon yöntemi tercih edilmektedir (Ramrakhiani vd. 2017).

Arjantin, Güney Amerika ve Şili dünyada lityumun en çok görüldüğü ülkeler arasında gelmektedir (Jeong vd. 2015). Türkiye’de lityum ticari olarak kullanılsa da en çok tuz gölünde bulunmaktadır (Ulusoy 2016).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1 Lityumun Genel Özellikleri

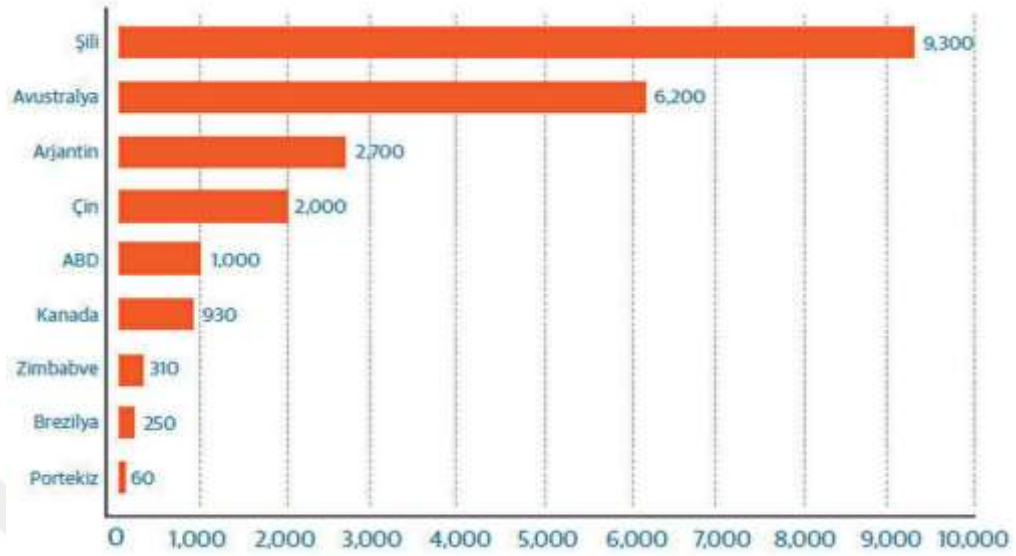
Lityum 1A grubunda bulunan atom numarası 3 olan en hafif metaldir. Hafif özelliğinden dolayı roket ve askeri mühimmatta kullanılmaktadır. Yumuşak parlak ve beyaz renktedir. Havadaki azotla reaksiyona girebilen tek metaldir. Yoğunluğu  $0.532\text{g/cm}^3$  tür. Yoğunluğu sudan çok düşük olduğu için su yüzeyinde kolayca yüzebilmektedir. Havadaki oksijen ile kolayca reaksiyona girer bundan dolayı gümüşümsü rengi kısa sürede kararır. Kolayca reaksiyona girebilme özelliğinden dolayı yağ içinde saklanmaktadır. Lityum yüksek enerji depolama özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı son yıllarda elektrikli araç üretiminde ve aynı zamanda dizüstü bilgisayar pillerinde, bataryalarda kullanılmaktadır. Bazı metallerle Li-Al, Li-Mg gibi alaşımlar oluşturabilir. Kristal yapısı kübik şeklindedir. Geniş sıcaklık değerlerine sahiptir. Lityum alevleri zor söndürülür bundan dolayı söndürmek için özel kimyasallar kullanılmaktadır (Jeppson vd. 1978)

#### 2.1.1 Lityumun bulunduğu yerler

Lityum yaklaşık 145 farklı mineralin içinde bulunmaktadır. En fazla spodümen cevherinden lityum elde edilmektedir. Lityum spodümeninden lityum metali ve lityum karbonatı sağlanmaktadır. Lityum metali daha çok ilaç ve plastik sektöründe kullanılmaktadır. Lityum karbonat ise oldukça fazla lityum içerdiği için ekonomik değeri diğerlerine göre daha fazladır.

Lityum tuz yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde bulunmaktadır. Genel anlamda %60 oranında tuzlu sulardan lityum elde edilmektedir. 2010 yılından günümüze kadar lityum kaynakları bulmak için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. %60'ın üstünde lityum üretimi Şili'den karşılanmaktadır. Yüksek tedarik sağlayan ülkeler arasında Çin ve Arjantin gelmektedir. Bu oran sırasıyla %20 ve %14'tür. Avustralya'da bulunan spodümeninden üretilen lityum miktarı ise %85 oranındadır (Talens vd. 2013).

Dünyada lityum rezervlerinin dağılımına ilişkin grafik Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Dünyada lityum rezervleri (Bin ton) 2022 (Anonim 2023)

### 2.1.2 Lityumun elde edilmesi

Tuzlu göl ve denizlerden yüksek oranlarda lityum elde edilebilmektedir. Su kaynaklarında bulunan lityumu geri kazanmak için birçok yöntem ve teknoloji kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin arasında en çok kullanılan güneş enerjisini kullanarak buharlaştırma yöntemiyle lityum geri kazanımıdır. Birkaç aşama ve ay süren bu işlemde  $MgCO_3$ ,  $NaCl$ ,  $Mg(OH)_2$  ve  $Li_2CO_3$  kristalleştirilir ve çöktürme yapılır (Xu vd. 2016).

Diğer kullanılan yöntem ise çözücü ekstraksiyondur. Ortamda çok az miktarda bulunan  $Mg/Li$  varlığında dipivaloylmetan yardımıyla sulu ortamda bulunan lityum geri kazanılır (Xu vd. 2016).

Lityumun geri kazanımındaki diğer bir yöntem ise çöktürme prosesidir. pH derecesi asite ayarlanarak ortama  $AlCl_3$  ilave edilerek lityum alüminyum hidroksit elde edilmektedir (Xu vd. 2016).

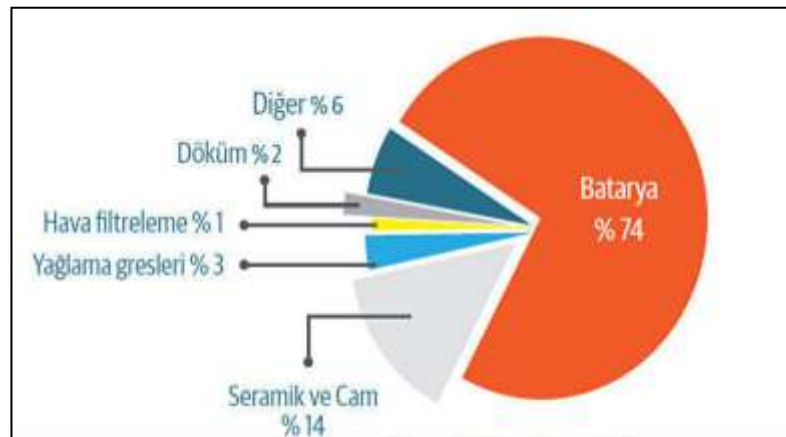
Hidrometalurjik yöntem ise iki aşamaya sahiptir. Yüksek oranlarda sülfat ve magnezyum içeren tuzlu sulardan güneş enerjisi yardımıyla  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  çökeltme işlemidir. Buharlaştıran tuzlu suya kireç ilave edilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ekipmanların ilave edilen bu maddelerden dolayı zarar görmesidir (Xu vd. 2016).

Hidrojen mangan oksit (HMO) aracılığıyla adsorbe edilmiş olan lityum geri kazanılmaktadır. HMO tekrar lityum geri kazanımında kullanılmaktadır. Katyonlar ile karşılaştırma yapıldığında HMO'nun oldukça etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Lee vd. 2017).

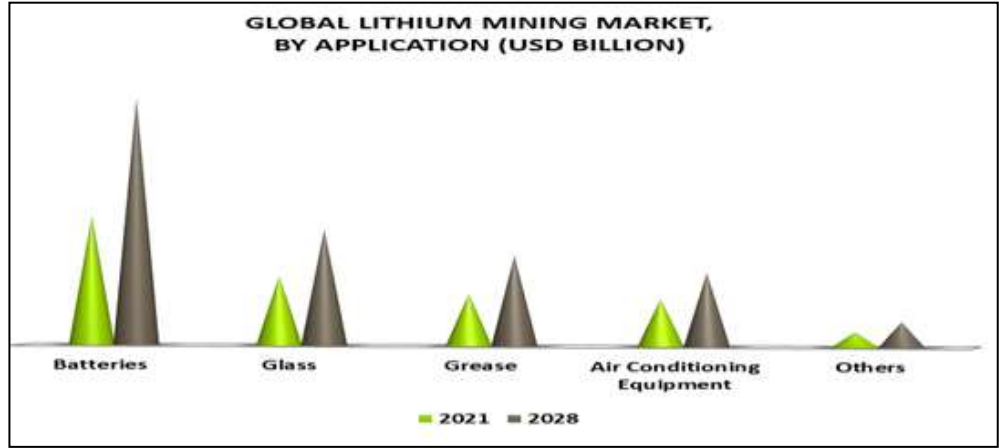
Lityum iyon elekleri ise lityum geri kazanımında oldukça verimli ve yeni bir yöntemdir. LIS adı verilen bu yöntemde  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  iyonlarına sahip çözeltielerden geri kazanım sağlanmaktadır. Bu yöntemde lityum oldukça saf bir şekilde elde edilmektedir. Bu konuda araştırmalar devam etmektedir (Lee vd. 2017).

### 2.1.3 Lityumun kullanım alanları

Lityumun farklı endüstri alanlarında kullanımı bulunmaktadır. Lityum ilaç sektöründe, dizüstü bilgisayarlarda, pillerde, bataryalarda, elektrikli araçların yapımında, hava sistemlerinde, akıllı telefonlar, cam-seramik ve gres yağlarda oldukça fazla kullanılmaktadır (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3, Çizelge 2.1).



Şekil 2.2 Lityumun kullanıldığı alanların yüzdelik dağılımı (Anonim 2021)



Şekil 2.3 Uygulama alanlarına göre lityum madencilik dağılımı (Anonim 2023)

#### 2.1.4 Hava sistemlerinde lityumun kullanımı

Son yıllarda hava arıtma sistemlerinde lityumun kullanımı, küresel anlamda lityuma olan ilgiyi arttırmıştır. Hava arıtma sistemleri birçok yerde kullanılmaktadır. Alışveriş merkezleri, hastaneler, uzay araçları ile madencilik bu alanlara örnek verilebilir (Anonim 2023) (Şekil 2.3).

#### 2.1.5 Cam ve seramik alanında lityumun kullanımı

Bu alanda lityumun kullanılmasının en büyük nedeni erime sıcaklığını ve vizkoziteyi düşürebilme özelliğine sahip olmasındandır. Bu sıcaklık  $+25^{\circ}\text{C}$ 'leri bulmaktadır. Alaşımlara lityumun eklenmesi cam ve seramiklerin daha güçlü olmasını sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı araçların camlarında, mutfaklarda kullanılan bazı eşyalarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda lityum oksitler erime sıcaklığını düşürürken %5 ile %10 arasında değişen enerji kullanımını azaltırlar. Ayrıca cilalama ve renklendirme aşamalarında da kullanılmaktadırlar (Johns ve Mcfarland 1996).

Çizelge 2.1 Lityumun kullanıldığı sektörlerin 2010-2021 yılları arasındaki karşılaştırması (Anonim 2021)

| End-use             | Lithium Consumption 2010 (%) | Lithium Consumption 2021 (%) |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| Batteries           | 23%                          | 74%                          |
| Ceramics and glass  | 31%                          | 14%                          |
| Lubricating greases | 10%                          | 3%                           |
| Air treatment       | 5%                           | 1%                           |
| Continuous casting  | 4%                           | 2%                           |
| Other               | 27%                          | 6%                           |
| Total               | 100%                         | 100%                         |

### 2.1.6 Batarya ve pilde lityum kullanımı

Karbon ayak izini azaltmak ve hidrokarbon yakıtların dezavantajlarından kurtulmak ve artan maliyetleri azaltmak için alternatif lityum bataryalar üretilmiştir. Bu bataryalar elektrikli araçlarda, dizüstü bilgisayarlarda, taşınabilir hesap makineleri ve benzeri alanlarda kullanımı mevcuttur. Son yıllarda elektrikli, hibrit özelliğe sahip arabalarda kullanımı oldukça artmıştır. 600 km mesafeyi elektrikli araçla yeniden şarj etmeden gitmek için 7.5-16 kg lityum karbonat gerektiği belirtilmektedir. Elektrik kullanımının bu teknolojik gelişmelerden sonra oldukça fazla artacağı düşünülmektedir. Bu da elektrik fiyatlarının eskiye oranla çok daha yüksek olacağını ve bu artışla birlikte petrol türevi yakıtların fiyatının düşeceği öngörülmektedir. Bu düşüşle birlikte, hidrokarbon türevi yakıtların tekrar talep görebilme ihtimali olduğu belirtilmektedir (Goonan 2012).

### 2.1.7 Tıp alanında lityumun kullanımı

Lityumun tıp tarihinde tedavi amacıyla kullanılmaya başlandığı 18. yüzyılda nadir olarak görülen gut hastalığında tedavi edici olacağı düşünülerek kullanılmıştır. Garrod her ne kadar bu teorisinde yanlış karar vermiş olsa bile tıp tarihinde lityumu tedavi amacıyla kullanılabileceğini söyleyen ilk hekim olmuştur. 19. yüzyılın yarısında Carl ve Fritz Lange lityumu depresyon tedavisinde ilk defa kullanmışlardır. John Cade 1949 yılında lityumun gerçek anlamda dindirici bir etkisinin olduğunu bulmuştur. Mogens Schou ise duyguları dengede tutabildiğini doğrulanmıştır (Bourgeois ve Masson 2017).

### 2.1.8 Lityumun zararlı etkileri

Manik depresyon tedavisinde lityum terapötik olarak kullanılmaktadır. Bireyler arasında tolerans farklılık göstermesine rağmen, lityumun hafif zehirli özelliği bulunmaktadır. Lityum (I) içeriği 100 mg/L ve daha üstüne çıktığı durumlarda toksik bir etki yaratmaktadır. Yaklaşık olarak yeraltı sularında 3 mg/L, deniz suyunda 0.17 mg/L, tatlı ve tuzlu sularda ise 1-10 mg/L arasında lityum (I) bulunmaktadır (Aral ve Sadus 2008).

Yüksek konsantrasyonlardaki lityum (I) gravitropik ve kök gelişimini etkilediği, değiştirdiği görülmüştür. Yapılan araştırmalarda kalsiyum ve inositol döngüyü engellediği bulunmuştur (Shahzad vd. 2016).

Bazı bitki türleri lityumu çok düşük seviyelerde olsa bile adsorplama yeteneğine sahiptir. Lityum miktarının yüksek olduğu toprakların bitkiler için tehlikeli olduğu görülmüştür (Mulkey 2005).

Son yıllarda artan teknolojik ürünlerde özellikle araba ve bilgisayarların pil ve bataryalarında lityum kullanılmaktadır. Bu durum, ekosistem için olumsuz bir etki yaratmaktadır (Hartono vd. 2017).

### 2.2 Arıtma Teknolojileri

Son yıllarda endüstriyelleşme ile birlikte atık kirliliği giderek artmaktadır. Özellikle çevreye yayılan sanayi atığı metaller, doğrudan su kaynaklarına, toprağa karışarak ekosistemi ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Liu vd. 2023). Lityum elementi yer kabuğunun yapısında %0.0017 oranında doğal olarak bulunmaktadır (Lopes vd. 2022). Enerji depolama teknolojilerinin %80-85'lik kısmını, lityum iyon batarya teknolojileri kapsamaktadır. Türkiye son yıllarda batarya üretimi konusunda önemli adımlar atmıştır. (Aksoy 2023). Bu durum, ilerde lityuma daha çok ihtiyaç duyulacağını ve daha çok sanayi atığının çevreye zarar verebileceğini göstermektedir. Bu sanayi atığı metallerin neden olduğu çevre kirliliğini en aza indirmek amacıyla fiziksel veya kimyasal birçok yöntem

uygulanmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin dezavantajı pahalı ve ikincil kirlilik meydana getirmesidir (Ertuğrul vd. 2009). Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin dezavantajlarından dolayı son yıllarda biyolojik yöntemler ile giderim ön plana çıkmaktadır. Biyolojik yöntemler; etkili bir arıtmaya sahip olmaları, maliyetlerinin daha düşük olması, basit yöntemler kullanılması, ikincil olarak kirlilik riski taşımaması gibi benzeri avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Biyoremediasyon, metal atıklardan dolayı kirlenmiş olan su ya da toprağın mikroorganizmalar yardımıyla temizlenmesi yöntemidir. Biyoremediasyon yönteminde ekosisteme zararlı etkisi olan kimyasal bileşikler, çevreye zararsız hale getirmek için funguslar, bakteriler, algler ve benzeri organizmaların biyolojik süreçleri kullanılmaktadır (Vural vd. 2018).

Sanayi atıkları ile oluşan çevre kirliliği, hızlı gelişen teknolojiyle birlikte son yıllarda artış göstermektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, artan metal kullanımının çevreye olan zararıdır. Son yıllarda metal kullanımının başında lityum metali gelmektedir. Lityumun birçok avantajlı özelliği ile kullanımının artması, beraberinde çevreye zararlı atıkların oluşmasına neden olmaktadır.

Metal iyonları toksik düzeye ulaştığında oksidatif stres yaratmaktadır. Buna bağlı olarak metabolik olaylarda bu toksik düzey çeşitli hasarlara neden olabilmektedir (Malik vd. 2019).

Metal iyonlarının giderimi için 3 ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar biyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerdir.

### **2.2.1 Fiziksel yöntemler**

Metal iyonların giderimi için kullanılan fiziksel yöntemlerin başında ters osmoz, iyon değişimi, adsorpsiyon ve elektrodializ gelmektedir.

### **2.2.1.1 Ters osmoz**

Bu yöntem yük ve boyutuna göre ayırmaya dayanır. Gözenekleri 0.1 ile 1.0 nm arasında değişen yarı geçirgen zar yardımı ile sadece suyu geçirerek gerçekleşir. Özellikle, daha çok tuzdan ayırıştırma için kullanılan bir yöntemdir. Ters osmoz etkileyen koşullar ortamın pH aralığı, basınç, membranın özellikleri ve zarların boyutlarıdır. Ayrıca, metal giderimlerinde ters osmoz kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise çok fazla enerjiye ihtiyaç gerektirmesidir (Carolin vd. 2017).

### **2.2.1.2 İyon değişimi**

İyon değişimi yöntemi çok az miktarda bile olsa istenmeyen iyonlar ile zararlı olmayan iyonların yer değiştirmesine dayanan basit bir yöntemdir (Dabrowski vd. 2004). Oduka yaygın olarak kullanılan bu yöntemde katı, sıvı maddeler arasında zıt yönlü iyon değişimi gerçekleşir. Elektrostatik yük yardımıyla çözeltide bulunan katı maddelerin yüzeyindeki fonksiyonel gruplar yüzeye geçmektedir. Metalleri ortamdan geri kazanmak ya da ortamdan uzaklaştırmak içinde kullanılabilir. Elektrostatik çekimle yapısal olarak aynı kalan maddenin iyonları serbest bırakması yöntemidir (Kurniawan vd. 2006).

### **2.2.1.3 Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon ana başlıklar olarak incelendiğinde üçe ayrılmaktadır. Fiziksel, kimyasal, iyonik adsorpsiyondur.

Bu yöntem öncelikle katı yüzeydeki uzaklaştırılması istenen maddenin veya adsorbantın, sıvı çözeltiden ayrıştırılması işlemidir (Abidin-Bazaine vd. 2022). Özellikle içme sularında oluşan kötü koku ve tada neden olan kirleticilerin sudan arıtımında oldukça sık kullanılır. Diğer yöntemlere göre maliyeti, işlem sonrasında alınan verim ve basit olması bakımından daha avantajlı bir yöntemdir. Adsorbantlar veya sıvıların içinde çözünebilen maddeler katı yüzeylere tutunmaktadır (Pourhakkak vd. 2021).

#### **2.2.1.4 Elektrodializ**

Elektrodializ (ED), elektrik potansiyel farkı kullanarak iyonize olmuş mineral ya da organik türleri genel olarak yüklü molekülleri birbirinden ayıran bir yöntemdir. Bu yöntemin büyük amacı, atık suyla birlikte yan ürünleri ayırmak için kullanılmasıdır. Konvansiyonel, selektif, bipolar membran, elektrodializ reversal çeşitleri bulunmaktadır. Bu sistemler sayesinde yan ürünlerin ve suyun tekrar tekrar kullanılmak üzere geri kazanımları sağlanmış olmaktadır (Cournover vd. 2023). Potansiyel fark sayesinde iyonlar anyonlar ve katyonlar olarak ayrılabilir. Elektrodializ işlemini etkileyen faktörler voltaj, iyon akış hızı, akımın yoğunluğu, sistemin dirençli olmasıdır. Ortamda farklı metal iyonları bulunuyorsa membran yüzeyine tutundukları için verimi düşürmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı yüksek enerji maliyetinin olmasıdır (Yücel 2017).

#### **2.2.2 Kimyasal yöntemler**

Yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler özütleme ve çöktürmedir. Genellikle sulu çözeltilerin de içinde bulunan metal iyonların geri kazanımı ve giderimlerinde kullanılmaktadır.

##### **2.2.2.1 Özütleme**

Metal iyonunu başka bir ayrıştırıcı kullanarak bulunduğu ortamdan ayrılma işlemidir. Madenin içerisinde bulunan ayrıştırılmak istenen iyonlar ayrıştırılmadan önce sulu bir çözelti içerisinde çözülür. Organik çözücülerle metal iyonları ayrıştırılabilir (Yun vd. 1993). Bu yöntemde çözücü yardımıyla metal iyonları ortamdan ayrılmaktadır. Eğer metal katı bir maddenin içerisindeyse o madde ilk olarak sıvı bir çözeltide çözünür. Metal iyonları organik çözücü yardımıyla katı maddeden ayrılır (Mo vd. 1984).

### **2.2.2.2 Çöktürme**

Çöktürme yöntemi ile metal iyonların ayrılması işlemi için değeri yüksek metallerin nötrale edilmesi ya da indirgenmiş olan metallerin yükseltgenerek çözelti oluşturulması, bir başka işlemde oluşan atıkların nötr hale getirilmesine dayanmaktadır. Hangi yöntemin kullanılacağı metal iyonlarının türüne göre belirlenmektedir. Ara işlemler olan filtrasyon, sedimantasyon ve havalandırma işlemleri yine bu yöntemde kullanılmaktadır. Çöktürülmek istenen metal iyonları çözeltiden bu şekilde ayrıştırılmaktadır. Ucuz ve kolay olması bu yöntemin avantajıdır. Atık olarak çamurun çok fazla olması bu yöntemin dezavantajıdır (Yücel 2017).

## **2.3 Biyolojik Arıtma Yöntemleri**

Metal iyonlarını sıvı çözeltilerden ayırmak için kullanılan en sık kullanılan yöntemler biyobirikim ve biyosorpsiyon yöntemleridir.

### **2.3.1 Biyosorpsiyon**

Sulu çözeltiler içinde bulunan zararlı maddelerin, cansız veya canlı organizmalar kullanılarak ayrıştırılması işlemidir. Bu yöntem çevreye zarar vermediği için oldukça tercih edilmektedir (Lee vd. 2022). Biyosorbentin içeriğinde bulunan fonksiyonel gruplar istenmeyen madde ile etkileşime girerek sıvı fazdan ayrıştırılır (Thirunavukkarasu vd. 2021).

Bu yöntem ortamın içinde bulunan katyon iyonlarının biyosorbentin hücre yüzeyinde bulunan negatif yüke sahip fonksiyonel gruplar olan karboksil, fosforil, hidroksil gruplar ile adsorpsiyon gerçekleştirmektedir. Bu fiziksel işlem metallerin yapılarındaki özelliklere göre daha kararlı bağlanma gerçekleştirebilmektedir (Prasad vd. 2005).

### 2.3.2 Biyobirikim

Organik bileşiklerin ve metal iyonların sıvı faz içerisinde çözünmüş halleri ortamda bulunan canlı hücrelerin zarlı yapılarından geçebilmektedir. Hücre içi ve dışındaki yoğunluk farkından dolayı gerçekleşen bu işlem pasif difüzyon yardımıyla gerçekleşmektedir. Enerji harcanarak aktif taşıma yardımıyla hücre içerisine alınan besin maddeleriyle birlikte hücre içerisine bu maddeler giriş yapabilmektedir. Hücrenin içine geçebilen bu maddeler kararlı bir bağlanma gerçekleştirmediyse yeniden hücre dışına çıkabilmektedir. Hidrofobik özellikteki bir madde canlı hücre içerisine girdiğinde hücre içerisinde daha uzun kalabilmektedir (Kargı vd. 1993, Goodyear vd. 1999).

Biyobirikimi etkileyen faktörler arasında ortamda bulunan canlı hücre miktarı, ortamın pH derecesi, canlının hangi tür olduğu ve yapısal özellikleri yer almaktadır. Hücre olgunlaşma ve büyüme gösterdikçe yüzey alanı da genişlemektedir. Bu durum biyobirikimi arttırmaktadır. Sıcaklık ve pH optimal aralıklardayken hücre olgunlaşma ve büyüme gösterirken optimal koşullardan uzaklaşıldıkça üremelerinde azalma meydana gelmektedir (Kargı vd. 1993).

### 2.4 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, sıvı çözeltiler içerisinde bulunan maddelerin adsorbentin yüzeyine tutunmasıdır. Kimyasal, fiziksel ve iyonik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Sıvı çözeltinin yapısı, çözelti içerisinde bulunan maddenin organik yapısı, adsorbent yüzeyinin özellikleri adsorbent ile bileşenin birbiriyle etkileşimini etkilemektedir.

#### 2.4.1 Kimyasal adsorpsiyon

Çözelti içinde absorbente, kovalent bağlarla bağlanan adsorpsiyon çeşididir. Bu adsorpsiyon çeşidinde adsorbe edilen madde adsorbentin aktif bölgelerine tersinmez ve kararlı olarak bağlanmaktadır (Bajpai vd. 1999). Sıcaklık yükselmesi kimyasal adsorpsiyonu etkilemektedir (Yücel vd. 2020).

### **2.4.2 Fiziksel adsorpsiyon**

Katı madde ile adsorplanan bileşik arasında adsorpsiyon işlemi sırasında hidrojen bağı ya da Van der Waals bağı oluşmaktadır. Bu adsorpsiyon işlemine fiziksel adsorpsiyon denilmektedir. Bu grup adsorpsiyonda katı maddenin içerisine girmeden yüzey kısmında katmanlı olarak adsorbe edilen madde birikimi olmaktadır. Adsorbent sonrasında kendini kolaylıkla yenileyebilmektedir. Diğer mekanizmalarla karşılaştırıldığında daha az enerji harcanmaktadır (Yücel vd. 2020).

### **2.4.3 İyonik adsorpsiyon**

Bu adsorpsiyon tipinde iyonik özelliğe sahip olan maddeler elektrostatik çekim yardımıyla adsorbentin yüzeyine tutunmaktadırlar. Bu işlemler sırasında adsorbe edilen bileşenler tekrar geri yer değiştirebiliyorsa bu duruma iyon değişimi adı verilmektedir.

Bu işlemde adsorplanan bileşenin yapısal özelliği, çözeltinin pH değeri, adsorpsiyon yapılan madde ile adsorbent arasında kurulan kuvvet alınan verimi etkilemektedir (Bajpai vd. 1999).

### **2.4.4 Adsorpsiyonu etkileyen faktörler**

Bu işlemi etkileyen faktörlerin işlemin hızını, verimini, adsorbe edilen madde miktarını doğrudan etkilediği görülmektedir.

#### **2.4.4.1 Adsorbentin özellikleri**

Adsorbentin yüzey alanında bulunan gözenek yapıları bu gözeneklerin büyüklüğü, gözeneklerin türü, adsorbentin sahip olduğu fonksiyonel grupların işlemin gerçekleşme hızını ve miktarını etkilediği gözlenmiştir. Fazla gözenek miktarı, adsorbentin sahip olduğu boyut gibi özelliklerin doğrudan yapılan işlemin verimliliğini arttırdığı bulunmuştur.

#### **2.4.4.2 Adsorpsiyon ortamının özellikleri**

Çözeltinin pH değeri, ortamda bulunan diğer bileşenler, çalkalama hızı ve ortam sıcaklığının adsorpsiyona önemli etkisi bulunmaktadır. pH aralığı doğrudan ortamda bulunan  $H^+$  iyonlarının miktarındaki değişimi göstermektedir. Fiziksel adsorpsiyonda ortaya çıkan ısı yoğunlaşma ısıdır olurken, kimyasal adsorpsiyonda çıkan bu ısı tepkime ısı olarak bilinmektedir. Sıcaklık artışı mekanizma için ters etki yaratmaktadır. Sıcaklık arttıkça adsorpsiyonda düşüş gözlenmektedir. Ortam adsorbe edilmek istenen bileşen dışında başka bileşenlerde bulunuyorsa adsorpsiyonu bazı durumlarda olumlu bazı durumlarda ise olumsuz etkilemektedir. Çalkalama hızı çözelti içerisinde bulunan maddenin adsorbente bağlanmasına doğrudan etki etmektedir.

#### **2.4.4.3 Adsorbentler**

Adsorpsiyondan maksimum fayda sağlamak için adsorbentin adsorpsiyon ile ne kadar uyum sağlayacağına bakılması gerekmektedir. Bu işlem için alümina, silika, killeri ve zeolitler sık olarak kullanılmaktadır. Elektrostatik etkileşimde yüzey yüklerinin birbirinden farklı olması işlemi kolaylaştırmaktadır. Adsorbentin adsorplanmak istenen maddeyi alabilmesi için gözenek sayısı, adsorbent yüzeyinin alanı ve gözenekli yapısı yüksek verimle işlemin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Adsorbentler tercih edilirken adsorbe edilen maddelerin geri desorpsiyonunda kolayca yapılabilmesine dikkat edilmektedir. Geniş çaplı endüstrilerde adsorbent kullanımı maliyeti düşünülerek tercih edilmektedir (Pollard vd. 1992).

### **2.5 Aktif Karbon**

Adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması, gözenek sayısının fazla olması, dayanıklı bir yapıya sahip olduğu için aktif karbonlar adsorbent olarak en fazla tercih edilenlerdendir. Aktif karbonların yapısı granüler veya toz yapıda olabilmektedir. Çözelti içerisinde çözülmüş halde bulunan bileşenler gözenek ve ağısı yapıları sayesinde oldukça verim olarak işlem gerçekleştirilmektedir. Ekonomik olarak düşük maliyet sağlamasından

dolayı adsorpsiyon işleminde kullanılan aktif karbon maddesi atık maddelerden sağlamak oldukça önemli olmaktadır (Largitte vd. 2016, Aksu ve Yener 2001).

## 2.6 Biyosorpsiyon

Biyolojik yapıya sahip cansız veya canlı mikroorganizmaların çözeltiler içerisinde bulunan bileşenleri absorbe edebilme işlemidir. Biyosorpsiyon yönteminin maliyeti oldukça düşüktür. Organik veya inorganik maddelerin hem kazanılmasından hem de gideriminde kullanılan bir yöntemdir (Iskandar vd. 2011). Bu yöntemde atıklar mayalar, algler, küfler ve bakteriler kullanılarak ortamdan uzaklaştırılmaktadır. (Nilanjana vd. 2008).

Canlı olmayan mikrororganizmalarla gerçekleştirilen bu yöntemde metabolik işlemler haricinde çözelti içinde bulunan iyonlar hücrenin yüzey alanına tutunarak işlemi gerçekleştirmektedirler. Ligandlar hücre yüzeyinde bulunduğu için metal iyonları ile etkileşime geçebilmektedir. Bu işlem hem canlı hem de cansız hücrelerce gerçekleştirilebilmektedir. Cansız hücrelerde meydana gelen herhangi bir metabolik olay olmaması, canlının hayatta kalması için ortama ilave edilmesi gereken besin maddesi bulunmaması biyosorpsiyon işlemini kolaylaştırmaktadır. Cansız hücrelerle gerçekleştirilen bu işlemde hücreler uzun süre saklanabilmektedir. Her işlemden sonra kendini yenileyebildikleri için birçok defa kullanılmaktadırlar (Yücel vd. 2017).

Metal iyonları hücrelerin yüzeyine elektrostatik etkileşimler, çöktürme, iyonların değiş tokuşu, Van der Waals bağları ile bağlanmaktadır. Adsorplanmanın büyüklüğü hücre yüzeyinin metal iyonları ile olan uyumuna, hücrenin özelliklerine, çözeltinin içeriğine göre farklılık göstermektedir.

Hücrenin hidrofobik yapısı, fonksiyonel gruplar, hücrenin yüzeyinde bulunan yükler metal iyonlar ile hücre arasında etkileşimi göstermektedir (Bogacka vd. 2010).

## 2.7 Fungusların Genel Özellikleri

Ticari olarak kullanılan kimyasal maddelerin üretimlerinde, ekosistemlerde ayrıştırıcı olarak görev almalarında ve fermantasyon yapma özelliklerinden dolayı uzun yıllardan beri funguslar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Funguslar, ekonomi, tıp, ekoloji ve birçok alanda kullanılan oldukça önemli bir canlı türüdür (Madigan vd. 2017). Funguslar heterotrofik yapıya sahiptir. Ökaryotik özellikte olup, protein ve enzim salgılayabilmektedirler. Farklı mantar türleri laktik asit, proteaz, lakkaz, karoten gibi enzimleri ve bileşenleri üretebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, ortamdaki ağır metalleri temizleyebilir, çevre kirliliğinde ve endokrin sistemde kullanılabilmektedir (Ortiz vd. 2016).

Fungusların polisakkarit yapılı hücre duvarları şekil ve destek sağlamaktadır. Yapılarında N-asetilglukosaminden oluşan kitin bulunmaktadır. Kitin tabakası polisakkarit yapıda olup azot içermektedir (Wang ve Chen 2009).

Atık kirli suların arıtılmasında fungusların yaygın olarak kullanılmasının nedeni hücre duvarlarında bulunan bileşenlerin metal bağlama özelliğine sahip olmasıdır. Bundan dolayı adsorpsiyonda biyosorbent olarak kullanılmaktadırlar. Selüloz benzeri yapılar miktofibiller, glukanlar olan kitosan, galaktosan hücre duvarının yapısında bulunmaktadır. Yapılan akademik çalışmalar ve sınıflandırma yapılırken hücre duvarının biyolojik yapısı göz önünde bulundurulmaktadır. Metal iyonlarını rahatça hücre duvarına bağlayabilmesindeki en önemli neden hücre duvarının yapısında bulunan fonksiyonel gruplar olan sülfat, fosfat, amino, karboksil gruplarıdır (Abdel-Ghani ve El-Chaghaby 2014, Javaid vd. 2011).

Geri kazandırdıkları inorganik ve organik bileşenlerden dolayı ekolojik öneme sahiptirler (Vendruscolo vd. 2017).

## 2.8 Mayalar

Mayalar uzun yıllardır sağlık, gıda gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşılar, proteinler, enzimler mayalar kullanılarak elde edilmektedir. Mayalar biyosorpsiyon ve biyogiderimde günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaya devam edilmektedir.

Mantarların en önemli kısmını mayalar meydana getirmektedir. Tek hücreli yapıda polisakkaritlerden oluşan hücre duvarına sahiptirler. Hücre duvarına, sitoplazmik zara ve periplazmik yapıdan oluşmaktadır (Bzducha vd. 2012). Genellikle bölünerek ve tomurcuklanarak ürerler (Walker vd. 1998).

## 2.9 Ascomycota Şubesinin Özellikleri

En geniş mantar şubesi ascomycota tomurcuklanan mayaları, filamentli mantarları, fisyon mayalarını kapsar (Zhang vd. 2023). Nitrojen ve karbon döngülerinde rol oynarlar (Shen vd. 2020).

### 2.9.1 *Coniochaeta hoffmannii*

*Ascomycota* şubesinde *Coniochaetaceae* familyasına ait filamentli yapıya sahip bir küf mantarıdır. Lignozelülozik yapılarda yaşayabilen çürümeye sebep olan *Ascomycota*'dır. Ağaç kavuklarında, kopmuş yapraklarda, çürükçül topraklarda rahatça üreyebilmektedir. Ahşap özelliğine sahip maddelerin ayrılması sonucu ortaya çıkan fenolikler, aril alkolleri kullanabilmektedir. Selülaz ve ksilanazda ayrışmaya yardımcı olur. İnce hifleri yardımı ile ahşap zemin yüzeyini kaplar (Leonhardt vd. 2018).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal**

##### **3.1.1 Çalışmada kullanılan mikroorganizma kaynağı**

Yapılan tez çalışmasında *C. hoffmanni* Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan alınarak kullanılmıştır (Karatay vd. 2019).

##### **3.1.2 Çalışmada kullanılan zirai atık kaynağı**

Çalışmada kullanılan balkabağı atığı Ankara Enginarçılık İşletmesi'nden sağlanmıştır. Balkabağı posası etüvde +80°C sıcaklıkta kurutulup (Nüve FN400, Turkey) öğütüldükten sonra oda sıcaklığında saklanmıştır.

##### **3.1.3 Deneylerde kullanılan Lityum (I) stok çözeltisinin hazırlanması**

Deney çalışmasında kullanılan lityum (I) için 1000 mg/L lityum (I) stok çözeltisinden seyreltmeler yapılarak deney için hazırlanmıştır. Çalışma sırasında farklı pH dereceleri HNO<sub>3</sub> ile ayarlanmıştır.

#### **3.2 Yöntem**

Mikroorganizmaların çoğalabilmesi için yapılan tez çalışmasında bal kabağı atığı kullanılmıştır. Çoğaltılan mikroorganizma daha sonra biyosorbent olarak kullanılmak üzere kurutulmuştur.

### 3.2.1 Biyosorbentlerin üretilmesi ve biyosorpsiyon deneyleri için hazırlanması

*C. hoffmannii*, PDA içeren yatık besiyerinde stok kültüre alınıp +4°C’de buzdolabında saklanmıştır. Deney öncesinde *C. hoffmannii*, yeast extract (0.3 g/L), pepton (1 g/L) ve glukoz (2 g/L) içeren YPG besiyerine ekilerek 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Sıvı ortamdan alınan kültür, önceden pH 5’e ayarlanıp otoklavlanan, balkabağı hidrolizatı içeren 250 mL erlenlerde 100 mL çalışma hacmindeki besiyerlerine 10 mL inoküle edilerek 100 rpm, +30±1°C’de orbital çalkalayıcıda 4 gün boyunca geliştirilmiştir.

### 3.2.2 Kullanılan zirai atığın ön-muamele işlemi

Zirai atıklar +80°C etüvde kurutulduktan sonra 0,2 cm çapında porlara sahip endüstriyel değirmende toz haline getirilmiştir (Şekil 2.1). Daha sonra zirai atıklar 15 dakika +121 °C’de %1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (v/v) varlığında otoklavlandıktan sonra fermente edilebilir şekerlerin ortaya çıkması sağlanarak, soğutularak süzölmüştür. Süzme işlemi sonrası deneylerde stok olarak kullanılması için buzdolabında +4°C’de saklanmıştır.



Şekil 3.1 Kurutulmuş balkabağı kütlesi

Karbon konsantrasyonu miktarının optimizasyonu için, 250 mL erlenmeyerlerde 100 mL çalışma hacmindeki besiyerleri içerisine farklı konsantrasyonlarda balkabağı hidrolizatı (%10, %20, %30) eklenerek *C. hoffmannii*'nin gelişimi incelenmiştir. En yüksek biyokütlenin elde edildiği koşullar belirlenerek biyosorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır. Üremesi tamamlanan fungal biyokütleler, biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere sıvı besin ortamından Whatman kurutma kağıdı ile süzülüp etüvde (Nüve FN 400) 24 saat boyunca +60°C'de inaktive edilmiştir. Kurutulmuş fungal hücreler, istenilen miktarda tartılarak kullanılmıştır. 10 g/L derişimde 10 ml saf su eklenerek 5000 rpm'de çalışan homojenizatör (Janke and Kunkel, IKA-Labortechnik, Ultra Turrax T25, Germany)'de 2 dakika süre ile parçalama işlemine tabi tutulmuştur.

Biyosorpsiyon çalışmasında *C. hoffmannii*'nin maksimum lityum tutma kapasitesi için ortam pH'sı, zaman ve başlangıç lityum etkilerine bakılmıştır. Lityum (I) çözeltilerinde 1000 mg/L derişimindeki stok çözeltiden deney sonucuna göre seyreltmeler yapılmıştır. Deney öncesinde çözeltiler istenilen pH derecelerine ayarlanmıştır. Tez çalışmasında 0.5-3 mg/L başlangıç lityum konsantrasyonunda, 1 g/L biyosorbent varlığında pH 2-10 aralığında ve 0-60 dakika zaman aralıklarındaki lityum (I) giderim kapasiteleri denenmiştir.

### **3.2.3 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisi**

0.5, 1, 2, 2.5 ve 3 mg/L başlangıç lityum konsantrasyonunda, 1 g/L biyosorbent içeren, pH 2, 4, 6, 8, 10 değerlerindeki lityum biyosorpsiyonuna bakılmıştır. pH değerlerini istenilene ayarlamak için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> 0,1 M kullanılmıştır.

### **3.2.4 Başlangıç lityum (I) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi**

Stok çözelti olarak kullanılan 1000 mg/L lityumdan 0.5-3 mg/L aralıklarında çözeltiler hazırlandı. Hazırlanan bu farklı çözeltilerden kullanılan biyosorbentin ne kadar giderim yaptığına bakılmıştır.

### 3.2.5 Farklı zaman aralıklarının biyosorpsiyona etkisi

1 gr/L lityum konsantrasyonunun 5, 15, 30, 45, 60. dakikalar olmak üzere 5 farklı zaman dilimindeki lityum konsantrasyonuna bakılmıştır.

## 3.3 Analiz Yöntemleri

### 3.3.1 Atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (AAS)

Tez çalışmasında yapılan analizlerde, Atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (Thermo Scientific ICE 3000 Series) kullanılmıştır.

### 3.3.2 Biyosorpsiyon veriminin hesaplanması

Yapılan çalışmada lityum konsantrasyonunun  $C_0$  başlangıç miktarını gösterirken,  $C_f$  lityum konsantrasyonunun çalışma sonrası miktarını göstermektedir. Yüzde olarak lityum gideriminin hesaplanması;

$$\% \text{ Lityum (I) giderimi} = \left( \frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100 \quad \text{Eşitlik 3.1}$$

**Eşitlik 3.1**’de gösterilen;

$C_f$ : Biyosorpsiyon ortamında biyosorplanmadan kalan lityum (I) konsantrasyonu (mg/L)

$C_0$ : Biyosorpsiyon ortamındaki başlangıç lityum (I) konsantrasyonu (mg/L)

### 3.3.3 Biyosorpsiyon ve denge biyosorpsiyon kapasiteleri

Farklı zaman dilimlerinde biyosorbent varlığında lityum biyosorpsiyon değerlerinin hesaplanması.

$$q_m = C_0 - C_f / X_m = C_{ad} / X_m$$

Eşitlik 3.2

**Eşitlik 3.2**'de gösterilen;

$X_m$ : biyosorbetin kuru ağırlığı (g/L)

$C_{ad}$ : biyosorpsiyon yapılmış lityum (I) konsantrasyonu (mg/L)

$C_f$ : biyosorpsiyon yapılmayan lityum (I) konsantrasyonu (mg/L)

$C_0$ : başlangıç lityum (I) konsantrasyonu (mg/L)

### 3.3.4 Araştırmada kullanılan denge modelleri

Yapılan bu çalışmada karbon kaynağı olarak balkabağı posasını kullanan *C. hoffmanni*'nin farklı pH değerlerinde, zaman aralıklarında, biyosorbent miktarlarında ve lityum konsantrasyonlarındaki lityum biyosorpsiyonları karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri kullanılmıştır.

### 3.3.5 Freundlich modeli

Bu izoterm, heterojen yüzeylerdeki adsorpsiyonu açıklamak için kullanılan bir modeldir. Bu model, adsorpsiyon yüzeyinde yer alan, aktif bölgelerin enerji dağılımının üstel bir şekilde dağıldığını varsayar. Freundlich izotermi, aşağıdaki denklemle tanımlanır:

$$q_{den} = K_F C_{den}^{1/n}$$

Eşitlik 3.3

**Eşitlik 3.3**'te gösterilen;

$K_F$ : Freundlich denge sabiti, adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) (L/mg)  $1/n$

$n$ : Adsorpsiyon şiddetini gösteren, birimi olmayan sabit (Aksu 2004)

logaritmasal olarak,

$$\ln q_{den} = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_{den}$$

Eşitlik 3.4

Freundlich modelinde  $\ln q_{eq}$  ve  $\ln C_{eq}$  değerlerinin görüldüğü grafikte eğimi  $1/n$ , y ekseninin kesiştiği nokta  $\ln K_F$  değerini belirtmektedir. Sabit bir değer olan  $n$  değeri hesaplanarak adsorpsiyon için ne kadar uyumlu olduğu bulunmaktadır. Eğer 1'den büyük bir  $n$  değeri bulunursa koşulların adsorpsiyon için uygun olduğu görülmektedir.  $K_F$  ve  $n$  değerlerinin büyüklüğü adsorpsiyonun kapasitesinin ve elverişliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir (Aksu 2004).

### 3.3.6 Langmuir modeli

Bu model enerji seviyeleri aynı bölgelerin adsorpsiyona elverişli kısımlarının olduğunu varsayarak bu bölgelerin moleküller tarafından tutulacağını ileri sürmektedir. Modele göre adsorbentin yüzeyine tutunan moleküller birbiriyle etkileşime girmezler. Belli bir süre sonra adsorbentin tek yüzeyde biriken moleküllerinden dolayı doygunluğa ermektedir. Böylece daha fazla adsorpsiyon gerçekleşmemektedir.

$$q_{den} = \frac{Q^0 b C_{den}}{1 + b C_{den}} \quad \text{Eşitlik 3.5}$$

**Eşitlik 3.5**'te gösterilen;

- $b$ : Adsorplanan bileşiğin adsorbentle arasındaki bağın kuvvetini ve adsorbente olan ilgisini gösteren Langmuir denge sabiti (L/mg)
- $q_{den}$ : Birim biyosorbent kütlesi başına adsorplanan lityum (I) miktarı (mg/g)
- $Q^0$ : Birim adsorbent kütlesi başına adsorbent yüzeyinde tek homojen bir tabaka oluşturmak için adsorplanan bileşen miktarı, biyosorbentin maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)
- $C_{den}$ : Adsorpsiyon sonrası çözelti içerisinde adsorplanmadan kalan lityum (I) konsantrasyonu (mg/L)

**Eşitlik 3.5** doğrusal hale getirildiğinde **Eşitlik 3.6** elde edilmektedir.

$$\frac{C_{den}}{q_{den}} = \frac{1}{Q^0 b} + \frac{1}{Q^0} C_{den} \quad \text{Eşitlik 3.6}$$

Langmuir modeline adsorpsiyonun uygunluğunu bulabilmek için  $R_L$  (**Eşitlik 3.7**) hesaplanır. 0 ile 1 arasında değerler adsorpsiyon için uygun olduğunu göstermektedir. 1'den büyük çıkan değerler adsorpsiyon için uygun olmadığını göstermektedir. Lineer adsorpsiyon denilebilmesi için değer 1'e eşit çıkması gerekmektedir.

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0}$$

Eşitlik 3.7

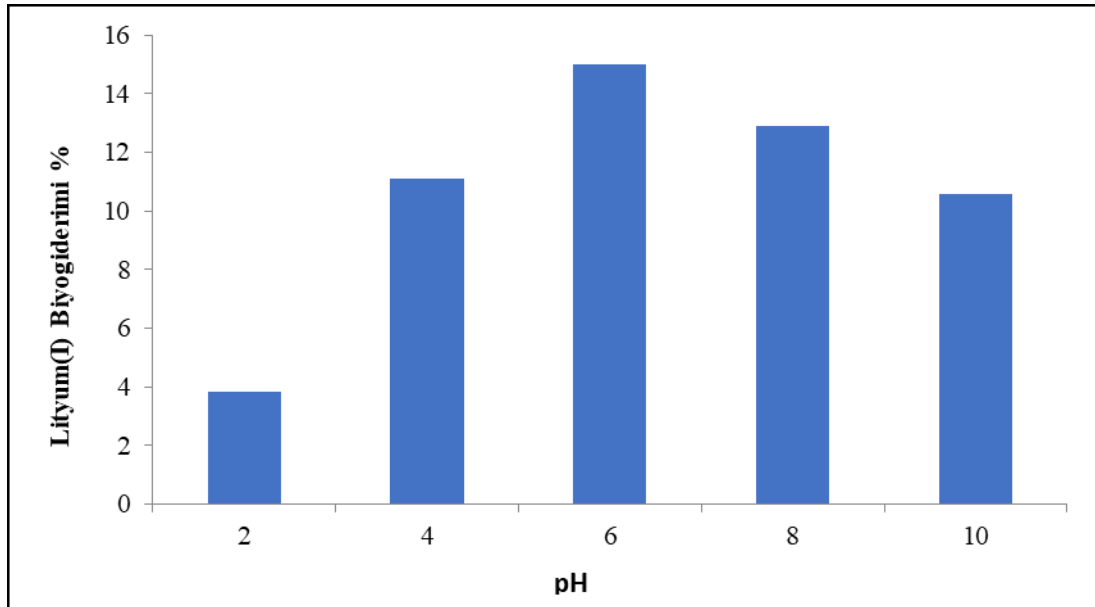


#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında *C. hoffmanni* kullanılmıştır. Ortamda bulunan lityum (I) konsantrasyonunun biyosorpsiyon miktarlarına bakılmıştır. Çeşitli kriterler altında biyosorpsiyon verimi araştırılmıştır. Ortamın pH derecesi, süre, lityum miktarının biyosorpsiyon giderimindeki etkisine bakılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken Freundlich ve Langmuir denge izotermelerindeki uyumu araştırılmıştır.

##### 4.1 Başlangıç pH Değerinin Lityum (I) Biyosorpsiyonuna Etkisi

Başlangıç pH değerinin, çözeltide bulunan lityum (I) metalinin *Coniochaeta hoffmannii* hücreleri tarafından absorbe edilebilme kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı pH seviyelerinde gerçekleşen biyosorpsiyon miktarı, ortamdan uzaklaştırılan lityum yüzdesi olarak hesaplanmıştır. 1 mg/L başlangıç lityum (I) konsantrasyonu ve *C. hoffmannii* biyokütle miktarı kullanılarak pH 2, 4, 6, 8 ve 10 seviyelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.



(T: 25°C, X: 1 g/L, Çalkalama Hızı: 100 devir/dakika)

Şekil 4.1 *C.hoffmanni* hücresinin farklı pH değerlerinde yüzde lityum (I) giderim değerleri

Maya hücresinin pozitif fonksiyonel grupları ile lityum iyonlarının negatif yükleri birbirine bağlandığı için biyosorpsiyon gerçekleşmektedir.

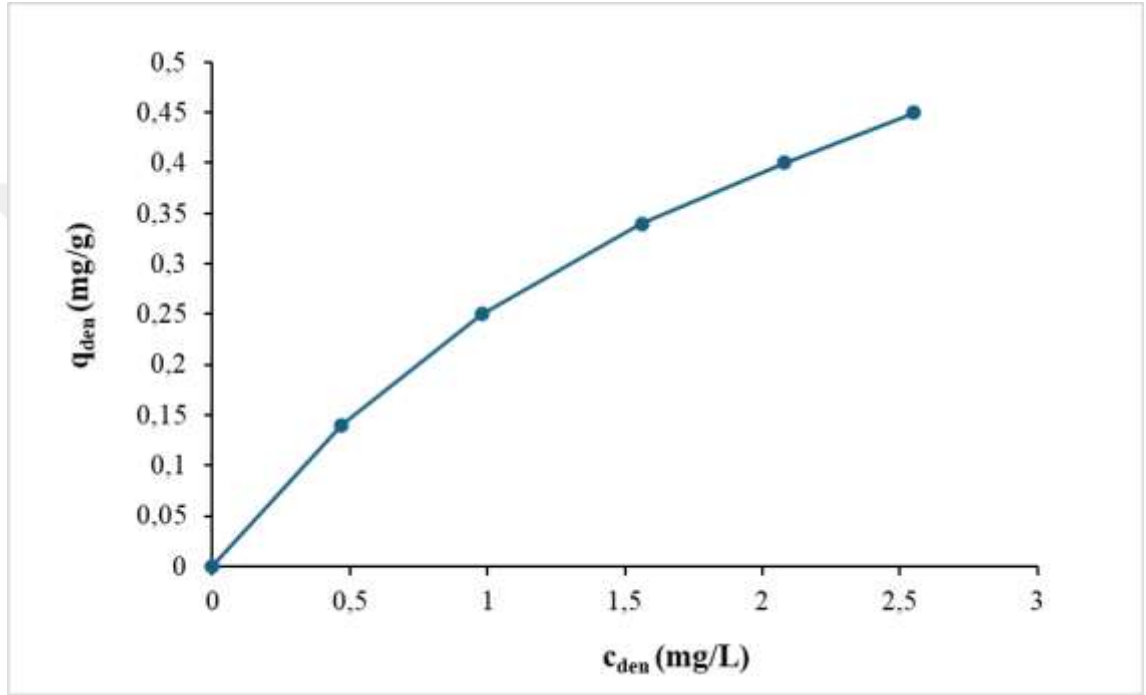
Yapılan çalışmadan en yüksek lityum emilimini pH 6 değerinde %15 olarak bulunmuştur. pH 2, 4, 6, 8, 10 yüzde olarak lityum giderim seviyelerinin sırasıyla %3.84, %11.11, %15, %12.9 ve %10.56 olduğu analiz edilmiştir. Bazı özellik arttıkça pH 8 ve 10 aralığında lityum biyosorpsiyonunun yüzde oranında düşme gözlenmiştir (Şekil 4.1).

Protonlar pH derecesi düşüp asitlik özellik arttıkça biyosorbent yüzeyini daha fazla kaplama eğilimi gösterirler. Bu nedenle elektrostatik itme kuvvetinin etkisiyle metal iyonları daha düşük miktarda absorbe edilmektedir. Hücrelerin yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar ortamda bulunan  $H^+$  iyonlarına bağlandıklarından lityum (I)'un bağlanması daha az olmaktadır (Ming vd. 2010).

Adsorbsiyonun verimini etkileyen nedenlerden biri azalan pH derecesinde biyosorbent yüzeyine protonların tutunmasıdır. Biyosorbent yüzeyini protonların kapılıyor olması adsorpsiyonun verimini oldukça düşürmektedir. Hücrenin yüzeyinde bulunan negatif yüke sahip iyonların artması ve pozitif yüke sahip fonksiyonların bağlama kapasitesinin artmasıyla pH derecesi artış göstermektedir. *A. Versicolor* ve *K. Marxianus*'un biyosorbent olarak kullanıldığı çalışmada pH değerleri düşük olduğunda lityum (I) gideriminin daha az olduğu görülmüştür. *K. Marxianus* ortam pH değeri 3 olduğunda lityum (I) giderim yüzdesi %12.0 iken, pH 5 derecesinde bu yüzde değerinin artış göstererek %13.1 olduğu bulunmuştur. pH değeri nötr olduğunda ise lityum (I) giderimi %16.1 olarak bulunmuştur. pH alkali değerleri 9 ve 10 olduğunda %19.2 ve %18.9 olarak bulunmuştur. *A. versicolor* pH değeri 3 olduğunda %6.8 lityum (I) biyogiderimi azalan asidik derecesi ile pH değeri 5 olduğunda ise %12.7 lityum (I) biyogideriminin olduğu gözlenmiştir. pH değerinin nötr olduğu ortamda biyogiderim %14.9 olarak tespit edilmiştir. Giderek artan alkali ortamda giderim pH 9 ve pH 10 için sırasıyla %19.2 ve %18.9 olarak gözlenmiştir (Yücel vd. 2020).

#### 4.1.1 Başlangıç lityum (I) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi

1 g/L *C.hoffmanni* varlığında 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 mg/L lityum konsantrasyonlarında yüzde olarak biyogiderim miktarları incelenmiştir. Başlangıç seviyesi 0.5 mg/L'den 3 mg/L seviyesine doğru gidildikçe lityum yüzdesinde sırasıyla %22.95'den %20.32-%17.89-%16.13-%15 seviyesine düşüş olduğu görülmüştür (Şekil 4.2).



(T: 25°C, pH: 6, X: 1 g/L, Çalkalama Hızı: 100 devir/dakika)

Şekil 4.2 Başlangıç lityum konsantrasyonunun birim biyosorbent kütlesi başına adsorplanma değerleri

$C_{den}$  Biyosorpsiyon ortramında dengede adsorplanmadan kalan bileşen derişim (mg/L)

Çizelge 3.1 *C.hoffmanni* hücrelerine lityum (I) biyosorpsiyonunda farklı başlangıç lityum (I) derişimlerinde elde edilen en yüksek birim biyosorbent başına adsorplanan lityum (I) %'de miktarı

| Biyosorbent        | Başlangıç Lityum (I) Derişimi (mg/L) | $q_{den}$ mg /g adsorbent kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarı | Lityum (I) Biyogiderimi (%) |
|--------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <i>C.hoffmanni</i> | 0,61                                 | 0,14                                                                 | 22,95                       |

Günan Yücel vd., (2021) yaptıkları çalışmada *Micrococcus luteus* ve *Bacillus pumilus* bakterilerinin lityum biyosorpsiyon kapasiteleri incelenmiştir. *B. pumilus* 'un yüzey negatifliğine bağlı olarak lityumu daha fazla çekme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Maksimum lityum adsorpsiyon dengesine çok hızlı bir şekilde ulaşarak *M.luteus* için 167.1 µmol/g *B.pumilus* için 328.5 µmol/g bulunmuştur.

Tsuruta (2005) yaptığı çalışmada ise, bakteri, aktinomiset, maya ve mantar türlerini biyosorbent olarak kullanmıştır. Bu biyosorbentlerin lityum biriktirme kapasitelerini karşılaştırmıştır. 20 mg kuru ağırlığı olan çeşitli maya türleri 1 saat boyunca 72.0 uM lityum içeren pH:5.8 100 ml lik çözeltilerde süspanse edilmiştir. 1 saat boyunca çalkalanmıştır. Membran filtre yardımıyla mikroorganizmalar süzölmüştür. Biyosorbentlerde biriken lityum miktarı plazma kuantometresi kullanılarak belirlenmiştir. pH 5.8'de lityum birikiminin mikroorganizmalar tarafından maksimum olarak absorbe edildiği görölmüştür. Bundan dolayı çalışmada pH 5.8 olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan bakteriler içinde *Arthrobacter nicotianae* IAM12342 125,8 µmol/g, aktinomisetler içinde *Streptomyces albus* HUT6047 55.6 µmol/g, mantarlar için de *Fusarium oksisporum* IAM5009 5.9 µmol/g, mayalardan *C. Robusta* AHU3405 11.9 µmol/g lityumu hızlı bir şekilde biriktirdiği görölmüştür.

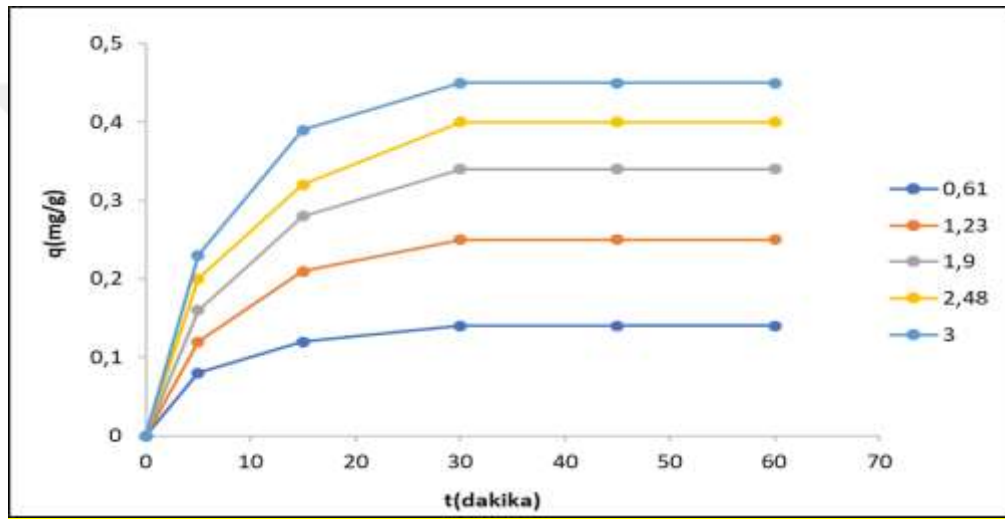
Faria vd., (2018) yaptıkları çalışmada *Pleurotus ostreatus* su ve toprakta bulunan metallerin biyosorpsiyonunda kullanılmıştır. Sıvı malt özünde yetiştirilen *P.ostreatus*'un misellerindeki  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  veya  $\text{LiCl}$  biyoakümülyasyon değerlerine bakılmıştır. *Ostreatus* un misellerinde en yüksek lityum konsantrasyonu 40 mg L-1  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  ile muamele edildikten sonra 1575.29 µg olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmayla *ostreatus*'un biyoloji ve biyokütle olarak lityumu biriktirdiği görölmüştür.

#### **4.1.2 Lityum (I) biyosorpsiyonunda sürenin etkisi**

Biyosorpsiyonu etkileyen diğer bir faktör süreye bakılmak için 1 gr/L *C.hoffmanni* 'nin pH 6 değerinde farklı zaman aralıklarındaki (5, 15, 30, 45, 60. dakikalar) lityumu absorbe etme miktarına bakılmıştır.

5. ve 15. dakikalardaki lityum biyosorpsiyonunun giderek artış gösterdiği 30. dakikada en yüksek absorpsiyon seviyesine ulaştığı görülmüştür. Ancak 30. dakika ile birlikte 45. ve 60. dakikalarda lityum biyosorpsiyonunun sabit kaldığı saptanmıştır.

Biyosorplanan lityum (I) miktarının belli bir süreye kadar artış gösterdiği belli bir süreden sonra sabit bir değere ulaştığı analiz edilmiştir. Biyosorpsiyonun en yüksek olduğu değer 30. dakika ile başlamıştır (Şekil 4.3).



(T= 25°C, X=1 g/L, Çalkalama Hızı=100 rpm)

Şekil 4.3 *C. hoffmanni* hücrelerinin lityum (I) adsorpsiyonunun zamana bağlı olarak değişim eğrisi

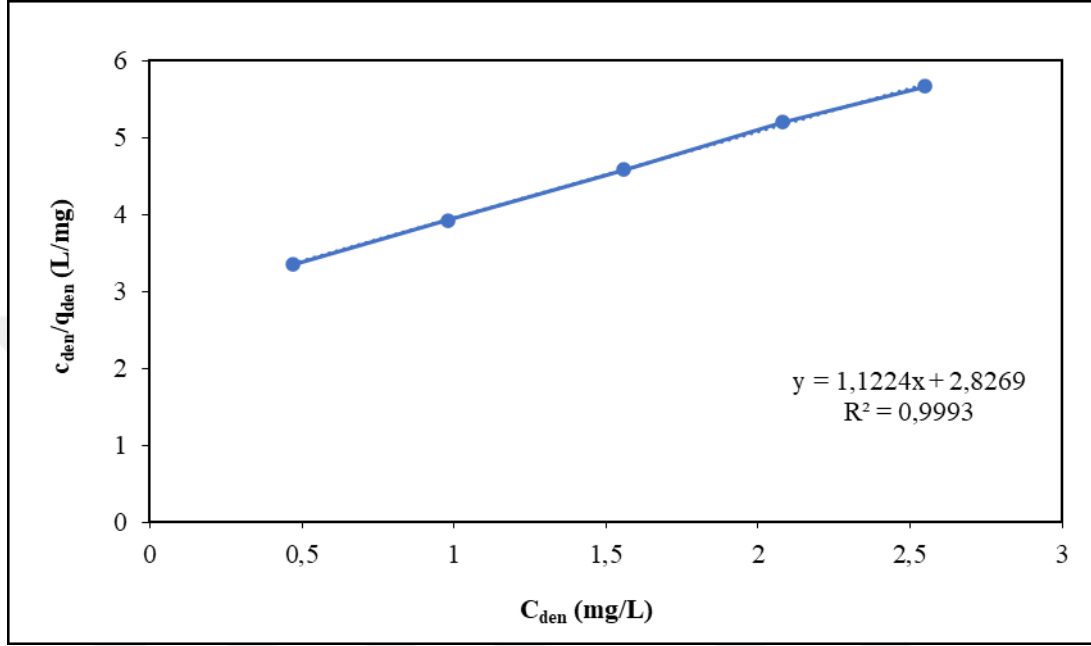
Aynı konsantrasyonda 30. dakikada gram başına maksimum lityum alımı( $q_m$ ) sırayla 0.14, 0.25, 0.34, 0.4, 0.45 mg/g olduğu gözlenmiştir.  $q_m$  kurutulmuş bir gram hücredeki maximum lityum (I) miktarı (mg/g)

#### 4.1.3 Lityum adsorpsiyonunda denge modellerin kullanılması

Ortamda biyosorbent tarafından adsorplanmayan lityum miktarı ( $C_{den}$ ) biyosorbent tarafından adsorplanan lityum miktarını ( $q_{den}$ ) hesaplamak için denge modelleri olarak kabul edilen Langmuir ve Freundlich'den yararlanılmıştır.

#### 4.1.4 Langmuir denge modellenmesi

Bu modelle elde edilen ( $C_{den}$ ) ve ( $q_{den}$ ) veriler aşağıdaki grafikte görüldüğü gibidir.



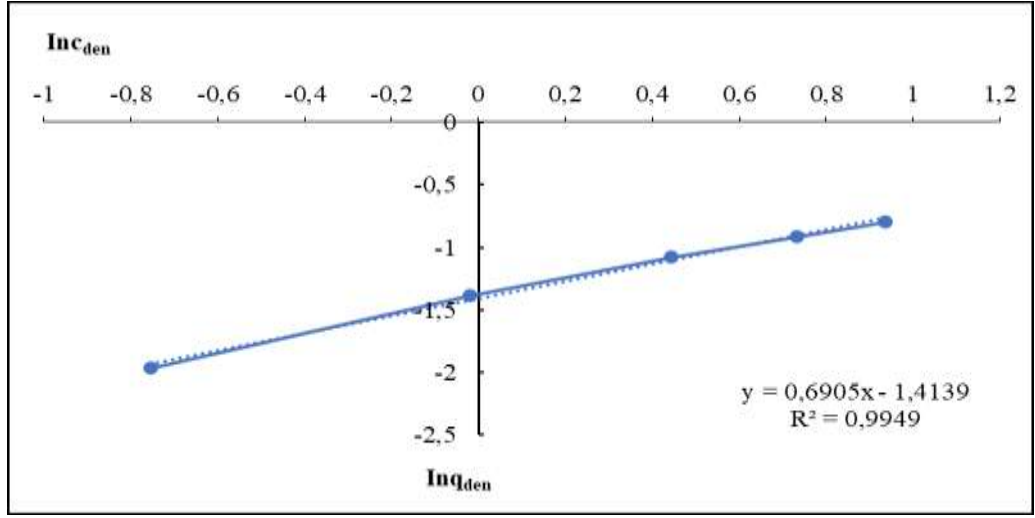
( $T=25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,0$ ,  $X=1 \text{ g/L}$ ,  $\text{Çalkalama Hızı}=100 \text{ rpm}$ )

Şekil 4.4 Lityum adsorpsiyonunun Langmuir denge grafiği

*C. hoffmanni*'nin birim kütlesine düşen adsorbe edilen lityum miktarı  $Q^0$  ile belirtilmiştir. Bu değer biyosorbetin her bir kütlesine düşen lityum miktarıdır. Çalışmada  $Q^0 = 0,89 \text{ mg/g}$  olarak hesaplanmıştır. Bu modele göre  $R^2 = 0,9993$  olarak b değeri  $0,397 \text{ L/mg}$  olarak bulunmuştur (Şekil 4.4). 1'e oldukça yakın değer bulunan  $R^2$  değeri lityum (I)'un biyosorpsiyon için oldukça uygun olduğunu göstermektedir.

#### 4.1.5 Freundlich denge modellenmesi

*C. hoffmanni*'nin lityum biyosorpsiyonunun denge modellerinden Freundlich'e göre hesaplanmış hali Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu modele göre  $R^2 = 0,9949$  olarak bulunmuştur.



(T=25°C, pH=6 X=1 g/L, Çalkalama Hızı=100 rpm)  $R^2 = 0,9949$

Şekil 4.5 Lityumunun lineerleştirilmiş Freundlich adsorpsiyon denge grafiği

#### 4.1.6 Lityum (I) adsorpsiyonunun denge modellemesi ve model sabitlerinin bulunması

*C. hoffmanni*'nin lityum (I) metalini matematiksel olarak hesaplamak için denge modelleri Freundlich ve Langmuir kullanılmıştır. Lityum (I) miktarı ( $q_{den}$ ), çözeltide absorplanmadan kalan lityum (I) ( $C_{den}$ ) olarak gösterilmiştir. Miktarı arasındaki dengeyi matematiksel modeller ile Langmuir ve Freundlich yapılan deneyde  $q_{den}$  ve  $C_{den}$  değerleri bakılarak ve bu lineer formlarını modellerin kullanılarak hangisinde daha uyum gösterdiğine bakılmıştır. Deneyde bulunan minimum düzeydeki % hata adsorpsiyon için daha uygun olduğunu göstermektedir.

Langmuir izotermine  $R^2$  değerine bakıldığında 0 ile 1 arasında olması biyosorbentin biyosorpsiyon için uygun olduğunu göstermektedir (Saadeek vd. 2015). Langmuir denge modelinde *C.hoffmanni* için  $R^2$  değeri 0.9993 bulunmuştur. Bu değere bakıldığında deneyde kullanılan maya hücresinin lityum biyosorpsiyonu için uygun olduğu görülmüştür.

Bir diğer kullanılan izoterm modeli Freundlich izotermine ise  $n$  sabitine bakılarak biyosorpsiyona uyumluluk araştırılmıştır. Burada biyosorpsiyona elverişli durum demek için  $n$  sabiti 1'den büyük olması gerekmektedir (Limousin vd. 2007).

Çizelge 3.2 *C. hoffmanni* hücrelerine lityum (I) biyosorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerinden elde edilen model sabitleri

|                     |              | Langmuir |        | Freundlich |
|---------------------|--------------|----------|--------|------------|
| Biyosorbent         | $Q^0$ (mg/g) | b (L/mg) | $R^2$  | $R^2$      |
| <i>C. hoffmanni</i> | 0,89         | 0,397    | 0.9993 | 0.9949     |

Yücel vd., (2021) yaptıkları çalışmada besin takviyesi olarak kullanılan *Dunaliella salina*’nın lityum biyosorpsiyonuna bakılmıştır. İzole edilmiş *D. salina* suşu büyütülerek kurutulmuştur. Deney sırasında başlangıç lityum konsantrasyonu ve ortam pH’ı optimize edilmiştir. pH 9.0 başlangıç lityum (I) konsantrasyonu 20.0 mg/L de lityumu maksimum olarak biriktirme kapasitesi 4.003 mg lityum (I)/g kuru biyokütle (576.7  $\mu\text{mol/g}$ ) belirlenmiştir. Bu çalışmada Langmuir ve Freundlich modelleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmayla lityum alım kapasitesi bakımından *D.salina* oldukça umut verici bulunmuştur.

Günan vd., (2020) yaptıkları çalışmada, sulu bir çözeltide başlangıç lityum konsantrasyonu 20 mg/L de *Kluyveromyces marxianus* mayasının pH 9’da, sorbent biyokütle konsantrasyonu 1 g/L olarak, 409.2  $\mu\text{mol Li/g}$  lityumu oldukça hızlı ve maliyeti düşük olarak bünyesinde tutabildiği yapılan deneylerde görülmüştür. Aynı çalışmada *Aspergillus versicolor* fungusunun da lityum absorbe etme kapasitesine bakılmıştır. *A. versicolor*’un 20 mg/L başlangıç lityum konsantrasyonunda pH 9 da alım kapasitesi 347.9  $\mu\text{mol Li/g}$  olduğu görülmüştür. Deneyde iki farklı mayanın performansı karşılaştırılmıştır. Langmuir ve Freundlich denge modellerine çıkan sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. *Kluyveromyces marxianus* katyonları daha iyi biyosorpsiyon yaptığı daha gözenekli yapıya sahip olduğu, negatiflik ve yüzey alanı olarak daha tercih edilebileceğini göstermiştir. Fiziksel bir adsorpsiyon ile *K. marxianus mayasının* daha fazla lityumu absorbe ettiği görülmüştür. Deneyde her iki biyosorbent içinde aynı koşullar tutulmuştur. başlangıç lityum (I) 20 mg/L’lik konsantrasyonunda pH 9.0’da 409.2 ve 347.9  $\mu\text{mol lityum (I)/g}$  maksimum adsorpsiyon kapasiteleri bulunmuştur.

## 5. SONUÇ

Son yıllarda artan çevre sorunları, iklim krizleri bilim insanlarının alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur. Hem çevreye zarar vermeyen hem de kullanırken oldukça avantajları olan lityum petrol türevi enerji kaynaklarına karşı çok güçlü bir alternatif olmaktadır. Enerji depolama kabiliyetinin yüksek olması, çevre dostu olması, birçok sektörde kullanılan malzemelerin çok daha etkili kullanılmasını sağlaması gibi özelliklerinden dolayı lityuma olan talep her geçen gün artmaktadır. Buda gösteriyor ki ilerleyen zamanlarda birçok ulusal şirket ve ülke lityumu daha fazla çıkarmaya daha fazla alanda lityumu değerlendirmeye devam edecektir.

Yakın gelecekte farklı teknolojilerde ve alanlarda lityum kullanımının oldukça yaygınlaşacağı görülmektedir. Lityumun birçok teknolojik üründe kullanıyor olması beraberinde lityum atıklarının artmasını da getirmektedir. Artan lityum atıkları ile birlikte oluşan çevre kirliliklerinin giderilmesi için tekrar bir çevre kirliliği yaratmadan, maliyeti düşük ve maksimum verim sağlayacak şekilde gidermek için kullanılan bu yöntem gelecek için oldukça önemlidir.

Yapılan çalışmada endüstriyel atık olarak kullanılan balkabağı küspesi ile *C. hoffmanni*'nin karbon ihtiyacı giderilerek üremesi sağlanmıştır. Çalışmada *C. hoffmanni*'nin lityum (I) 1 g/L çözeltide pH 6 aralığında 30. dakika gibi hızlı bir sürede lityum gideriminin en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

Endüstriyel atık olan balkabağı posasının bu deneyde karbon kaynağı olarak kullanılması maliyeti düşürmekte ve geri dönüşüme olumlu bir katkı sağlamaktadır. Ortamda bulunan diğer faktörlerden etkilenmemesi adına yapılan çalışmada kuru izolatlar kullanılmıştır. Biyosorbent olarak kullanılan *C. hoffmanni* biyogiderimi % olarak bulunması absorpsiyona uygun olduğunu göstermektedir. Literatürde *C. hoffmanni* ile yapılan çalışmalar oldukça az bulunmaktadır. Bu yüzden bu tez çalışmasından çıkan bulgular ile sonuçlar literatüre katkı sağlaması bakımından önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abdel-Ghani N.T and El-Chaghaby G.A. 2014. Biosorption For Metal Ions Removal From Aqueous Solutions: A Review Of Recent Studies. International Journal of Latest Research in Science and Technology, 3(1); 24-42.
- Abin-Bazaine, A., Trujillo, A. C., & Olmos-Marquez, M. (2022). Adsorption isotherms: enlightenment of the phenomenon of adsorption. Wastewater Treatment, 1-15.
- Abin-Bazaine, A., Trujillo, A. C., & Olmos-Marquez, M. (2022). Adsorption isotherms: Enlightenment of the phenomenon of adsorption. Wastewater Treatment, 19, 1-5.
- Adsorption by agricultural biosorbents: Adsorption isotherm, kinetic and biosorbents chemical structures. International Journal of Biological Macromolecules, 81; 400-409.
- Aksu, Z., & Gönen, F. (2004). Biosorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: prediction of breakthrough curves. Process biochemistry, 39(5), 599-613.
- Aksu, Z., & Yener, J. (2001). A comparative adsorption/biosorption study of mono-chlorinated phenols onto various sorbents. Waste management, 21(8), 695-702.
- Aral, H., Vecchio-Sadus, A. 2008. Toxicity of lithium to humans and the environment--a literature review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 70(3):349-56.
- Anonim. 2023. <https://www.gzt.com/z-raporu/lityum-kitligi-kapida-3757476>, Erişim Tarihi: 30.11.2023
- Anonymous. 2023. [https://www.tmdr.org.tr/modules/faq/datafiles/FILE\\_0A15C836FE136D461A\\_B6FEA2-D0EDD4-F33BCE.pdf](https://www.tmdr.org.tr/modules/faq/datafiles/FILE_0A15C836FE136D461A_B6FEA2-D0EDD4-F33BCE.pdf), Erişim Tarihi: 17.11.2023
- Anonymous. 2023. <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/chart-countries-produce-lithium-world/>, Erişim Tarihi: 15.11.2023
- Anonymous. 2023. <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/lithium-mining-market/>, Erişim Tarihi: 17.11.2023.
- Anonymous. 2023. <https://www.adelaide.edu.au/mycology/fungal-descriptions-and-anti-fungal-susceptibility/hyphomycetes-conidial-moulds/coniochaeta>, Erişim Tarihi: 2024
- Bajpai, A. K., & Rajpoot, M. (1999). Adsorption techniques-a review.
- Bourgeois, M. L., & Masson, M. (2017). The history of lithium in medicine and psychiatry. The science and practice of lithium therapy, 181-188.

- Bradley, D. C., Stillings, L. L., Jaskula, B. W., Munk, L., & McCauley, A. D. (2017). Lithium (No. 1802-K). US Geological Survey
- Bzducha-Wróbel, A., Błażej, S. ve Tkacz, K. (2012). Seçilmiş maya türlerinin hücre duvarı yapısı magnezyum bağlama yeteneğinin bir faktörü olarak. *Avrupa Gıda Araştırma ve Teknolojisi*, 235, 355-366.
- Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(3), 2782-2799.
- Cournoyer, A., & Bazinet, L. (2023). Electrodialysis processes an answer to industrial sustainability: toward the concept of eco-circular economy?—a review. *Membranes*, 13(2), 205.
- Dąbrowski, A., Hubicki, Z., Podkościelny, P., & Robens, E. (2004). Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*, 56(2), 91-106.
- Espinosa-Ortiz, E. J., Rene, E. R., Pakshirajan, K., van Hullebusch, E. D., Lens, Piet N.L. 2016. Fungal pelleted reactors in wastewater treatment: Applications and perspectives. *Chemical Engineering Journal*, 283; 553-571.
- Faria, M. G. I., do Valle, J. S., Lopes, A. D., Gonçalves Jr, A. C., Dragunski, D. C., Colauto, N. B., & Linde, G. A. (2018). Bioaccumulation of lithium (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) in mycelia of the culinary-medicinal oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 20(9).
- Goodyear, K. L., & McNeill, S. (1999). Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review. *Science of the Total Environment*, 229(1-2), 1-19.
- Goonan, T. G. (2012). Lithium use in batteries (No. 1371). US Geological Survey.
- Günan Yücel, H. (2017). Lityum (I) adsorpsiyonu için *Pichia stipitis* mayası ile yeni bir hibrit adsorbent geliştirilmesi
- Günan Yücel, H., Aksu, Z., Yalçınkaya, G. B., Karatay, S. E., & Dönmez, G. (2020). A comparative investigation of lithium (I) biosorption properties of *Aspergillus versicolor* and *Kluyveromyces marxianus*. *Water Science and Technology*, 81(3), 499-507.
- Hallmann, L., Ulmer, P., & Kern, M. (2018). Effect of microstructure on the mechanical properties of lithium disilicate glass-ceramics. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 82, 355-370.

- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., ... ve Anderson, P. (2019). Elektrikli araçlardaki lityum iyon pillerin geri dönüşümü. *tabiat*, 575 (7781), 75-86.
- Hartono, M., Astrayudha, M. A., Petrus, H.T.B., Budhijanto, W., Sulisty, H. 2017. Lithium Recovery Of Spent Lithium-Ion Battery Using Bioleaching From Local Sources Microorganism. *Rasayan J. Chem.*, 10 (3); 897-903.
- Iskandar, N. L., Zainudin, N. A. I. M., & Tan, S. G. (2011). Tolerance and biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) by filamentous fungi isolated from a freshwater ecosystem. *Journal of Environmental Sciences*, 23(5), 824-830.
- Javaid, A., Bajwa, R., Shafique, U. and Anwar, J. 2011. Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*, 35(16); 75-82.
- Jeong, j. M., Rhee, K. Y., Park, S. J. 2015. Effect of chemical treatments on lithium recovery process of activated carbons. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27; 329–333.
- Jeppson, D. W., Ballif, J. L., Yuan, W. W., & Chou, B. E. (1978). Lithium literature review: lithium's properties and interactions.
- Johnson, RE ve McFarland, BH (1996). Bir sağlık bakım kuruluşunda lityum kullanımı ve sonlandırılması. *Amerikan Psikiyatri Dergisi*, 153 (8), 993-1000.
- Karatay, S. E., Demiray, E., & Dönmez, G. (2019). Efficient approaches to convert *Corniochaeta hoffmannii* lipids into biodiesel by in-situ transesterification. *Bioresource technology*, 285, 121321.
- Kargı, F. (1993). Çevre mühendisliğinde biyoprosesler. DEÜ Mühendislik Fakültesi.
- Kordialik-Bogacka, E. (2011). Surface properties of yeast cells during heavy metal biosorption. *Open Chemistry*, 9(2), 348-351.
- Kurniawan, T. A., Chan, G. Y., Lo, W. H., & Babel, S. (2006). PHysico–chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical engineering journal*, 118(1-2), 83-98.
- Largitte, L., & Pasquier, R. J. C. E. R. (2016). A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon. *Chemical engineering research and design*, 109, 495-504.
- Lee, D.H, Ryu, T., Shin, J., Ryu, J. C., Chung, K. S. 2017. Selective lithium recovery from aqueous solution using a modified membrane capacitive deionization system. *Hydrometallurgy*, 173; 283–288.

- Lee, K. K., Kristanti, R. A., Yulisa, A., Ningsih, F., Syafrudin, M., Hernandes, E., & Albescu, M. (2022). Biosorption of synthetic dye by macrofungi. *Industrial and Domestic Waste Management*, 2(2), 61-70.
- Leonhardt, S., Büttner, E., Gebauer, A. M., Hofrichter, M., & Kellner, H. (2018). Draft genome sequence of the Sordariomycete *Lecythophora* (*Coniochaeta*) *hoffmannii* CBS 245.38. *Genome announcements*, 6(7), 10-1128.
- Licht, R. W. (2012). Lithium: still a major option in the management of bipolar disorder. *CNS neuroscience & therapeutics*, 18(3), 219-226.
- Limousin, G., Gaudet, J. P., Charlet, L., Szenknect, S., Barthès, V., & Krimissa, M. (2007). Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. *Applied geochemistry*, 22(2), 249-275.
- Madigan, MT., Martinko, JM., Bender, KS., Buckley, DH., Stahl, DA. 2017. Brock mikroorganizmaların biyolojisi. Palme Yayıncılık, 657-659, Ankara.
- Malik, LA, Bashir, A., Qureashi, A. ve Pandith, AH (2019). Ağır metal iyonlarının tespiti ve uzaklaştırılması: Bir inceleme. *Çevre Kimyası Mektupları*, 17, 1495-1521.
- Mo, K. B. (1984). Membrane-based solvent extraction for selective removal and recovery of metals. *Journal of Membrane Science*, 21(1), 5-19.
- Mulkey, T. J. (2005). Alteration of growth and gravitropic response of maize roots by lithium. *Gravitational and Space Biology*, 18(2), 119-121.
- Nilanjana Das, N. D., Karthika, P., Vimala, R., & Vinodhini, V. (2008). Use of natural products as biosorbent of heavy metals-an overview.
- Pollard, S. J. T., Fowler, G. D., Sollars, C. J., & Perry, R. (1992). Low-cost adsorbents for waste and wastewater treatment: a review. *Science of the total environment*, 116(1-2), 31-52.
- Pourhakkak, P., Taghizadeh, A., Taghizadeh, M., Ghaedi, M., & Haghdoust, S. (2021). Fundamentals of adsorption technology. In *Interface science and technology* (Vol. 33, pp. 1-70). Elsevier.
- Prasad, M. N. V., Sajwan, K. S., & Naidu, R. (Eds.). (2005). *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation*. CRC Press.
- Ramrakhiani, L., Halder A., Majumder, A., Mandal, A. K., Majumdar, S. and Ghosh S. 2017. Industrial waste derived biosorbent for toxic metal remediation: Mechanism studies and spent biosorbent management. *Chemical Engineering Journal*, 308, 1048–1064.
- Sadeek, S. A., Negm, N. A., Hefni, H. H.H., Abdel Wahab, M. M. 2015. Metal

- Shen, X. X., Steenwyk, J. L., LaBella, A. L., Opulente, D. A., Zhou, X., Kominek, J., ... & Rokas, A. (2020). Genome-scale phylogeny and contrasting modes of genome evolution in the fungal phylum Ascomycota. *Science Advances*, 6(45), eabd0079.
- Talens Peiró, L., Villalba Méndez, G., & Ayres, R. U. (2013). Lithium: Sources, production, uses, and recovery outlook. *Jom*, 65, 986-996.
- Thirunavukkarasu, A., Nithya, R., & Sivashankar, R. (2021). Continuous fixed-bed biosorption process: A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, 8, 100188.
- Tsuruta, T. (2005). Removal and recovery of lithium using various microorganisms. *Journal of bioscience and bioengineering*, 100(5), 562-566.
- Ulusoy, M. 2016. Geleceğin Petrolü Lityum Mu? Türk Mühendis Ve Mimar Odaları Birliği METALURJİ Ve Malzeme Mühendisleri Odası, 178.
- Vendruscolo, F., da Rocha Ferreira, G. L., Antoniosi Filho, N. R. 2017. Biosorption of hexavalent chromium by microorganisms. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119; 87-95.
- Walker, G. M. (1998). *Yeast physiology and biotechnology*. John Wiley & Sons.
- Wang, B., Zhu, Y. Bai. Z., Luque R. and Xuan, J. 2017. Functionalized chitosan biosorbents with ultra-high performance, mechanical strength and tunable selectivity for heavy metals in wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 325, 350–359.
- Wang, J. ve Chen, C. 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2); 195-226.
- Werber, M., Fischer, M. ve Schwartz, PV (2009). Piller: Benzinden daha mı düşük maliyetli? *Enerji politikası*, 37 (7), 2465-2468.
- Xu, X., Chen, Y., Wan, P., Gasem, K., Wang, K., He, T., Adidharma, H., Fan, M. 2016. Extraction of lithium with functionalized lithium ion-sieves. *Progress in Materials Science*, 84; 276–313.
- Vural, A., Demir, S., & Boyno, G. (2018). Biyoremediasyon ve fungusların biyoremediasyonda kullanılması. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 28(4), 490-501.
- Yun, C. H., Prasad, R., Guha, A. K., & Sirkar, K. K. (1993). Hollow fiber solvent extraction removal of toxic heavy metals from aqueous waste streams. *Industrial & engineering chemistry research*, 32(6), 1186-1195.

- Zhang, X., Li, Z., Luo, L., Fan, Y. ve Du, Z. (2022). Elektrikli araçlar için lityum iyon pillerin termal yönetimi üzerine bir inceleme. *Enerji*, 238 , 121652.
- Zhang, Z. Y., Feng, Y., Tong, S. Q., Ding, C. Y., Tao, G., & Han, Y. F. (2023). Morphological and pHylogenetic characterisation of two new soil-borne fungal taxa belonging to Clavicipitaceae (Hypocreales, Ascomycota). *MycoKeys*, 98, 113.

