

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EJDER MEYVESİ ATIĞINDA GELİŞTİRİLEN FUNGAL BİYOKÜTLENİN
KROM (VI) BİYOSORPSİYONUNDA KULLANIMI

Sezin BEKTAŞ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2025

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EJDER MEYVESİ ATIĞINDA GELİŞTİRİLEN FUNGAL BİYOKÜTLENİN KROM (VI) BİYOSORPSİYONUNDA KULLANIMI

Sezin BEKTAŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY

Maden, deri tabaklama, tekstil gibi çeşitli endüstrilerin faaliyetleri sonucu oluşan ağır metalleri ve diğer toksik maddeleri içeren atık sular insan, hayvan ve çevre sağlığı için büyük tehdit oluşturmaktadır. Endüstriyel atık suların iyileştirilmesi için biyolojik yöntemlerde filamentli fungusların, hücre duvarının kimyasal kompozisyonu ve adsorpsiyon yetenekleri sayesinde yüksek biyosorpsiyon kapasitesine sahip olduğu düşünülmektedir. Yapılan tez çalışmasında daha önce literatürde denenmemiş ejder meyvesi kabuğu atığında *Aspergillus tubingensis* fungusunu geliştirerek krom(VI) biyosorpsiyondaki kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ejder meyvesi kabuğu atığında fungal biyokütle gelişimi gerçekleştirilmiştir. En yüksek krom(VI) giderim verimini elde etmek için biyosorpsiyonu etkileyen pH değeri (2-10), başlangıç krom(VI) konsantrasyonları (5-100 ppm), başlangıç biyosorbent konsantrasyonları (1, 2, 3 g/L) ve biyosorpsiyon süresi (0-240 dakika) parametreleri optimize edilmiştir. Tez çalışması sonucunda en yüksek krom(VI) giderimi pH 2’de, 10 ppm krom(VI) konsantrasyonunda, 3 g/L biyosorbent varlığında %100 olarak saptanmıştır.

Tez çalışmasında, ejder meyvesi kabuğu atığında yetiştirilen *Aspergillus tubingensis* biyosorbenti ile krom(VI) biyosorpsiyonu literatürde ilk kez gösterilmiştir. Yapılan çalışma ile bu fungusun hem atık yönetiminde hem de krom(VI) gideriminde umut verici bir potansiyele sahip olduğu ortaya konmuştur.

Ocak 2025, 43 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, ağır metal, fungus

ABSTRACT

Master Thesis

USE OF FUNGAL BIOMASS CULTIVATED IN DRAGON FRUIT WASTE FOR CHROMIUM (VI) BIOSORPTION

Sezin BEKTAŞ

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

Supervisor: Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY

Wastewater containing heavy metals and other toxic substances resulting from the activities of various industries such as mining, leather tanning, textile, etc. pose a great threat to human, animal and environmental health. In biological methods for the treatment of industrial wastewater, filamentous fungi are thought to have high biosorption capacity thanks to the chemical composition of the cell wall and adsorption capabilities. In this thesis study, it was aimed to determine the capacity of chromium (VI) biosorption by developing *Aspergillus tubingensis* fungus in dragon fruit peel waste, which has not been tried in the literature before. In the experiments carried out within the scope of the study, fungal biomass growth was realized in dragon fruit peel waste. In order to obtain the highest chromium(VI) removal efficiency, pH value (2-10), initial chromium(VI) concentrations (5-100 ppm), initial biosorbent concentrations (1, 2, 3 g/L) and biosorption time (0-240 minutes) parameters affecting biosorption were optimized. As a result of the thesis study, the highest chromium(VI) removal was found to be 100% at pH 2, 10 ppm chromium(VI) concentration, in the presence of 3 g/L biosorbent.

In the thesis study, chromium(VI) biosorption by *Aspergillus tubingensis* biosorbent grown in dragon fruit peel waste was demonstrated for the first time in the literature. The study revealed that this fungus has a promising potential in both waste management and chromium(VI) removal.

.

January 2025, 43 pages

Key Words: Biosorption, heavy metal, fungi

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında fikirleri ve tecrübesiyle çalışmalarımı yönlendiren hocam sayın Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren tez çalışması boyunca her durumda ve şartta yanımda olan ve destekleyen sevgili babam Aydın BEKTAŞ'a ve sevgili annem Hamide BEKTAŞ'a minnet dolu teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca yanımda olan, maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili Tuna KIRCA'ya süreç boyunca gösterdiği sabır ve özverilerinden dolayı sevgi dolu teşekkürlerimi sunarım.

Sezin BEKTAŞ
Ankara, Ocak 2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Atık Sular	3
2.2 Ağır Metaller	3
2.2.1 Krom	4
2.3 Atık Su Arıtma Yöntemleri	5
2.3.1 Kimyasal yöntemler	5
2.3.2 Fiziksel yöntemler	6
2.3.3 Biyolojik yöntemler	6
2.4 Biyolojik Yöntemlerin Uygulanmasına İlişkin Stratejiler.....	7
2.4.1 Mikroremediasyon	7
2.4.2 Siyanoremediasyon	8
2.4.3 Biyostimülasyon	8
2.4.4 Biyomineralizasyon.....	8
2.4.5 Biyosorpsiyon	8
2.5 Atık Suların Arıtımında Fungusların Kullanımı	9
2.5.1 Fungusların genel özellikleri	9
2.5.1.1 Küfler (filamentli funguslar).....	10
2.5.1.2 Mantarlar	11
2.5.1.3 Mayalar	11
2.5.2 Fungusların faaliyetleri ve ticari önemi	12
2.5.3 Fungusların ağır metal gideriminde kullanılması.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 Materyal	15
3.1.1 Mikroorganizma kaynağı	15

3.1.2 Biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılan krom(VI)	15
3.1.3 Karbon kaynağı olarak kullanılan hammadde	15
3.2 Yöntem	15
3.2.1 Ejder meyvesi kabuğunun ön muamele işlemi	15
3.2.2 Ejder meyvesi kabuğu içeren besiyerinin hazırlanması	16
3.2.3 Besiyerinde fungal biyokütlenin geliştirilmesi.....	16
3.2.4 Fungal biyokütlenin kuru ağırlığının belirlenmesi	16
3.2.5 Biyosorpsiyon deneyleri için fungal biyosorbentin hazırlanması	16
3.2.6 Biyosorpsiyon deneylerinde kullanılacak krom(VI) stok çözeltisinin ve krom(VI) standardının hazırlanması.....	17
3.2.7 Biyosorpsiyon çalışmaları.....	18
3.2.8 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisinin araştırılması	18
3.2.9 Başlangıç krom(VI) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisinin araştırılması.....	18
3.2.10 Başlangıç biyosorbent konsantrasyonlarının ve zamanın biyosorpsiyona etkisinin araştırılması	18
3.3 Analitik Yöntemler	19
3.3.1 Spektrofotometrik ölçümler	19
3.3.2 Biyosorpsiyon veriminin hesaplanması.....	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	20
4.1 Ejder Meyvesi Kabuğunun Fungal Biyokütle Gelişimine Etkisinin Belirlenmesi	20
4.2 Başlangıç pH Değerinin Biyosorpsiyona Etkisinin İncelenmesi	21
4.3 Başlangıç Krom(VI) Konsantrasyonunun Biyosorpsiyon Üzerine Etkisinin İncelenmesi	22
4.4 Başlangıç Biyosorbent Konsantrasyonunun Biyosorpsiyona Etkisinin İncelenmesi	25
4.5 Zamanın Biyosorpsiyona Etkisinin İncelenmesi	29
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	30
5.1 Ejder Meyvesi Kabuğunun Fungal Biyokütle Gelişimine Etkisi.....	31
5.2 Başlangıç pH Değerinin Biyosorpsiyona Etkisi.....	32
5.3 Başlangıç Krom(VI) Konsantrasyonunun Biyosorpsiyon Üzerine Etkisi.....	33
5.4 Başlangıç Biyosorbent Konsantrasyonunun Biyosorpsiyona Etkisi	33
5.5 Zamanın Biyosorpsiyona Etkisi.....	34
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ.....	43

SİMGELER DİZİNİ

C_0	Çözeltideki başlangıç krom(VI) konsantrasyonu (mg/L)
C_{ad}	Biyosorpsiton ortamında kalan krom(VI) derişimi (mg/L)
C_f	Herhangi bir zamanda ortamda kalan krom(VI) konsantrasyonu (mg/L)
$Cr(VI)$	Krom(VI)
$C_{13}H_{14}N_4O$	Difenilkarbazid
H_2O	Su
H_2SO_4	Sülfirik asit
$K_2Cr_2O_7$	Potasyum dikromat
$NaOH$	Sodyum hidroksit
T	Zaman
q_m	Biyosorbent başına düşen maksimum krom(VI) alımı (mg/g)
X_m	Fungal biyosorbent konsantrasyonu (g/L)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 <i>Penicillium</i> sp. Çevresel izolatına ait kısımların mikroskop görüntüsü (1)Hif (2)Konidiofor (3)Fiyalid (4)Konidiyumlar (5)Septa	10
Şekil 2.2 En çok bilinen maya türü olan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> SEM görüntüsü)...	12
Şekil 3.1 Biyosorpsiyon çalışmaları için krom(VI) standardı.....	17
Şekil 4.1 % 1 H ₂ SO ₄ ile ön-işleme tabi tutulan 10 g/L ejder meyvesi kabuğu şekeri varlığında geliştirilen <i>A. tubingensis</i> gelişiminin zamana bağlı değişimi (Besiyeri koşulları; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 5; 6 gün)	20
Şekil 4.2 % 1 H ₂ SO ₄ ile ön-işleme tabi tutulan 10 g/L ejder meyvesi kabuğu varlığında geliştirilen <i>A. tubingensis</i> 'in zamana bağlı indirgen şeker tüketimi (Besiyeri koşulları; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 5; 8 gün).....	21
Şekil 4.3 Fungal biyosorbent ile krom (VI) gideriminde başlangıç pH değerinin etkisi (5 mg/L krom(VI); 1 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; 120. dakika)	22
Şekil 4.4 Artan biyosorbent konsantrasyonları ile artan krom(VI) konsantrasyonlarının biyosorpsiyonunda 120. dakikadaki qm değerlerinin karşılaştırması (30 °C; 100 rpm; pH değeri 2).....	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Fungal biyosorbent ile artan krom(VI) konsantrasyonlarının biyosorpsiyonunda C_0 (mg/L), q_m (mg/g) ve giderim (%) değerleri (1 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 2).....	24
Çizelge 4.2 Başlangıç biyosorbent konsantrasyonunun artan krom(VI) konsantrasyonlarıyla birlikte biyosorpsiyona etkisi ve C_0 (mg/L), q_m (mg/g) ve giderim (%) değerleri (2 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 2).....	26
Çizelge 4.3 Başlangıç biyosorbent konsantrasyonunun artan krom(VI) konsantrasyonlarıyla birlikte biyosorpsiyona etkisi ve C_0 (mg/L), q_m (mg/g) ve giderim (%) değerleri (3 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 2).....	27

1. GİRİŞ

Nüfus patlamasına bağlı olarak gerçekleşen hızlı sanayileşme, toksik kimyasalların kullanımındaki katma değerli artış ve madencilik faaliyetleri, toprağın yapısının bozulmasına ve su kütlelerinin kirlenmesine neden olmuştur. İnsani ihtiyaçlara yönelik önemli madencilik faaliyetleri hızlı sanayileşmeye yol açmakta ve çeşitli mineral maden yataklarına sahip gelişmekte olan ülkelerin ekonomik ilerlemesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ancak madencilik ve endüstriyel faaliyetler, ağır metal birikimi nedeniyle toprak ve su kirliliği sorunlarına yol açmıştır. Bu nedenle endüstriyel atıklar, başta krom olmak üzere ağır metallerin varlığı nedeniyle toprak ve su kirliliğinin ana kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Krom(VI), ishal, ülser, göz ve cilt tahrişleri, böbrek fonksiyon bozukluğu ve akciğer karsinomu gibi insan ve hayvan sağlığı üzerinde ciddi kötü etkilere neden olduğundan oldukça toksiktir (Zha vd, 2024). Kanserojenitesinin yanında mutajenik ve üreme sağlığına olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle ağır metallerin endüstriyel atık sulardan ve topraktan giderimi son yıllarda büyük önem kazanmıştır.

Endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimi için bugüne kadar kimyasal çöktürme ve filtrasyon, kimyasal oksidasyon ve indirgenme, iyon değişimi, buharlaştırma, ters osmos, adsorbsiyon ve çeşitli elektrokimyasal geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Fakat bu yöntemlerin pahalı, veriminin düşük ve bazı metallere uygulanamadığı için kullanışsız kalması sebebiyle pratik ve ekonomik değillerdir. Bu dezavantajlar, atık su kütlelerindeki ağır metallerin giderimi için daha ekonomik, verimi yüksek ve güvenilir olan biyolojik yöntemlerin kullanımını teşvik etmiştir. Bu biyoteknolojik yöntemlerden birisi de biyosorpsiyondur. Biyosorpsiyon bakteri, fungus, maya ve alg gibi biyosorbentler kullanılarak kirliliğe sebep olan metallerin sulu ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Bu tez çalışmasında krom(VI) içeren sulu çözeltinin biyosorpsiyonu için biyosorbent olarak fungal biyokütle kullanılmıştır. Biyosorbent olarak kullanılan biyokütle üretimini artırmak için lignoselüloz içeren, ekonomik ve gıda değeri olmayan, maliyeti düşük zirai atık olan ejder meyvesi kabuğu kullanılmıştır.

Tez çalışmasında ülkemizde aldığı üretim teşvikleri nedeniyle giderek genişleyen bir pazar hacmine sahip zirai ürünlerin düşük maliyetli atıklarının içerisinde yetiştirilip biyosorbent olarak kullanılan fungal biyokütlenin krom(VI) biyosorpsiyonunda kullanım kapasitesini belirlenmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Atık Sular

Madencilik ve endüstriyel faaliyetler, ağır metal birikimi nedeniyle toprak ve su kirliliği sorunlarına yol açmıştır. Bu nedenle endüstriyel atıklar, başta krom olmak üzere ağır metallerin varlığı nedeniyle toprak ve su kirliliğinin ana kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Deri tabaklama, çelik üretimi, alaşım oluşumu, metal korozyonu ve boya hazırlama gibi çeşitli sektörlerdeki geniş uygulama yelpazesine rağmen krom, düşük konsantrasyonda bile son derece tehlikeli bir kirletici olarak değerlendirilmektedir (Pattnaik vd, 2022).

Kromun altı değerlikli halindeki oldukça toksik türü, flora ve fauna için önemli bir tehlike olup, özellikle sulu ortamlarda dengenin bozulmasına neden olur (Quintero-Zapata vd. 2019).

2.2 Ağır Metaller

Suya göre yoğunluğu nispeten yüksek olan ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik olan her türlü metalik element “Ağır Metal” olarak adlandırılmıştır. Yoğunluğu 5 g/cm³’ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementlerdir. Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir, bozulmaz ve yok edilemezler (Hamutoğlu vd. 2012).

Ağır metallerin doğada birikimi biyolojik sistemler için kanserojenik ve mutajenik etkilere sahiptir (Gençbay 2022). Bunlardan bazıları: Alüminyum, altın, antimon, arsenik, bakır, baryum, bizmut, civa, galyum, gümüş, kadmiyum, kalay, krom, kurşun, lantan, manganez, nikel, platin, talyum, zirkonyumdur.

2.2.1 Krom

Krom gümüş grisi renkte, parlak, kırılğan ve sert bir metaldir. Havayla temas ettiğinde kararmaz, ısıtıldığında yeşil renkli krom oksit formuna dönüşür. Kromun ana kullanım alanları paslanmaz çelik gibi alaşımlarda, krom kaplamada ve metal seramiklerdedir. Krom kaplama bir zamanlar çeliğe cilalı gümüşü bir ayna kaplaması vermek için yaygın olarak kullanılıyordu.

Krom, metalurjide korozyon direnci ve parlak bir yüzey kazandırmak için kullanılır. Sentetik yakut yapımında, derinin boyanmasında ve tabaklanmasında katalizör olarak kullanılır (www.lenntech.com 2024).

Krom, dünya yüzeyinde toksik olmayan üç değerlikli formda bulunmasına rağmen, açık ocak madenciliği faaliyetleri nedeniyle üç değerlikli krom(III) atmosferik hava ve su ile temas ettiğinde altı değerlikli toksik kroma (Cr(VI)) dönüşebilir.

Krom(III) insanlar için gerekli bir elementtir ve yetişkinler için önerilen günlük miktarı 50-200 µg'dır. İnsan metabolizmasında krom(III), insülinin periferik etkisinde, normal glukoz kullanımında, enzim sistemlerinin uyarılmasında ve nükleik asitlerin stabilizasyonunda rol oynar (Pattnaik vd. 2022). Eksikliği kalp rahatsızlıklarına, metabolizma bozukluklarına ve diyabete neden olabilir. Fazla alımı ise deri döküntülerine sebep olabilir.

Krom(VI), ishal, ülser, göz ve cilt tahrişleri, böbrek fonksiyon bozukluğu ve akciğer karsinomu gibi insan ve hayvan sağlığı üzerinde ciddi kötü etkilere neden olduğundan oldukça toksiktir. Kanserojenitesinin yanında mutajenik ve üreme sağlığına olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bunların yanında kronik dermatit, kronik bronşit ve amfizem kromun yüksek toksisitesi ile ilişkilidir. Karaciğer ve böbrek hasarına, iç kanamaya, akciğer ve cilt kanserine neden olur (Venruscolo vd, 2017). Bu sebeple atık sular deşarj edilmeden önce arıtılmalıdır.

Çevredeki krom(VI) konsantrasyonlarını artıran başlıca insan faaliyetleri kimya sanayi, deri tabaklama ve tekstil imalatı, elektro boyama ve endüstrideki diğer krom(VI) uygulamalarıdır. Bu uygulamalar endüstriyel atık sulardaki krom konsantrasyonunu artırır. Buharlaşan suyla krom(VI) havaya karışır ve daha sonra yağışlarla toprağa geçerek toprakta tutunur ve az miktarda çözünerek yeraltı sularına karışır.

Ağır metal açısından kirlilik bulunduran atık sulardaki ağır metallerin gideriminde farklı kimyasal ve fizikokimyasal yöntemler kullanılmakta. Fakat verimin düşük olması, bazı yöntemlerin her ağır metal çeşidi için kullanışlı olmayışı ve ekonomik açıdan maliyetli oluşu sebebiyle artık fazla tercih edilmemektedir. Bu yöntemlerin yerine günümüzde daha yüksek verime sahip, uygulaması basit, ekonomik ve kullanışlılığı yüksek olan biyolojik iyileştirme (biyoremediasyon) yöntemleri daha çok tercih edilmektedir. Biyoremediasyon, ağır metallerin toprak ve sulardan gideriminde fungus, bakteri ve alg gibi organizmaların biyolojik süreçlerinin kullanılmasıdır.

2.3 Atık Su Arıtma Yöntemleri

Endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimi için bugüne kadar kimyasal çöktürme ve filtrasyon, kimyasal oksidasyon ve indirgenme, iyon değişimi, buharlaştırma, ters osmos, adsorbsiyon ve çeşitli elektrokimyasal geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Fakat bu yöntemlerin pahalı, veriminin düşük ve bazı metallere uygulanamadığı için kullanışsız kalması sebebiyle pratik ve ekonomik değildir. Bu dezavantajlar, atık su kütlelerindeki ağır metallerin giderimi için daha ekonomik, verimi yüksek ve güvenilir olan biyolojik yöntemlerin kullanımını teşvik etmiştir (Kumar vd, 2008).

2.3.1 Kimyasal Yöntemler

Kirliliğe sebep olan unsurun kimyasal özelliklerine bağlı olarak dışarıdan ortama kimyasal madde eklenmesiyle gerçekleştirilen arıtma yöntemleridir. (Acar ve Acar, 2022)

- Kimyasal çöktürme ve filtrasyon (nötralizasyon, flokülasyon ve koagülasyon)
- Elektrokimyasal yöntemler
- Ters osmoz
- İyon değişimi
- Buharlaştırma
- Membran
- Adsorbsiyon

2.3.2 Fiziksel Yöntemler

Kirliliğe sebep olan unsurun fiziksel özelliklerine (maddenin boyutları, vizkositesi ve özgül ağırlığı) bağlı olarak gerçekleştirilen arıtma yöntemleridir (Taştan 2008). Bu yöntemlerle katı maddeler sudan kademeli olarak uzaklaştırılır.

- Izgaralar (kaba ve ince ızgaralar)
- Kum tutucular
- Çökeltme tankları
- Filtrasyon havuzları

2.3.3 Biyolojik Yöntemler

Atık suların arıtımında kullanılan kimyasal ve fiziksel geleneksel yöntemlerin veriminin düşük, yan ürün oluşumunun ve maliyetinin yüksek oluşu bu yöntemleri kullanışsız kılmıştır. Bu sebeple daha verimli, pratik, uygulanabilirliği yüksek ve maliyeti düşük olan biyoteknolojik yöntemler daha cazip gelmiştir. Bu yöntemler temelde biyoremediasyon olarak adlandırılan; yerinde (in situ) ve yerinde olmayan (ex situ) uygulamalar içeren çok çeşitli biyoteknolojik yöntemlerdir.

Yerinde biyoremediasyonda kirleticilerin olduğu bölgede herhangi bir kazı yapılmadan, saha bozunması olmadan zararsız mikroorganizmalar kullanılarak toprak ve yeraltı sularının eş zamanlı arıtılması yapılabilmektedir. Zaman alıcı olmasına rağmen ucuz maliyetli bir yöntemdir (Rayu vd, 2012).

Yerinde olmayan biyoremediasyon ise kirlenmiş toprak veya su kaynaklarından örnekler alınarak bu örneklerin biyoreaktörlerde mikroorganizma ve diğer katkı maddeleriyle bir araya getirilmesi esasına dayanmaktadır. Küçük ölçekli arıtmalar sağlasa da yönetimi kolaydır (Lahiri vd, 2021).

- Biyoventilasyon
- Biyolojik püskürtme
- Biyolojik büyüme
- Biyodegradasyon/ biyolojik bozunma

2.4 Biyolojik Yöntemlerin Uygulanmasına İlişkin Stratejiler

Biyoremediasyonun uygulanacağı ağır metal veya diğer kirleticilerle kirlenmiş toprak, yeraltı suları ve deniz ekosisteminin iyileştirilmesinde kullanılan mikroorganizma türlerine (alg, bakteri, fungus) ve bu mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerine, ölü veya canlı biyokütle kullanımına göre çeşitli biyolojik stratejiler geliştirilmiştir (Mani ve Kumar, 2014). Bunlar mikroremediasyon, siyanoremediasyon, biyostimülasyon, biyomineralizasyon ve biyosorpsiyon olmak üzere beş ana başlıkta toplanmaktadır.

2.4.1 Mikroremediasyon

Topraktaki sudan kirletici ağır metallerin gideriminde filamentli fungusların kullanıldığı biyoremediasyon çeşididir. Düşük maliyetli ve kontrol edilebilir olmasının yanı sıra iyileştirilecek alan için doğru fungusun tercih edilmesi oldukça önemlidir. Dönmez vd (2010) *Aspergillus versicolor* fungusunun ağır metal giderimindeki biyoakümüülasyon potansiyelini araştırmış ve 5 pH değerinde, 50 mg/L de sırasıyla %99,89, %30,05, %29,06 olmaksimum krom(VI), nikel(II), bakır(II) giderim verimine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu da atık sulardan altı değerlikli krom ağır metalinin gideriminde *A. versicolor* suşunun kullanılmasına ilişkin umut ışığı olmuştur.

2.4.2 Siyanoremediasyon

Çeşitli kirleticiler tarafından kirlenmiş, yapısı bozulmuş sucul ekosistemlerin ve su tutma kapasitesi yüksek sulak toprak alanların iyileştirilmesinde siyanobakterilerin canlı veya ölü biyokütle olarak kullanılmasıdır (Mani ve Kumar, 2014).

2.4.3 Biyostimülasyon

Kirlenmiş alanlardan izole edilen bakteri ve funguslara ihtiyaçları olan çeşitli besin ve mineraller verilerek metabolizmalarının bulundukları ortama daha dayanıklı hale getirilmesi (stimülasyonu) ile yerinde biyoremediasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesidir (Mani ve Kumar, 2014).

2.4.4 Biyomineralizasyon

Madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde ağır metallere kirlenmiş sucul ve karasal ekosistemlerde bu ağır metallere karşı toleransı yüksek türler keşfedilmiştir. Bu türler aracılığı ile doğada var olan minerallerin taklit edilmesi ve ağır metallerin kararlı mineral yapıların içerisine hapsedilmesine biyomineralizasyon denmektedir (Mani ve Kumar, 2014).

2.4.5 Biyosorpsiyon

Sulu çözeltilerden ağır metal iyonlarını biyosorbent kullanarak uzaklaştırma işlemidir (Hamutoğlu vd, 2012). Biyosorbent olarak metal iyonlarına karşı afinitesi yüksek alg, bakteri ve mantarların ölü biyokütlesi tercih edilmektedir. Hücre içerisine metal iyonlarının pasif alımı ile ortamdaki ağır metal iyonları uzaklaştırılmaktadır. Fomina ve Gadd (2014) pasif alımın dar bir tanımlama olduğunu, onun yerine aktif ve pasif süreçlerin yer aldığı biyoakümülyasyon tanımının daha genel bir tanımlama olacağını belirtmişlerdir. Biyosorpsiyon, düşük maliyetli, kullanışlı, metal geri kazanımı ve verimi yüksek olması ile diğer yöntemlere göre daha avantajlı olması sebebiyle cazip

hale gelmiştir. Filamentli fungusların biyosorbent olarak kullanıldığı biyosorpsiyon çalışmalarından elde edilen başarılar gelecek için oldukça umut vericidir. (Mahmoud vd. 2017).

2.5 Atık Suların Arıtımında Fungusların Kullanımı

2.5.1 Fungusların genel özellikleri

Mantarlar (Fungi) alemi makro(mantar) ve mikroskopik (küf ve maya), ökaryot hücre yapısına sahip organizmalardan oluşmaktadır. Bu alemin üyeleri tek hücreli veya çok hücreli olabilirler. Kitin, mannan ve glukandan oluşan bir hücre çeperine sahip, klorofil içermeyen canlılardır (www.mikrobiyoloji.org 2024). Hücre çeperinin kimyasal yapısı fungusların biyoteknolojide önemli bir yere sahip olmasının temel sebeplerindendir. Genellikle parazit veya saprofit yaşayan heterotroflardır. Besinlerini hücre dışına salgıladıkları sindirim enzimleriyle ayrıştırdıktan sonra dışarıdan absorbe ederek alırlar. Ekosistemin önemli bir parçası olan ayrıştırıcıların büyük kısmını oluştururlar. Düşük pH derecesi, yüksek sıcaklık gibi olumsuz şartlara karşı dayanıklıdırlar. Dünya üzerinde oldukça geniş bir dağılıma sahiptirler. Genellikle karasal ortamlarda yayılış gösterebilirler de sucul ortamlarda ve aşırı tuzlu alanlar gibi ekstrem ortamlarda da yayılış gösteren türleri bulunmaktadır.

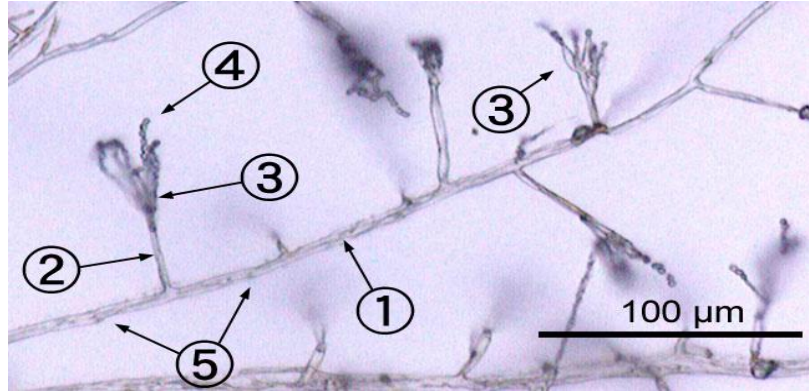
Aerobik gelişim gösterirler. Yapılan çalışmalar tüm fungus çeşitlerinin eşeyli ve eşeysiz üreyebileceğini ortaya koymuştur. Naranjo-Ortiz ve Gabaldon (2019) yaptıkları çalışmalarla funguslarda 9 ana grup tanımlamışlardır. Bunlar; Opisthosporidia, Chytridiomycota, Neocallimastigomycota, Blastocladiomycota, Zoopagomycotina, Mucoromycota, Glomeromycota, Ascomycota ve Basidiomycota. Günümüzde fungusların filogenetik sınıflandırılması yapılırken morfolojik analizlerin yanı sıra büyük ölçüde DNA analizlerine yer verilmektedir (Li vd, 2021).

Bazı funguslar uzun yıllardır insanlar tarafından gıda kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bazıları fungus türleri ise insanlarda, bitkilerde ve diğer canlılarda hastalıklara sebep olmaktadır.

Funguslar, küf (filamentli funguslar), maya ve mantarlar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadırlar.

2.5.1.1 Küfler (filamentli funguslar)

Mikroskopik funguslardır. Flamentöz (ipliksi) yapıdadırlar. Hif adı verilen dış yüzeye doğru olmuş uzantılara sahiptirler. Hifler adı verilen uzantılar tübüler yapıda olup bölmeli (septalı) veya bölmesiz (septasız) olarak görülürler. Hifler birleşerek miselyum adı verilen öbekleri oluştururlar. Filamentli funguslar oldukça geniş bir dağılıma sahiptirler(Harris,2008). Ekmek küfü, limon küfü en çok karşımıza çıkan filamentli funguslara örnektir. Şekil 2.1 te bir küf çeşidi olan *Penicillium sp.* çevresel izolatına ait kısımların mikroskop görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2.1 *Penicillium sp.* Çevresel izolatına ait kısımların mikroskop görüntüsü (1)Hif (2)Konidiofor (3)Fiyalid (4)Konidyumlar (5)Septa (Harris,2008)

Aspergillus cinsi dünyada geniş yayılış gösteren küflerdendir. 2010 yılında. *Aspergillus* cinsine ait 837 tür bulunuyordu (Hawksworth, 2011). Günümüzde ise genişlemiş haliyle 6 alt cinse ve 27 bölüme ayrılmıştır (Houbraken vd, 2020). Ascomycota şubesinin üyesi

olan *Aspergillus* cinsine ait tüm türler de Ascomycota şubesine aittir. Konidial yapıda olup eşeysiz ürerler. Eşeysiz üremede görevli sporlarına konidiospor adı verilir. Ancak bazıları teleomorf yani eşeyli üreme göstermektedirler. Eşeyli üremede görev alan sporlarına ise askospor adı verilir.

Aerobik olarak gelişirler. Büyüme için yüksek miktarda şeker, tuz gibi besinlere ve oksijene ihtiyaç duyarlar. Oksijenin yarattığı yüzey gerilimi sebebiyle nişasta bakımından zengin yiyeceklerin üzerinde küf olarak gelişirler. Sarı, yeşil, beyaz gibi renklerde yüksek pigmentasyon gösterebilirler (Mousavi vd. 2016).

Aspergillus cinsine ait türler tıbbi ve ticari açıdan oldukça önemlidir. Önemli bir patojen olmaları dışında ürettikleri çeşitli kimyasal maddeler sayesinde antimikrobiyal özellik de göstermektedirler. Hücre duvarının kimyası ve metabolizmaları sonucu ürettikleri çeşitli enzimler ile birçok endüstride önem arz etmektedirler. Ayrıca endüstriyel faaliyetler sonucunda kirlenmiş su ve toprağın iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Mathur ve Gehlot, 2021)

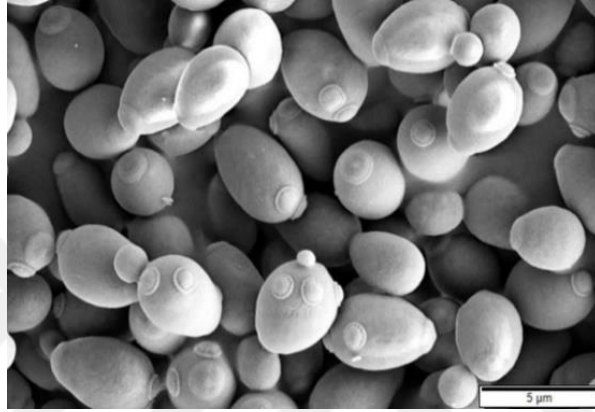
2.5.1.2 Mantarlar

Makro mantarlar olarak da bilinen şapkali mantarların bulunduğu gruptur. Tarih boyunca zehirsiz, yenilebilir türleri insanlar tarafından temel gıda kaynağı olarak kullanıldığından ekonomik açıdan oldukça önemlidirler (Üstün 2011). Eşeyli ve eşeysiz üreme ile çoğalırlar. Eşeyli üremeleri iki haploid hücrenin birleşerek oluşturduğu sporun nemli toprakta çimlenmesiyle gerçekleşmektedir. Tek hücreli olanlar ise tomurcuklanarak ürerler. Hem eşeyli hem eşeysiz üremenin görüldüğü yaşam döngülerine sahip mantarlar holomorf olarak tanımlanırlar. (www.omu.edu.tr 2024).

2.5.1.3 Mayalar

Çoğunlukla Ascomycota grubu içerisinde sınıflandırılan tek hücreli (unisellüler) funguslardır. Üremeleri ana hücreden yeni bir yavru hücrenin tomurcuklanması şeklinde olur. Bazı maya türlerinde iki maya hücresinin birleşmesi sonucu eşeyli ürediği

görülmüştür. Bu iki maya hücresinin birleşmesi sonucu bir zigot oluşmakta ve zigot içerisinde askospor adı verilen sporlar bulunmaktadır. Bazı durumlarda birden fazla maya hücresi biraraya gelerek hif benzeri filamentler oluştururlar. Bu yapıya yalancı hif (pseudohifa) adı verilir. Bazı türleri insanlarda ve hayvanlarda patojenite gösterirken bazı türleri hayvanlarla simbiyotik bir yaşam sürer. *Saccharomyces* cinsi ise ticari öneme sahiptir (Munro 2016). Ekmek, bira ve şarap gibi gıdaların üretiminde fermantatif mikroorganizma olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. 2 En çok bilinen maya türü olan *Saccharomyces cerevisiae* SEM görüntüsü (www.intechopen.com, 2024)

2.5.2 Fungusların faaliyetleri ve ticari önemi

Funguslar hem makroskopik hem mikroskopik formlarda bulunabilen, çok çeşitli biyokimyasal aktivitelere sahip organizmalardır. Tarımsal, çevresel, terapötik ve endüstriyel alanlarda geniş bir potansiyele sahiptir. Aynı zamanda olumsuz şartlarda hayatta kalmalarını sağlayan çeşitli metabolitler üretirler. Bu metabolitlerin faydalı ve zararlı etkileri mevcuttur (Goyal vd, 2017). Hayvanlar, insanlar ve tarım ürünleri üzerinde hastalık yapıcı etkilere sahip ürettikleri ikincil metabolitlere mikotoksin adı verilir (Pouris vd, 2024). *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Phomopsis*, *Cladosporium*, *Diplodia* ve *Trichoderma* türleri çeşitli mikotoksin üreten funguslardır (Kabak vd, 2006). Aflatoksinler, sitrinin, patulin, fumonisinler ve okratoksin A bu mikotoksinlerden bazılarıdır (Doughari, 2015).

Funguslar kullanılarak üretilen biyoaktif bileşikler hem tıpta terapötik olarak hem gıda endüstrisinde koruyucu olarak kullanılırlar. Biyoaktif bileşikler sitotoksik, antibakteriyel, antiviral, antiinflamatuvar, antioksidan ve fungusit olarak görev yapmaktadırlar. Aspironol, mitorubrin, kladosin C, 4-Hidroksimellerin, kalbistrin A ve B, hispidin biyoaktif bileşiklere örnek olarak verilebilir (Han vd, 2013; Wu vd, 2014; Chen vd, 2014; Xiao vd, 2015; Grijseels vd, 2018).

Funguslar hızlı, kolay, düşük maliyetli gelişmeleri ve yüksek pigment sebebiyle de ticari pigment üretiminde büyük öneme sahiptir. İnsanlar ve hayvanlar için patojenik ve toksik olmayan pigmentlerden bazıları şunlardır; β -karoten (sarı, turuncu). (Zhang vd, 2016), azafilonlar(sarı, kırmızı ve turuncu tonları) (Chen vd, 2017) ve azulen (mavi) (Feussi vd, 2017).

Fungusların en önemli aktivitelerinden biri de doğadaki biyokütlenin mineralizasyonudur. Hücre dışına salgıladıkları güçlü enzimlerle mineralizasyonu gerçekleştirirler. Ürettikleri enzimler maden, kağıt, gıda, deterjan, tekstil, tarım ve ilaç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Funguslardan elde edilen ve çeşitli endüstrilerde kullanılan başlıca enzimler; lignoselüloolitik enzimler, lakkazlar, selülazlar, peroksidazlar, proteazlar, tirozinazlar, lipaz, inülinaz, pektinaz, glikoz oksidaz, glukoamilaz, α -amilaz, fitaz, ksilinaz ve rennindir (Mathur ve Gehlot, 2021).

2.5.3 Fungusların ağır metal gideriminde kullanılması

Fungusların yararlı faaliyetleri ve düşük pH değerlerinde, ağır metal, tekstil boyaları gibi çeşitli kirleticiler tarafından kirlenmiş alanlarda hayatta kalma yetenekleri onları ticari açıdan önemli hale getirmiştir.

Aspergillus cinsine ait filamentli fungus türlerinin bazıları asperküloziz gibi çeşitli hastalıklara yol açtığı gibi bazı türleri endüstriyel atık sulardaki ağır metallerin ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan biyosorpsiyon çalışmalarında önemli biyosorbentler olarak kullanılmaktadırlar.

Almaguer-Cantú vd (2019) *Rhizopus sp.* fungusunun düşük pH (pH 2) değerinde yüksek oranda krom(VI) giderimi gerçekleştirdiğini ortaya koymuşlardır. Bu da düşük pH değerindeki sulardan ağır metal gideriminde umut verici olmuştur.

Gutierrez-Corona vd (2015) yaptıkları çalışmada *Aspergillus niger* ve *A. tubingensis* suşlarını kullanarak glikoz oksidaz varlığında GOX aktivitesine bağlı olarak krom(VI) oranında %90 azalma gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Brindhadevi vd (2021) yaptıkları çalışmada *Aspergillus tubingensis* AF3 suşunun, 25°C, pH 7, %0.5 dekstrozu ve 12 günlük inkübasyonun 12. gününde %74,48 oranında krom(VI) giderimini etkili bir şekilde gerçekleştirdiğini ortaya koymuşlardır.

Bir başka çalışmada ise denizden izole edilen *Aspergillus niger* türünün başlangıç krom(VI) konsantrasyonu 50 mg/L, biyosorbent konsantrasyonunun 1 g/L olduğu koşullarda pH 1 değerinde %100 giderim verimine sahip olduğu ortaya konmuştur (Xu vd, 2022).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Mikroorganizma kaynağı

Tez çalışmasında, krom(VI) ağır metaliyle kirlenmiş atık sudaki biyosorpsiyon kapasitesini belirlenmek amacıyla adsorbent olarak Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı kültür koleksiyonunda yer alan *Aspergillus tubingensis* fungusu kullanılmıştır. *A. tubingensis*, PDA içeren yatık besiyerinde stok kültüre alınıp 4°C’de buzdolabında saklanmıştır.

3.1.2 Biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılan krom(VI)

Çalışmada krom(VI) kaynağı olarak $K_2Cr_2O_7$ kimyasalı kullanılmıştır. Gerekli seyreltmelerle stok solüsyon hazırlanmıştır.

3.1.3 Karbon kaynağı olarak kullanılan hammadde

Karbon kaynağı olarak ejder meyvesi kabuğu atığı kullanılmıştır. Ejder meyvesi kabuğu İzmir bölgesindeki Mimas Bahçe yerel işletmesi ve Mersin bölgesindeki Tulca Organik Gıda Hayvancılık Tur. San. Ve Tic. Ltd. Şti.den air dry yöntemiyle kurutulmuş halde temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ejder meyvesi kabuğunun ön muamele işlemi

Ejder meyvesi kabuğu zirai atığı kurutulmuş halde temin edildikten sonra endüstriyel değirmende (Miprolab, Türkiye) 0.1 mm boyutunda öğütülmüştür. Öğütülen hammadde kullanılacağı ana kadar mavi kapaklı saklama şişelerinde muhafaza edilmiştir.

Hammadde kullanılacağı zaman 10 g/L olacak şekilde tartılmış ve %1 0.1 M H₂SO₄ kullanılarak seyreltik asit ön-işlemine tabi tutulmuştur ve 121 °C’de 15 dakika boyunca otoklavlanarak sterilize edilmiştir.

3.2.2 Ejder meyvesi kabuğu içeren besiyerinin hazırlanması

Ejder meyvesi kabuğunun seyreltik asit ön-işlemi sonrası elde edilen hidrolizatın pH’ı 0.1 M NaOH ve 0.1 M H₂SO₄ ile 5’e ayarlanmış ve hazırlanan besiyeri 250 mL’lik steril erlenlere 100’er mL olacak şekilde aktarılmıştır.

3.2.3 Besiyerinde fungal biyokütlenin geliştirilmesi

Ejder meyvesi kabuğu şekeri içeren 100 mL steril besi yeri bulunan 250 mL’lik erlenmeyerlere *A. tubingensis* fungal izolatı inoküle edilmiş, 30°C’de 100 rpm çalkalama hızında çalkalayıcı inkübatörde (Gerhardt/Almanya/THO500) 6 gün boyunca geliştirilmiştir.

3.2.4 Fungal biyokütlenin kuru ağırlığının belirlenmesi

Gelişmiş fungal biyokütle besin ortamından alınıp Whatman kurutma kağıdıyla süzildükten sonra 1 saat süre ile 80 °C’de kurutulmuştur. Daha sonra boş ağırlıkları alınmış Whatman kurutma kağıtlarında etüvde (Nüve FN 400) 60 °C’de 24 saat tekrar kurutulmuş ve tartılmıştır.

3.2.5 Biyosorpsiyon deneyleri için fungal biyosorbentin hazırlanması

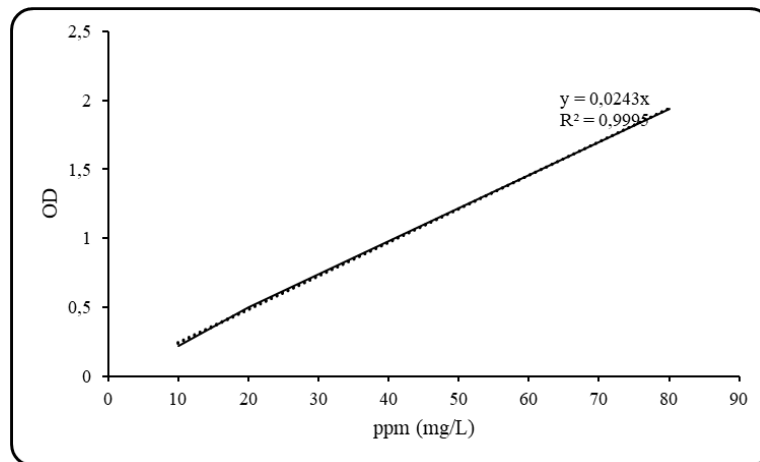
Ejder meyvesi kabuğunun seyreltik asit ön-işlemi sonrası pH’ı 0.1 M NaOH ve 0.1 M H₂SO₄ ile 5’e ayarlanmış ve hazırlanan besiyeri 250 mL’lik steril erlenlere 100’er mL olacak şekilde aktarılmıştır. Daha sonra hazırlanan besiyerine steril koşullarda stok kültürden fungal izolat hazırlanan inoküle edilmiştir. Erlenler, 6 gün boyunca 30 °C’de

100 rpm'lik çalkalamalı inkübatörde (Gerhardt/Almanya/THO500) inkübasyona bırakılmıştır.

Gelişen fungal biyokütle, biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere sıvı besin ortamından Whatman kurutma kağıdı ile süzülüp etüvde (Nüve FN 400) 24 saat süresince 60 °C'de inaktive edilmiştir. Kurutulan fungal biyokütle, istenilen miktarda tartılarak kullanılmıştır. 10 g/L derişimde homojenize fungus çözeltisi hazırlamak için, 0.1 g kurutulmuş fungus pelletletü üzerine 10 mL distile su ilave edilerek 5000 rpm'de homojenizatör (IKA-Labortechnik, Ultra Turrax T25, Germany) ile 1 dakika boyunca parçalanarak homojenize edilmiştir.

3.2.6 Biyosorpsiyon deneylerinde kullanılacak krom(VI) stok çözeltisinin ve krom(VI) standardının hazırlanması

Krom(VI) stok çözeltisini hazırlamak için 28.27 g $K_2Cr_2O_7$ bileşüi, 1 L distile su içerisinde çözülmüş ve deneylerde istenilen (5-100 mg/L) krom(VI) konsantrasyonunu elde etmek için çözelti seyreltilmiştir. Biyosorpsiyon çalışmaları için krom(VI) standardının hazırlanmasında dört adet 100 ml'lik balon jojeler içerisinde 20-80 ppm aralüında konsantrasyonlara sahip krom(VI) bulunan su hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin 540 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile krom(VI) standardı belirlenmiştir. Şekil 3.1'de krom(VI) standardı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Biyosorpsiyon çalışmaları için krom(VI) standardı

3.2.7 Biyosorpsiyon alışmaları

Biyosorpsiyon deneyleri 50 mL krom(VI) özeltisi içeren 150 mL'lik erlenmeyerlerde gerçekleştirilmiştir. İstenilen konsantrasyonlarda krom(VI) ve biyosorbent içeren erlenmeyerler 100 rpm'de 240 dakika boyunca çalkalanmıştır. Belirli dakikalarda alınan örnekle 5000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası süpernatantlar krom(VI) giderim verimliliğinin belirlemek üzere spektrofotometrik olarak 540 nm'de 1,5-difenilkarbazid reaktifi aracılığı ile ölçölmüştür.

3.2.8 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisinin araştırılması

Çözeltide pH'ın biyosorpsiyon üzerindeki etkisinin belirlenmesi için 1 g/L fungal biyosorbent ve yaklaşık 5 mg/L krom(VI) içeren çözelti pH 2 ila 10 aralığında incelenmiştir. Fungal biyosorbentin eklenmesinden önce krom(VI) özeltilerinin pH'ı 0.1 M NaOH ve 0.1 M H₂SO₄ kullanılarak belirlenen pH değerlerine ayarlanmıştır.

3.2.9 Başlangıç krom(VI) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisinin araştırılması

Artan krom(VI) konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisinin belirlenmesi için deneyler, optimum pH değerinde yaklaşık 5-100 mg/L (5.0 mg/L'den 96.80 mg/L'ye) krom(VI) konsantrasyonları arasında yapılmıştır. krom(VI) özeltilerinin bulunduğu erlenmeyerler 100 rpm'de 240 dakika boyunca çalkalanmıştır.

3.2.10 Başlangıç biyosorbent konsantrasyonlarının ve zamanın biyosorpsiyona etkisinin araştırılması

Optimum pH değeri ve tüm krom(VI) konsantrasyonları için 1, 2 ve 3 g/L olmak üzere farklı biyosorbent konsantrasyonları incelenmiştir. Tüm biyosorbent deneyleri sırasında 0, 5, 15, 30, 60, 120, 180, 240. dakikalarda örnekle alınarak spektrofotometrik olarak analizi gerçekleştirilmiştir.

3.3 Analitik Yöntemler

3.3.1 Spektrofotometrik ölçümler

Biyosorpsiyon ortamında adsorbe edilmemiş krom(VI) analizi, biyosorpsiyon ortamının 1,5-difenilkarbazid ($C_{13}H_{14}N_4O$) çözeltisi varlığında, sülfürik asit (H_2SO_4) ile tepkimesi sonucunda gerçekleştirilmiştir. Spektrofotometrik ölçümler, 540 nm dalga boyuna ayarlanan spektrofotometre (Shimadzu UV-1201V) cihazı ile yapılmıştır (Snell ve Snell 1959).

Ejder meyvesi kabuğundaki indirgen şeker miktarının belirlenmesi için 3,5-DNS yöntemi (Miller, 1959) kullanılmış ve spektrofotometre cihazı (Shimadzu UV-1201 model UV-VIS) kullanılarak 540 nm'de spektrofotometrik olarak ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Krom(VI) çözeltilerindeki krom(VI) konsantrasyonuna ait absorbans değerleri 540 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülmüştür.

3.3.2 Biyosorpsiyon veriminin hesaplanması

Herhangi bir t zamanında gram cinsinden biyosorbent başına düşen maksimum krom(VI) alımı (q_m) ve biyosorpsiyon yüzdesi (%)’nin hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

Urréjola-Madriñán vd. 2022’ye göre;

$$\text{Denklem 1: Biyosorpsiyon (\%)} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100$$

Sibi (2016)’ya göre;

$$\text{Denklem 2: } q_m (mg / g) = \frac{C_0 - C_f}{X_m}$$

C_0 : Çözeltideki başlangıç krom(VI) konsantrasyonunu (mg/L),

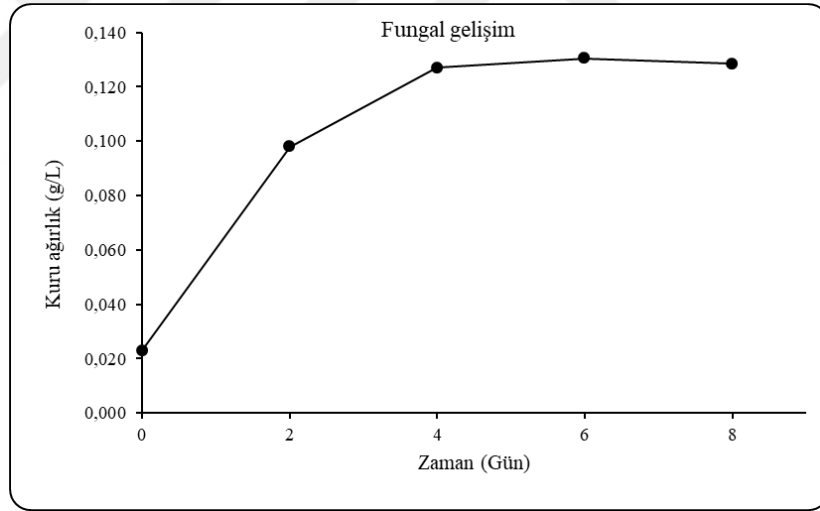
C_f : Herhangi bir zamandaki krom(VI)’nın son konsantrasyonu (mg/L),

X_m : Fungal biyosorbent konsantrasyonunu (g/L) göstermektedir.

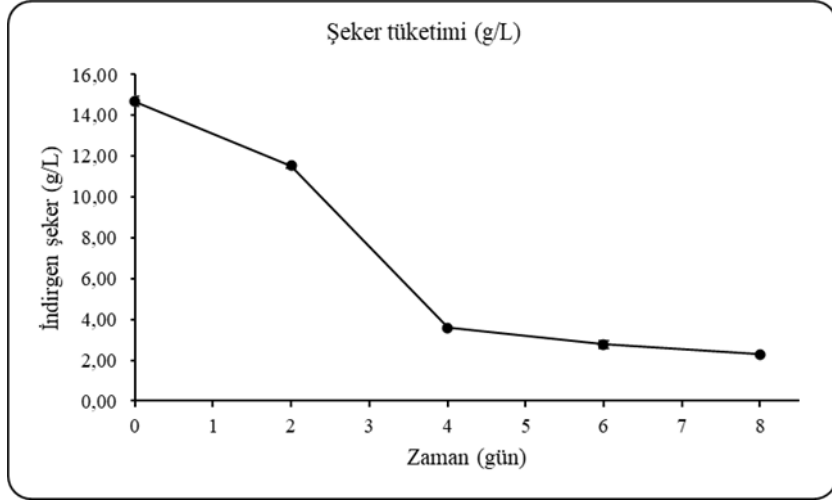
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Ejder Meyvesi Kabuğunun Fungal Biyokütle Gelişimine Etkisinin Belirlenmesi

Yapılan tez çalışmasında *Aspergillus tubingensis* fungusunun ejder meyvesi kabuğu şekeri içeren besiyerinde zamana bağlı gelişimi incelenmiştir. 6 günlük inkübasyon süresi sonunda şekil 4.1’de görüldüğü gibi en yüksek gelişim verimine ulaştığı belirlenmiştir. 6. Günden sonra fungal biyokütle gelişiminin durduğu ve azalmaya başladığı belirlenmiştir. Bu bağlamda şekil 4.2 de görüldüğü üzere ilk 4 gün şeker tüketim miktarının maksimum düzeyde olduğu ve 6. gün itibariyle tüketilen şeker miktarında azalma olduğu ve 8. Günde minimum düzeyde şeker tüketiminin varlığı belirlenmiştir.



Şekil 4.1 % 1 H₂SO₄ ile ön-işleme tabi tutulan 10 g/L ejder meyvesi kabuğu şekeri varlığında geliştirilen *A. tubingensis* gelişiminin zamana bağlı değişimi (Besiyeri koşulları; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 5; 6 gün)



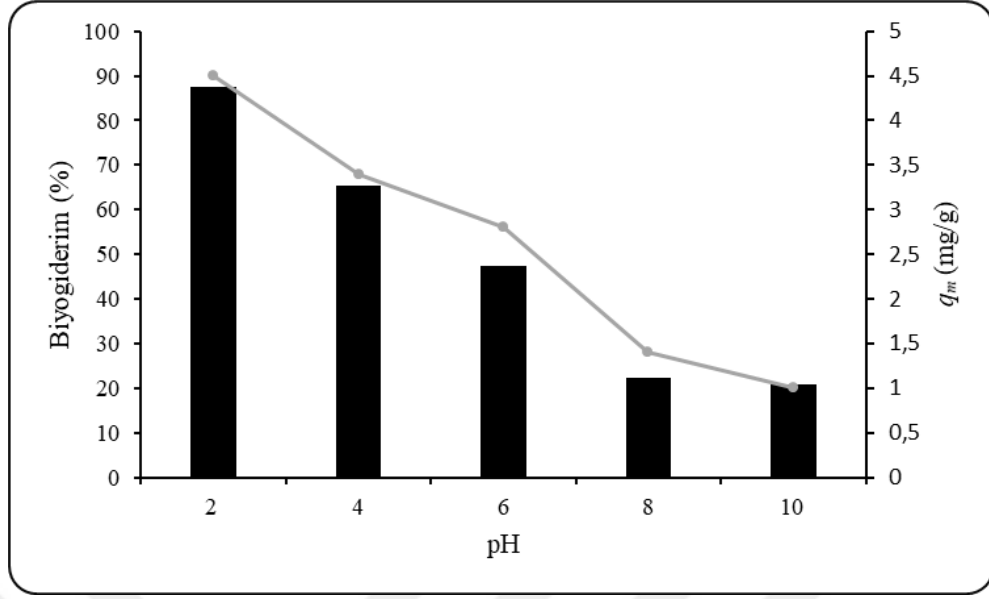
Şekil 4.2 % 1 H₂SO₄ ile ön-işleme tabi tutulan 10 g/L ejder meyvesi kabuğu varlığında geliştirilen *A. tubingensis*'in zamana bağlı indirgen şeker tüketimi (Besiyeri koşulları; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 5; 8 gün)

4.2 Başlangıç pH Değerinin Biyosorpsiyona Etkisinin İncelenmesi

Biyosorbent olarak *Aspergillus tubingensis* fungusunun kullanıldığı biyosorpsiyon deneylerinde, biyosorpsiyon kapasitesini belirlemek için sabit 5 mg/L krom(VI) konsantrasyonu ve 1 g/L fungal biyosorbent konsantrasyonunda pH değeri sırasıyla 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak değiştirilerek analiz gerçekleştirilmiştir.

Krom(VI) konsantrasyonlarının belirtilen pH değerleri ayarlandıktan sonra biyosorbentleri eklenmiştir. 100 rpm çalkalama hızında belirli zaman aralıklarına örnekler alınarak spektrofotometrik analizleri gerçekleştirilmiştir.

2, 4, 6, 8 ve 10 pH değerlerinde, farklı zamanlardaki biyogiderim kapasitesi incelenmiştir. 120. Dakikada en yüksek krom(VI) gideriminin %87.40 ile 2 pH değerinde gerçekleştiği saptanmıştır. Buna bağlı olarak deneyin sonraki safhalarında 2 pH değeriyle çalışılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Fungal biyosorbent ile krom (VI) gideriminde başlangıç pH değerinin etkisi (5 mg/L krom(VI); 1 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; 120. dakika)

4.3 Başlangıç Krom(VI) Konsantrasyonunun Biyosorpsiyon Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Biyosorbent konsantrasyonu 1g/L ve pH değeri 2 olacak şekilde artan başlangıç krom(VI) konsantrasyonunun (5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm) biyogiderim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 4.1’de farklı başlangıç krom(VI) konsantrasyonlarıyla (C_0) farklı dakikalardaki biyosorpsiyon sonucunda elde edilen verilerle, herhangi bir zaman aralığında gram biyosorbent başına düşen maksimum krom(VI) alımı (q_m), ortamda kalan krom(VI) miktarı (C_f) ve herhangi bir zamanda yüzdelik olarak krom(VI) giderimi hesaplanmıştır.

Krom(VI) konsantrasyonu 5 ppm (mg/L) hedeflenen deney ortamında 6 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonu elde edilmiş ve C_f miktarı zamana bağlı olarak azalırken, q_m ve krom(VI) giderim miktarı zamana bağlı olarak artmıştır. 240 dakika sonunda krom(VI) giderimi diğer konsantrasyonlarla karşılaştırıldığında maksimum değer olan %87.40 olarak hesaplanmıştır.

10 ppm olarak hedeflenen deney ortamında 10.6 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonu sağlanmış olup 240 dakika sonunda krom(VI) giderim yüzdesi %66.81 olarak hesaplanmıştır.

15 ppm hedeflenerek hazırlanan 17 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonunda 240 dakika sonunda krom(VI) giderim yüzdesi %43.80 şeklinde tespit edilmiştir.

27.3 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonu 25 ppm hedeflenerek hazırlanmıştır. 240 dakika sonunda krom(VI) gideriminin 17 ppm başlangıç konsantrasyonundaki krom(VI) giderim yüzdesiyle çok yakın değer olan %44.50 olarak hesaplanmıştır.

50 ppm hedeflenerek hazırlanan 46.3 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonunda 240 dakika sonra krom(VI) giderim yüzdesinde az miktarda düşüş olduğu gözlenmiş ve %35.48 olarak hesaplanmıştır.

Başlangıç krom(VI) konsantrasyonu 100 ppm hedeflenerek hazırlanmış olup 98 ppm olarak ölçülmüştür. 240 dakika sonunda krom(VI) giderim yüzdesi %26.34 olarak hesaplanmıştır. Başlangıç krom(VI) konsantrasyonları arttıkça krom(VI) giderim yüzdesi azalmıştır. 240 dakika sonunda 5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm krom(VI) konsantrasyonlarında giderim yüzdesi sırasıyla %87.40, %66.81, %43.80, %44.50, %35.48, %26.34 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Fungal biyosorbent ile artan krom(VI) konsantrasyonlarının biyosorpsiyonunda C_0 (mg/L), q_m (mg/g) ve giderim (%) değerleri (1 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 2)

1 g/L	Zaman (Dakika)																
	C ₀	T ₀		5'		15'		30'		60'		120'		180'		240'	
pH2	Ppm (mg/L)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)
5 pm	6.0 ±0.25	3.5 ±0.06	52.31 ±1.52	3.7 ±0.13	53.85 ±0.54	3.7 ±0.02	59.23 ±2.43	4.0 ±0.02	62.31 ±0.35	4.3±0.15	77.31 ±1.70	4.4 ±0.35	82.68 ±3.09	4.5 ±0.33	85.04 ±2.68	4.9 ±0.46	87.40 ±4.61
10 ppm	10.6 ±0.35	4.6 ±0.08	43.14 ±2.38	5.0 ±0.04	46.67 ±1.25	5.5 ±0.19	55.04 ±3.60	5.6 ±0.04	56.30 ±2.27	5.7 ±0.06	57.14 ±1.32	5.9 ±0.04	59.66 ±2.38	6.4 ±0.02	64.29 ±2.34	6.6 ±0.15	66.81 ±3.60
15 ppm	17.0 ±0.08	3.6 ±0.92	21.17 ±5.51	4.8 ±0.69	28.01 ±4.15	5.3 ±0.44	31.20 ±2.71	5.5 ±0.52	32.43 ±3.20	5.9 ±0.63	34.64 ±3.82	6.0 ±0.52	35.63 ±3.21	6.5 ±0.58	38.57 ±3.59	7.3 ±0.10	43.80 ±0.40
25 ppm	27.3 ±0.04	8.3 ±0.46	30.49 ±1.73	9.3 ±0.08	33.99 ±0.36	10.0 ±0.04	36.43 ±0.21	10.4 ±0.17	38.07 ±0.55	10.8 ±0.29	39.45 ±1.01	11.2 ±0.50	41.13 ±1.77	11.6 ±0.40	42.51 ±1.38	12.1 ±0.77	44.50 ±2.75
50 ppm	46.3 ±2.13	11.0 ±0.92	23.78 ±0.81	13.8 ±1.17	27.39 ±1.26	14.4 ±0.96	28.55 ±0.76	14.8 ±1.08	29.37 ±0.99	15.8 ±1.38	31.35 ±1.53	17.2 ±2.00	33.99 ±2.76	17.5 ±2.17	34.65 ±3.09	17.9 ±2.00	35.48 ±2.69
100ppm	98.0 ±2.25	8.5 ±2.67	8.67 ±2.41	14.2 ±2.33	13.82 ±2.06	15.5 ±0.08	15.82 ±0.27	16.5 ±0.00	16.84 ±0.37	22.5 ±2.67	22.96 ±3.11	22.5 ±1.83	22.96 ±2.29	22.5 ±2.00	25.85 ±1.45	27.0 ±2.67	26.34 ±2.12

4.4 Başlangıç Biyosorbent Konsantrasyonunun Biyosorpsiyona Etkisinin İncelenmesi

Başlangıç pH değerinin, başlangıç krom(VI) konsantrasyonunun ve zamanın biyosorpsiyon üzerine etkisi incelenirken sabit bir değer olarak kullanılan 1 g/L biyosorbent konsantrasyonu, başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyosorpsiyon üzerine etkisinin incelenmesi için pH değeri 2’de, biyosorbent konsantrasyonu 2 g/L ve 3 g/L olarak değiştirilerek incelenmiştir. Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının (2 g/L, 3 g/L) farklı başlangıç krom(VI) konsantrasyonlarında (5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm) zamana bağlı olarak krom(VI) giderim yüzdeleri Çizelge 4.2’de ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

2 g/L biyosorbent konsantrasyonu için 240 dakika sonunda 5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonlarında krom(VI) giderim yüzdeleri sırasıyla %100, %92.83, %74.50, %68.67, %48.20, %41.37 şeklinde hesaplanmıştır. krom(VI) başlangıç konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi giderek düşmektedir. 1g/L biyosorbent konsantrasyonunda krom(VI) giderim yüzdesi 240 dakika sonunda maksimum %87.40 hesaplanırken başlangıç biyosorbent konsantrasyonu 2g/L ye çıkarıldığında reaksiyon 5. Dakikaya gelmeden krom(VI) giderim yüzdesi %95.45 olmuş ve krom(VI) adsorpsiyonu hızlanmıştır (Çizelge 4.2).

Başlangıç biyosorbent konsantrasyonu 3 g/L ayarlandığında 240 dakika sonunda 5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm krom(VI) başlangıç konsantrasyonlarında sırasıyla krom(VI) giderim yüzdeleri %100, %100, %89.61, %87.42, %55.61, %46.64 hesaplanmıştır. 50 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonunda,, konsantrasyon artışına bağlı olarak krom(VI) giderim yüzdesinde ani bir düşüş gözlenmiştir. 3 g/L biyosorbent konsantrasyonunda en yüksek krom(VI) giderim yüzdesi 15. Dakikada 5 ppm başlangıç krom(VI) konsantrasyonunda %100 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2 Başlangıç biyosorbent konsantrasyonunun artan krom(VI) konsantrasyonlarıyla birlikte biyosorpsiyona etkisi ve C₀ (mg/L), q_m (mg/g) ve giderim (%) değerleri (2 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 2)

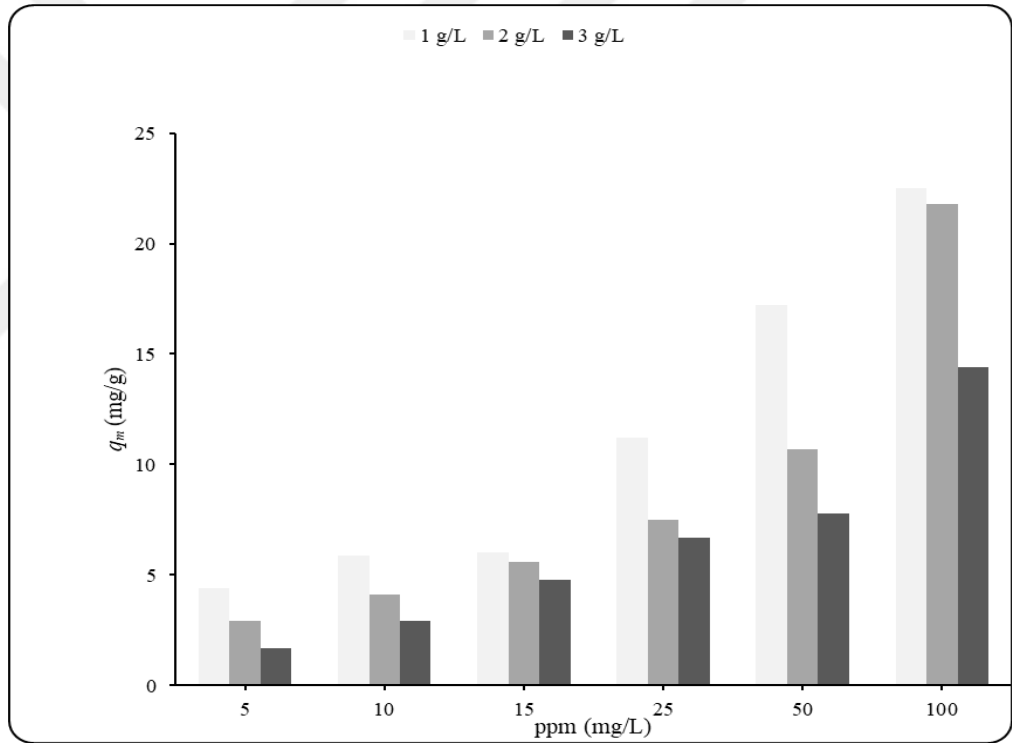
2 g/L	Zaman (Dakika)																
	C ₀	T ₀		5'		15'		30'		60'		120'		180'		240'	
pH2	Ppm (mg/L)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)
5 ppm	4.6 ±0.67	2.2 ±0.32	95.45 ±0.16	2.2 ±0.32	96.36 ±0.06	2.9 ±0.33	97.18 0.41	2.3 ±0.32	98.18 ±0.15	2.3 ±0.32	98.18 ±0.15	2.9 ±0.33	99.30 ±0.10	2.9 ±0.33	99.30 ±0.10	3.0 ±0.33	100.00 ±0.00
10 ppm	9.9 ±0.35	3.3 ±0.18	72.73 ±0.98	3.7 ±0.31	74.68 ±0.98	3.5 ±0.22	77.27 ±1.66	3.6 ±0.28	80.59 ±1.66	3.8 ±0.30	83.97 ±2.89	4.1 ±0.25	86.92 ±3.23	4.3 ±0.14	87.76 ±2.06	4.4 ±0.13	92.83 ±0.63
15 ppm	16.7 ±0.23	3.5 ±0.00	42.25 ±0.60	3.8 ±0.03	45.25 ±1.03	4.3 ±0.02	51.00 ±0.46	4.4 ±0.07	52.75 ±0.65	5.0 ±0.27	53.75 ±0.65	5.6 ±0.24	60.25 ±2.49	5.6 ±0.24	67.00 ±2.01	6.2 ±0.16	74.50 ±0.87
25 ppm	23.8 ±0.10	5.9 ±0.03	50.00 ±0.04	6.2 ±0.18	52.46 ±49.91	6.4 ±0.22	53.86 ±1.62	6.4 ±0.18	54.04 ±1.27	6.5 ±0.02	55.22 ±0.07	7.5 ±0.11	63.16 ±0.69	7.9 ±0.06	67.43 ±0.23	8.1 ±0.02	68.67 ±0.13
50 ppm	48.6 ±1.08	7.3 ±0.15	30.19 ±1.33	7.6 ±0.27	32.85 ±0.38	9.0 ±0.40	37.05 ±0.84	9.5 ±0.50	38.94 ±1.25	10.7 ±0.72	44.17 ±2.07	10.7 ±0.53	46.14 ±1.62	11.2 ±0.62	46.40 ±1.21	11.7 ±0.70	48.20 ±1.88
100ppm	109.2 ±11.08	16.6 ±5.38	30.38 ±8.49	17.3 ±4.79	31.76 ±6.97	17.4 ±4.29	31.91 ±5.80	17.8 ±3.92	32.67 ±4.84	19.3 ±4.58	35.42 ±6.02	21.8 ±5.75	40.00 ±8.12	22.6 ±5.50	41.37 ±7.37	22.6 ±5.17	41.37 ±6.61

Çizelge 4.3 Başlangıç biyosorbent konsantrasyonunun artan krom(VI) konsantrasyonlarıyla birlikte biyosorpsiyona etkisi ve C₀ (mg/L), q_m (mg/g) ve giderim (%) değerleri (3 g/L fungal biyosorbent; 30 °C; 100 rpm; pH değeri 2)

3 g/L	Zaman (Dakika)																
	C ₀	T ₀		5'		15'		30'		60'		120'		180'		240'	
pH2	Ppm (mg/L)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)	q (cad/X (Biyokütle Konsantras yonu)) (mg/g)	Biyogid erim (%)
5 ppm	4.6 ±0.23	1.5 ±0.07	98.18 ±0.33	1.5 ±0.07	99.09 ±0.37	1.7 ±0.08	100.00 ±0.00	1.7 ±0.08	100.00 ±0.00	1.7 ±0.08	100.00 ±0.00	1.7 ±0.08	100.00 ±0.00	1.7 ±0.08	100.00 ±0.00	1.7 ±0.08	100.00 0.00
10 ppm	8.8 ±0.04	2.7 ±0.06	91.94 ±3.63	2.8 ±0.05	96.68 ±3.13	2.9 ±0.01	97.63 ±0.25	2.9 ±0.01	97.63 ±0.01	2.9 ±0.00	98.56 ±0.23	2.9 ±0.01	99.05 ±0.00	2.9 ±0.01	99.53 ±0.24	2.9 ±0.01	100.00 ±0.24
15 ppm	18.0 ±0.19	3.5 ±0.12	58.43 ±2.74	3.8 ±0.01	63.92 ±0.78	4.2 ±0.08	69.98 ±0.55	4.4 ±0.08	73.44 ±0.64	4.6 ±0.01	78.07 ±1.04	4.8 ±0.06	79.68 ±0.22	4.8 ±0.01	81.37 ±0.61	5.4 ±0.24	89.61 ±3.06
25 ppm	24.3 ±0.25	5.4 ±0.07	66.44 ±0.17	5.8 ±0.10	69.46 ±0.57	5.9 ±0.17	71.48 ±1.32	6.1 ±0.20	73.83 ±1.72	6.6 ±0.15	79.87 ±0.98	6.7 ±0.10	80.54 ±0.37	7.2 ±0.09	86.41 ±0.23	7.2 ±0.13	87.42 ±0.64
50 ppm	44.6 ±0.54	7.3 ±0.76	49.07 ±4.61	7.3 ±0.60	49.44 ±3.55	7.4 ±0.53	49.63 ±3.02	7.7 ±0.67	51.68 ±3.95	7.8 ±0.55	52.15 ±3.13	7.8 ±0.38	52.80 ±1.98	8.1 ±0.33	54.49 ±54.49	8.3 ±0.24	55.61 ±0.98
100ppm	96.8 ±2.83	7.4 ±0.89	22.89 ±4.15	7.4 ±0.33	23.06 ±0.98	12.0 ±1.39	31.21 ±1.32	12.3 ±1.58	32.08 ±1.84	12.7 ±1.06	39.41 ±0.42	14.4 ±0.37	44.66 ±4.56	14.7 ±1.60	45.52 ±7.81	15.1 ±1.19	46.64 ±6.85

Çizelge 4.2 ve çizelge 4.3 incelendiğinde başlangıç biyosorbent konsantrasyonunun 2 g/L ve 3 g/L olduğu her bir krom(VI) başlangıç konsantrasyonlarında 120. Dakikaya kadar q_m değerinin arttığı gözlenmiştir. Her iki başlangıç biyosorbent konsantrasyonu karşılaştırıldığında 2 g/L başlangıç fungal biyosorbentinin q_m değerinin 3 g/L başlangıç fungal biyosorbentinin q_m değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tüm başlangıç krom(VI) konsantrasyonlarında en düşük q_m değeri 3 g/L biyosorbent konsantrasyonunda incelenmiştir. Tüm krom(VI) konsantrasyonlarında (5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm) en yüksek q_m değeri 1 g/L biyosorbent konsantrasyonunda incelenmiştir.



Şekil 4.4 Artan biyosorbent konsantrasyonları ile artan krom(VI) konsantrasyonlarının biyosorpsiyonunda 120. dakikadaki q_m değerlerinin karşılaştırması (30 °C; 100 rpm; pH değeri 2)

4.5 Zamanın Biyosorpsiyona Etkisinin İncelenmesi

Bu tez çalışmasında her parametre için zaman etkeni değerlendirilmiştir. Zamana bağlı olarak krom(VI) biyogiderim yüzdesinde görülen artışın, biyosorpsiyonun denge noktasına ulaştığında sabitlendiği görülmüştür. Denge noktasına ulaşma zamanının biyosorbent konsantrasyonu ve başlangıç krom(VI) konsantrasyonuna göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır. 5ppm (mg/L) başlangıç krom(VI) konsantrasyonunda, 1 g/L fungal biyosorbent varlığında biyogiderim yüzdesi 240. dakikaya kadar artmış ve 240 dakika sonunda en yüksek yüzde değeri %87.40 olarak hesaplanmıştır. 2 g/L ve 3 g/L fungal biyosorbent varlığında denge noktası 15. dakikaya kadar düşerek biyogiderim yüzdesi sırasıyla %97.18 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Fungal biyosorbent konsantrasyonu arttığında krom(VI) giderim reaksiyonunun dengeye gelme süresinin kısaldığı gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Madencilik ve deri tabaklama gibi çeşitli endüstriyel faaliyetler sonucu ağır metaller, boyar maddeler, toksik maddeler bakımından kirlenmiş suların çevreye salınması insan, hayvan ve bitki sağlığını büyük ölçüde tehdit etmektedir. Endüstriyel atık sulardaki ağır metallerin gideriminde bugüne kadar çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler sonrası fazla atık çamurun oluşması ve oluşan çamurun bertaraf edilememesi, yöntemlerin her ağır metal çeşidi için uygun ve kullanışlı olmayışı, verimin düşük, maliyetin yüksek oluşu sebebiyle biyolojik yöntemler daha cazip hale gelmiştir. Son yıllarda biyolojik yöntemler, kullanışlı oluşu, uygulanabilirliğinin ve veriminin yüksek oluşu, maliyetin düşük oluşu sebebiyle daha çok tercih edilmektedir.

Her ağır metal çeşidinin farklı kimyasal yük ve molekül ağırlığına sahip oluşu giderim için seçilen mikroorganizmanın o ağır metal çeşidine karşı dirençli olmasını gerektirmektedir.

Tez çalışmasında biyosorpsiyon kapasitesi yüksek, üretimi kolay ve giderim maliyeti düşük olan *Aspergillus tubingensis* filamentli fungusu tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında biyosorbent olarak kullanılan *Aspergillus tubingensis*, Türkiye’de yerel bir tekstil firmasının atık sularından izole edilmiş ve Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı kültür koleksiyonuna eklenmiştir (Karatay, S.E vd, 2023). Ağır metal giderim çalışmalarında ise deri tabaklama ve maden endüstrisinde sıklıkla tercih edilen altı değerlikli krom (VI) kullanılmıştır.

Literatürde biyosorbent olarak fungusların kullanıldığı çalışma sayısı fazla olup, fungusun yetiştirilmesinde karbon kaynağı olarak ejder meyvesi kabuğu atığının kullanıldığı çalışma sayısı azdır.

Tez çalışmasına benzer şekilde funguslarla gerçekleştirilen ağır metal giderim çalışmaları ve çeşitli parametrelerin bu çalışmalar üzerindeki etkileri aşağıda verilmiştir.

5.1 Ejder Meyvesi Kabuğunun Fungal Biyokütle Gelişimine Etkisi

Biyosorbent olarak kullanılan fungusun gelişiminde en önemli etken madde karbondur. Filamentli fungus *A. tubingensis* üretiminde karbon kaynağı olarak ejder meyvesi kabuğu atığında bulunan şekerler kullanılmıştır. Biyosorbent olarak tercih edilen *Aspergillus* türlerinin gelişiminde karbonun önemli bir yerinin olduğu çeşitli çalışmalarla da kanıtlanmıştır. Parkı vd. 2005 yılında yaptığı çalışmada sentetik atık sulardan krom(VI) gideriminde ucuz ve kullanışlı bir biyosorbent olan *Aspergillus niger* biyokütlesini kullanmayı tercih etmiştir. *A. niger*, oda sıcaklığında 20 g/L malt özütü, 20 g/L glikoz ve 1 g/L pepton içeren karbon açısından zengin bir ortamda yetiştirilmiş ve 7 günlük inkübasyon sonucunda maksimum gelişim seviyesine ulaştığını gözlemlemiştir.

Tez çalışmasında karbon kaynağı olarak şeker çeşitliliği bakımından zengin ejder meyvesi kabuk atığı kullanılmıştır. Buradaki nihai amaç, son yıllarda ülkemizdeki tropikal meyve üretim teşvikinin artmasına bağlı bol miktarda ejder meyvesi üretimi ve kabuklarının ise içeriğindeki şekerin kullanılmasına yönelik değerlendirilmesi ile atık yönetimine katkıda bulunulmasıdır.

Çalışmada mikrobiyal gelişim ejder meyvesi kabuğu içeren besiyerinde 0,131 g/L olarak hesaplanmıştır. Gelişim esnasında mikroorganizmanın şeker tüketimi ise 4 günlük inkübasyon sonucunda 11,09 g/L, 6. gün 11,91 g/L ve 8 günlük inkübasyon sonucunda 12,39 g/L olarak hesaplanmıştır.

Literatürde filamentli fungusların gelişiminin ejder meyvesi kabuğu atığıyla desteklendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Fakat ejder meyvesinin kendisi, çekirdekleri ve kabuklarının mikrobiyal etkilerinden dolayı gıda biyoteknolojisinde de kullanıldığı bilinmektedir.

5.2 Başlangıç pH Değerinin Biyosorpsiyona Etkisi

Tez çalışmasında 2, 4, 6, 8 ve 10 olmak üzere farklı pH aralıklarında biyosorpsiyon kapasiteleri incelenmiştir. 120. Dakikada en yüksek krom(VI) gideriminin %87.40 ile 2 pH değerinde gerçekleştiği saptanmıştır. Buna bağlı olarak deneyin sonraki safhalarında 2 pH değeriyle çalışılmıştır. pH değerinin artmasıyla biyosorpsiyon veriminde düşüş olmuştur.

Literatürde de benzer çalışmalar bulunmaktadır.

2023 yılında yapılan bir çalışmada, *Fusarium subglutinans* ve ejder meyvesi kabuğu kullanılarak bir karışım elde edilmiş ve biyosorpsiyon kapasitesi araştırılmıştır. pH etkisi 2-9 arasında incelenmiştir. Başlangıç krom(VI) konsantrasyonu 50 mg/L, 60 dakika etkileşim süresi, 30 °C , 100 mL çözelti içerisinde 5 g/L konsantrasyonunda biyosorbent kullanılmıştır. pH arttıkça giderim yüzdesinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni asidik ortamda negatif yüklenen krom(VI) molekülleri ve pozitif yüklü biyosorbent arasında elektriksel etkileşimin gerçekleşmesi olarak açıklanmıştır (Latha vd. 2023).

2009 yılında yapılan bir çalışmada ise biyosorbent olarak kullanılan *Aspergillus niger* ölü biyokütlesinin giderimi 50 °C, 400 mg/L krom(VI) varlığında ve pH 1 derecesinde 117,33 mg/g biyokütle ile en yüksek seviyesinde hesaplanmıştır. pH daki düşüş ve biyosorbent konsantrasyonundaki artışın krom(VI) giderimini arttırdığı görülmüştür (Khambhaty vd. 2009).

Park vd.(2005) yaptıkları araştırmada *Rhizopus oryzae* fungusunun 50 mg/L krom(VI) başlangıç konsantrasyonunda, 5g/L biyosorbent konsantrasyonuyla denenen 1, 2, 3 ve 4 pH değerlerinden 2 pH değerinde maksimum krom(VI) giderimini sağladığını gözlemlemiştir.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Düşük pH değerinin fungal biyokütlenin ağır metal gideriminde verimi arttırdığı bu çalışmayla ortaya konmuştur.

5.3 Başlangıç Krom(VI) Konsantrasyonunun Biyosorpsiyon Üzerine Etkisi

Bu tez çalışmasında biyosorbent konsantrasyonu 1g/L ve pH değeri 2 olacak şekilde artan başlangıç krom(VI) konsantrasyonunun (5, 10, 15, 25, 50, 100 ppm) biyogiderim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Başlangıç krom(VI) konsantrasyonu arttıkça biyosorpsiyon verim yüzdesinin azaldığı, temas süresinin ise arttığı saptanmıştır.

2023 de yapılan bir çalışmada pH 2 değerinde 60 dakika temas süresinde krom(VI) başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L dan 500 mg/L a çıkarıldığında krom(VI) giderim yüzdesinin %99,89dan %30,69 a düştüğü gözlemlenmiştir (Latha vd. 2023).

2005 yılında yapılan bir çalışmada başlangıç krom(VI) konsantrasyonunun 25-200 mg/L arasında değişmesi krom(VI) gideriminde temas süresinin artışına sebep lduğunu ortaya koymuştur. Başlangıç krom(VI) konsantrasyonu 25mg/L iken çözeltideki krom(VI) tamamının giderilmesi için 30 saatlik temas süresi gerekirken krom(VI) konsantrasyonu 200 mg/L ye çıkarıldığında krom(VI) giderimi için 400 saatlik temas süresine ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır (Park vd. 2005).

5.4 Başlangıç Biyosorbent Konsantrasyonunun Biyosorpsiyona Etkisi

Tez çalışmasında başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyosorpsiyon üzerine etkisinin incelenmesi için pH değeri 2’de, biyosorbent konsantrasyonu 1 g/L, 2 g/L ve 3 g/L olarak değiştirilerek incelenmiştir. Biyosorbent konsantrasyonu 1 g/L den 3 g/L ye çıkarıldığında krom(VI) giderim veriminin de arttığı gözlenmiştir. 2 g/L ve 3 g/L biyosorbent konsantrasyonunda 5ppm yoğunluktaki krom(VI), 5. Dakikada %100 verimle giderilmiştir.

Latha vd (2023), pH 2 de 30 °C sıcaklıkta biyosorbent konsantrasyonu 1 g/L den 8 g/L ye çıkarıldığında krom(VI) giderim yüzdesinin arttığını saptamışlardır. Bunun nedeninin biyosorbentin dış yüzeyinde krom(VI) tutunacağı alanın artışı olduğu düşünülmektedir.

Garg vd (2007) tarafından yapılan çalışmada krom(VI) konsantrasyonu (50 mg/L), karıştırma hızı (250 rpm), pH (2,0), sıcaklık (25 °C) ve temas süresi (60 dakika) sabit tutularak farklı biyosorbent konsantrasyonlarında [sırasıyla 250,500, 1000, 1500 ve 2000 mg/100 ml] incelenmiştir. krom(VI) gideriminin çoğunun JOC (%97), SCB (%92) ve MCC (%62) ile 60 dakikada gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmalarda giderim süresi 60 dk olarak seçilmiştir. Sonuçlar, biyosorbent konsantrasyonundaki artışla birlikte krom(VI) yüzde gideriminin arttığını ve maksimum giderimin 20 g/L JOC, SCB ve MCC biyosorbent konsantrasyonunda gözlemlendiğini göstermiştir. Başlangıç biyosorbent konsantrasyonundaki artışla krom(VI) giderim yüzdesindeki artışın, biyosorbent yüzey alanındaki artıştan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

5.5 Zamanın Biyosorpsiyona Etkisi

Bu tez çalışmasında her parametre için zaman etkeni değerlendirilmiştir. Zamana bağlı olarak krom(VI) biyogiderim yüzdesinde görülen artışın, biyosorpsiyonun denge noktasına ulaştığında sabitlendiği görülmüştür. Denge noktasına ulaşma zamanının biyosorbent konsantrasyonu ve başlangıç krom(VI) konsantrasyonuna göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır. 5ppm (mg/L) başlangıç krom(VI) konsantrasyonunda, 1 g/L fungal biyosorbent varlığında biyogiderim yüzdesi 240. dakikaya kadar artmış ve 240 dakika sonunda en yüksek yüzde değeri %87.40 olarak hesaplanmıştır. 2 g/L ve 3 g/L fungal biyosorbent varlığında denge noktası 15. dakikaya kadar düşerek biyogiderim yüzdesi sırasıyla %97.18 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Fungal biyosorbent konsantrasyonu arttığında krom(VI) giderim reaksiyonunun dengeye gelme süresinin kısaldığı gözlenmiştir.

Karnwal (2024) yaptığı incelemede, biyosorbentlerle ağır metallerin temas süresinin biyosorpsiyonun verimliliğini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Temas süresi, ağır metal iyonlarının biyosorbent yüzeyine ne ölçüde adsorbe edildiğini doğrudan etkiler. Başlangıçta, metal iyonlarının biyosorbent üzerindeki mevcut aktif bölgeleri hızla işgal ettiği hızlı bir faz vardır. Bu fazı, sistem dengeye yaklaştıkça daha yavaş bir faz izler; burada aktif bölgeler giderek doymuş hale geldiğinden adsorpsiyon oranı azalır. Bu dengeye ulaşmak için gereken optimum temas süresi, farklı malzemelerin farklı yüzey özellikleri ve iyon değişimi kapasiteleri olduğundan, kullanılan biyosorbent türüne göre değişebilir.

Rajan vd (2024) yaptıkları çalışmada Ag nanopartiküllerin biyosorpsiyonunda temas süresinin etkisini incelemişlerdir. *Aspergillus terreus* un biyosorpsiyon verimliliği temas süresinin 50 dakikadan 200 dakikaya çıkmasıyla artmıştır; bundan sonra metal tutulumu durağan hale gelmiştir. Ag nanopartiküllerin maksimum biyosorpsiyonu için optimum temas süresinin 200 dakika olduğu bulunmuştur; burada %60,93 biyosorpsiyon verimliliği ile 55,31 mg/g Ag nanopartikül giderimi gözlenmiştir. 250 ve 300 dakikalık temas süresi, Ag nanopartikül giderim seviyesini 200 dakikaya kıyasla az miktarda artırsa da, adsorplanan metal farkının daha az önemli olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, daha ileri çalışma için 200 dakika seçilmiştir. 50, 100 ve 150 dakikalarda Ag nanopartikül alımı sırasıyla 11,08, 25,47 ve 39,05 mg/g olmuştur.

Sonuç olarak tez çalışmasında deri tabaklama, maden ve çelik kaplama endüstrisinde yaygın kullanılan krom(VI) gideriminin ejder meyvesi kabuğu atığında geliştirilen *Aspergillus tubingensis* fungusunun biyosorpsiyonuyla giderilmesi amaçlanmıştır. Optimize edilen gelişim koşullarında pH değeri, başlangıç krom(VI) konsantrasyonu, başlangıç biyosorbent konsantrasyonu, inkübasyon zamanı, temas süresi gibi parametreler değerlendirilmiştir.

Endüstriyel atık suların arıtımında kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler olmasına rağmen, kullanışlı, maliyeti düşük ve çevre dostu biyolojik yöntemlerden biri olan biyosorpsiyon tercih edilmiştir.

Çalışma sonucu değerlendirildiğinde biyosorbent olarak kullanılan *Aspergillus tubingensis* ve karbon kaynağı olarak kullanılan ejder meyvesi kabuğu atığı hem atık yönetiminde hem de endüstriyel atık suların arıtımında umut vaatetmektedir.



KAYNAKLAR

- Acar, B. Ç. ve Acar, M. B. 2022. Kimyasal yöntemlerle atık sulardan ağır metal giderimi. Gazi Üniveristesi Fen Fakültesi Dergisi, 1, 1-13.
- Almaguer-Cantú, V., Espinoza-Sánchez, M. A., Arévalo-Niño, K., Quintero-Zapata, I. ve Castro-González, I. 2019. Cr(VI) adsorption from aqueous solution by fungal bioremediation based using *Rhizopus* sp. Journal of Environmental Management, 251.
- Almaguer-Cantú, V., Espinoza-Sánchez, M. A., Arévalo-Niño, K., Quintero-Zapata, I. ve Castro-González, I. 2019. Cr(VI) adsorption from aqueous solution by fungal bioremediation based using *Rhizopus* sp. Journal of Environmental Management, 251.
- Anonymous. 2024. Web sitesi. www.lenntech.com. Erişim tarihi: 10.06.2024
- Anonymous. 2024. Web sitesi. www.intechopen.com. Erişim tarihi: 10.06.2024
- Anonymous. 2024. Web sitesi. www.mikrobiyoloji.org. Erişim tarihi: 16.06.2024
- Anonymous.2024. Web sitesi. www.omu.edu.tr. Erişim Tarihi: 14.06.2024
- Anusha, P., Narayanan, M., Natarajan, D., Kandasamy, S., Chinnathambi, A., Alharbi, S. A. and Brindhadevi, K. 2021. Assessment of hexavalent chromium (VI) biosorption competence of indigenous *Aspergillus tubingensis* AF3 isolated from bauxite mine tailing. Chemosphere, 282, 131055.
- Baghban, R., Farajnia, S., Rajabibazl, M., Ghasemi, Y., Mafi, A., Hoseinpoor, R. et al. 2019. Yeast expression systems: Overview and recent advances. Molecular Biotechnology, 61(5), 365–384.
- Bryden, W.L. 2012. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implications for animal productivity and feed security. Journal of Animal Feed Science and Technology, 173(1-2), 134-158.
- Chen W., Chen R., Liu Q., He Y., He, K., Ding, X., Kang, L. et al. 2017. Orange, red, yellow: biosynthesis of azaphilone pigments in *Monascus* fungi. Chemical Science, 8(7), 4917-4925.
- Chen, X. W., Li, C. W., Cui, C. B., Hua, W., Zhu, T. J. and Gu, Q. Q. 2014. Nine New and Five Known Polyketides Derived from a Deep Sea-Sourced *Aspergillus* sp. Marine Drugs, 12(6), 3116-3137.
- Dhal, B., Abhilash and Dhar-Pandey, B. 2018. Mechanism elucidation and adsorbent characterization for removal of Cr(VI) by native fungal adsorbent. Sustainable Environment Research, 28(6), 289-297
- Doughari, J. Y. 2015. The Occurrence, Properties and Significance of Citrinin Mycotoxin. Journal of Plant Pathology & Microbiology, 6(11), 1000321.

- Dönmez, G., Ertuğrul, S. ve Ertit Taştan, B. 2010. Effective bioremoval of reactive dye and heavy metals by *Aspergillus versicolor*. *Bioresource Technology*, 101(3), 870-876.
- Erdogan, A., Gurses, M. and Sert, S. 2003. Isolation of moulds capable of producing mycotoxins from blue mouldy Tulum cheeses produced in Turkey. *International Journal of Food Microbiology*, 85(1), 83.
- Ertit Taştan, B. 2008. Atıksulardan Bakır (II), Nikel (II), Krom (VI) ve Reaktif Boyar Madde Gideriminde *Aspergillus* sp. Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 75, Ankara.
- Feussi T.M., Qin J., Ndongo J.T., Laatsch H. 2017. New azulene-type sesquiterpenoids from the fruiting bodies of *Lactarius deliciosus*. *Natural products and bioprospecting*, 7(3), 269-273.
- Garg, U. K., Kaur, M. P., Garg, V.K. and Sud, D. 2007. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by agricultural waste biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 140(1-2), 60-68.
- Gençbay, B. 2022. Dünyada ve Türkiye’de Krom. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, 64, Ankara.
- Geoffrey, M. F. and Gadd, M. 2014. Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160, 3-14.
- Goyal, S., Ramawat, K. G. and Merillon, J. M. 2017. Different shades of fungal metabolites: an overview. *Springer*, 34.
- Grijseels, S., Pohl, C., Nielsen, J. C., Wasil, Z., Nygard, Y., Frisvad, J. C., Fog Nielsen, K., Workman, M., Larsen, T., Driessen, A. and Normand Frandsen, R. 2018. Identification of the decumbenone biosynthetic gene cluster in *Penicillium decumbens* and the importance for production of calbistrin. *Fungal Biology and Biotechnology*, 5(18).
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran-Duman, D. ve Aras, S. 2012. Biosorption, adsorption, phytoremediation methods and applications. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4), 235-253.
- Han J.-J., Bao L., He L.-W., Zhang, X.-Q., Yang, X.-L., Li, S. J., Yao, Y.J. and Liu, H. 2013. Phaeolschidins A–E, Five Hispidin Derivatives with Antioxidant Activity from the Fruiting Body of *Phaeolus schweinitzii* Collected in the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Products*, 76(8), 1448–1453.
- Harris, S. D. 2008. Branching of fungal hyphae: regulation, mechanisms and comparison with other branching systems. *Mycologia*, 100(6), 823–32.
- Hawksworth, D. L. 2011. Naming *Aspergillus* species: progress towards one name for each species. *Medical Mycology*, 49(1), 70.

- Houbraken, J., Kocsubé, S., Visagie, C. M., Yulmaz, N., Wang, X. C., Meijer, M., Kraak, B., Hubka, V., Bensch, K., Samson, R. A. and Frisvad, J. C. 2020. Classification of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and related genera (Eurotiales): An overview of families, genera, subgenera, sections, series and species. *Studies in Mycology*, 95, 5–169.
- Jones, M., Gandia, A., John, S. and Bismarck, A. 2021. Leather-like material biofabrication using fungi. *Nature Sustainability*, 4(1), 9–16.
- Kabak, B., Dobson, Alan, D. W. and Var, I. 2006. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(8), 593-619.
- Karatay, S.E., Aksu, Z., Özeren, İ. and Dönmez, G. 2023. Potentiality of newly isolated *Aspergillus tubingensis* in biosorption of textile dyes: equilibrium and kinetic modeling. *Biomass Conversion Biorefinery* 13, 4777–4784
- Karnwal, A. 2024. Unveiling the promise of biosorption for heavy metal removal from water sources. *Desalination and Water Treatment*, 319,100523.
- Kaur, K. and Kumar-Verma, R. 2021. Fungal resources: Current utilization, future prospects, and challenges. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 15-38.
- Khambaty, Y., Mody, K., Basha S. and Jha, B. 2009. Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine *Aspergillus niger*. *Chemical Engineering Journal*,
- Kumar, R., Bishnoi, N. R., Garima and Bishnoi, K. 2008. Biosorption of chromium(VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass. *Chemical Engineering Journal*, 135(3), 202-208.
- Kumar, R., Singh, S., Singh, O. V. 2008. Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35(5), 377–91.
- Kurtzman, C.P. and Piškur, J. 2006. Taxonomy and phylogenetic diversity among the yeasts. Sunnerhagen, P. and Piskur, J. (Ed.). *Comparative Genomics: Using Fungi as Models. Topics in Current Genetics*. Springer, 15, 29-46.
- Latha, A., Ganesanb, R., Venkatesanc, G. and Baraneedharand, P. 2023. Removal of toxic heavy metal ion from tannery effluent by using *Fusarium subglutinans* and *Hylocereus undatus*. *Desalination and Water Treatment*, 312, 70-78.
- Li, Y., Steenwyk, J. L., Chang, Y., Wang, Y., James, T. Y., Stajich, J.E. et al. 2021. A genome-scale phylogeny of the kingdom Fungi. *Current Biology*, 31 (8), 1653–1665.

- Mahmoud, M. E., El Zokm, G. M., Farag, A. E.M., Abdelwahab, M. S. 2017. Assessment of heat-inactivated marine *Aspergillus flavus* as a novel biosorbent for removal of Cd(II), Hg(II), and Pb(II) from water. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(22); 18218-18228.
- Mani, D. and Kumar, C. 2014. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 843-872.
- Mathur, M. and Gehlot, P. 2021. Mechanistic evaluation of bioremediation properties of fungi. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 267-286.
- Mousavi, B., Hedayati, M. T., Hedayati, N., Ilkit, M., Syedmousavi, S. 2016. *Aspergillus* species in indoor environments and their possible occupational and public health hazards. *Current Medical Mycology*, 2(1); 36-42.
- Munro, C. 2016. Editorial: The dark side of yeast biology. *FEMS Yeast Research*, 16(3).
- Meyer, V., Basenko, E. Y., Benz, J.P., Braus, G. H., Caddick, M. X., Csukai, M. et al. 2020. Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper. *Fungal Biology and Biotechnology*, 7(1), 5.
- Naranjo-Ortiz, M.A. and Gabaldón, T. 2019. Fungal evolution: Diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi. *Biological Reviews*, 94 (6), 2101–2137.
- Park, D., Yeoung-Sang, Y. and Park, J.M. 2005. Use of dead fungal biomass for the detoxification of hexavalent chromium: Screening and kinetics. *Process Biochemistry*, 40(7), 2559-2565.
- Park, D., Yeoung-Sang, Y., Ji Hye, J. and Park, J. M. 2005. Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Water Research*, 39(4), 533-540.
- Pattnaik, S., Mohapatra, S., Pati, S., Dash, D., Devadarshini, D., Tanaya, K., Mishra, B. B., ve Samantaray, D. 2022. Chapter 19 - Microbial bioremediation of Cr(VI)-contaminated soil for sustainable agriculture, *Microbial Biodegradation and Bioremediation (Second Edition). Techniques and Case Studies for Environmental Pollution*, 395-407, India
- Paul, Q., Jasu, A., Lahiri, D., Nag, M. and Ray, R. 2021. In situ and ex situ bioremediation of heavy metals: The present Scenario. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 29, 454-469.
- Pouris, J., Kolyva, F., Bratakou, S., Vogiatzi, C. A., Chaniotis, D. and Beloukas, A. 2024. The Role of Fungi in Food Production and Processing. *Journal of Applied Sciences*, 14(12).

- Rayu, S., Karpouzas, D. G. and Singh, B. K. 2012. Emerging technologies in bioremediation: constraints and opportunities. Springer, 23, 917-926.
- Romo-Rodríguez, P., Acevedo-Aguilar, F. J., Lopez-Torres, A., Wrobel, K., Wrobel, K. b ve Gutiérrez-Corona, J. F. 2015. Cr(VI) reduction by gluconolactone and hydrogen peroxide, the reaction products of fungal glucose oxidase: Cooperative interaction with organic acids in the biotransformation of Cr(VI). Chemosphere, 134, 563-570.
- Sibi, G. 2016. Biosorption of chromium from electroplating and galvanizing industrial effluents under extreme conditions using *Chlorella vulgaris*. Green Energy & Environment, 1(2), 172-177.
- Singh, R. and Bishnoi, R. N. 2015. Biotransformation dynamics of chromium(VI) detoxification using *Aspergillus flavus* system. Journal of Ecological Engineering, 75, 103-109.
- Snell F.D. and Snell C.T. 1959. Colorimetric Methods of analysis 2-3. Canada, Van Nostrand Company.
- Talukdar, D., Jasrotia, T., Umar, A., Kumar, R., Alkhanjaf, A., Ibrahim, A., Kumar-Mukherjee, T., Jaswal, V. and Akhtar, M. S. 2022. Mechanistic and analytical understanding of biological immobilization of chromium metal ions from waste-sites. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(3).
- Urréjola-Madriñán, S., Paz-Armada, I., Cameselle, C. and Gouveia, S. 2022. Application of Central Composite Design for Optimization of Adsorption of Chromium(VI) by *Spirulina platensis* Algae Biomass. Water, 14(16), 2539.
- Üstün, O. 2011. Makrofungusların besin değeri ve biyolojik etkileri Nutritional value and biological effects of macrofungi. Dergisi, Deneysel Biyoloji, 68(4); 223- 240.
- Vendruscolo, F., Luiz da Rocha Ferreira, G. ve Antoniosi Filho, N. R. 2017. Biosorption of hexavalent chromium by microorganisms. International Biodeterioration & Biodegradation, 119, 87-95.
- Wu G., Sun X., Yu G., Wang, W., Zhu, T., Gu, Q. and Li, D. 2014. Cladosins A–E, Hybrid Polyketides from a Deep-Sea-Derived Fungus, *Cladosporium sphaerospermum*. Journal of Natural Products, 77(2), 270–275.
- Xiao Z., Lin S., Tan C., Lu, Y., He, L., Huang, X. and She, Z. 2015. Asperlones A and B, Dinaphthalenone Derivatives from a Mangrove Endophytic Fungus *Aspergillus* sp. Marine Drugs, 13(1), 366-378.
- Xu, S., Zhang, Q., Bai, D., Cai, L., Lu, T. and Yao, S. 2022. Removal process and mechanism of hexavalent chromium by adsorption-coupled reduction with marine-derived *Aspergillus niger* mycelial pellets. Chinese Journal of Chemical Engineering, 49, 198-204.

- Yaashikaa, P.R., Palanivenu, J. and Hemavathy, R.V. 2024. Sustainable approaches for removing toxic heavy metal from contaminated water: A comprehensive review of bioremediation and biosorption techniques. *Chemosphere*, 357,141933.
- Zha, S., Yu, A., Wang, Z., Shi, Q., Cheng, X., Liu, C., Deng, C., Zeng, G., Luo, S., Zaho, Z. and Zohu, L. 2024. Microbial strategies for effective hexavalent chromium removal: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 489, 151457
- Zhang Y., Navarro E., Cánovas-Márquez J.T., Almagro L., Chen H., et al. 2016. A new regulatory mechanism controlling carotenogenesis in the fungus *Mucor circinelloides* as a target to generate β -carotene over-producing strains by genetic engineering. *Microbial Cell Factories*, 15, 99.
- Zhuo, R. and Fan, F. 2021. A comprehensive insight into the application of white rot fungi and their lignocellulolytic enzymes in the removal of organic pollutants. *Science of the Total Environment*, 778, 146132