

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FENOL VE 4-Cİ FENOLÜN KOMETABOLİZMA İLE
BİYOREMEDİASYONU**

N.Tuğba DURMUŞ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2017**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

N.Tuğba DURMUŞ tarafından “FENOL VE 4-CL FENOLÜN KOMETABOLİZMA İLE BİYOREMEDİASYONU” adlı tez çalışması 07.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Yavuz BEYATLI
Gazi Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

07/06/2017


N. Tuğba DURMUŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FENOL VE 4-Cİ FENELÜN KOMETABOLİZMA İLE BİYOREMEDİASYONU

N.Tuğba DURMUŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

Bu çalışma, karışık mikrobiyel kültürlerin, fenol ve 4-klorfenol (4-KF) ile kontamine olmuş atıksularda kirletici giderim kapasitesini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla, Eti Maden İşletmeleri-Bor İşleme Fabrikası (BW), Kipaş Kağıt Fabrikası (KA), Kipaş Tekstil Fabrikası (TEK), Tatlar Atıksu Arıtım Tesisi (TAT), Stenkim Deterjan ve Yapı Kimyasalları Fabrikası (DET), Vilsan Veteriner İlaçları Fabrikası (DW1, DW2, DW3) ve Botaş Petrol İşleme Fabrikası (BT) olmak üzere dokuz farklı kaynaktan alınan atıksu örneklerinden elde edilen karışık kültürler, fenol ve 4-KF giderimleri açısından test edilmiştir. Çalışmada en yüksek giderim yapabilen kültür BW karışık kültürü olmuştur. Bu karışık mikrobiyel kültür için optimal pH 8 olarak belirlenmiştir. BW karışık kültürü 4-KF'ün tek başına kullanıldığı ortamda mineralizasyon yapamamış, ancak 164.4 mg/L fenol ve 5.3 mg/L 4-KF içeren ortamda %100 oranında mineralizasyon gerçekleştirmiştir. Çalışmada ayrıca, mikroorganizmaların büyümesini desteklemek için melas, yardımcı bir materyal olarak kullanılmıştır. Tez çalışması sonucunda, en yüksek verim ile kirletici giderimi yapan karışık mikrobiyel kültürün (BW) fenol ve 4-KF'ün birlikte bulunduğu ortamlarda biyolojik arıtmada kullanım kapasitesi bulabileceği sonucuna varılmıştır.

Mayıs 2017, 33 sayfa

Anahtar Kelimeler: fenol, 4-KF, karışık mikrobiyel kültür, atıksu, kometabolizma

ABSTRACT

Master Thesis

BIOLOGICAL TREATMENT OF PHENOL AND 4-Cl PHENOL BY MIXED MICROBIAL CULTURES VIA COMETABOLISM

N.Tugba DURMUS

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nur KOCBERBER KILIC

This work is focused on considering the capability of mixed microbial cultures for the treatment of wastewaters contaminated with phenol and 4-cholorophenol (4-CP). For this purpose, nine different mixed microbial cultures Eti Mine General Directorate-Emet Boron Work (BW), petroleum-contaminated soil (BT), Tatlar Wastewater Treatment Plant (TAT), drung mill wastewater (DW1, DW2, DW3), Stenkim Construction Chemicals (DET), Kipaş Paper Factory (KA), Kipaş Textile Factory (TEK) were tested in media with pure solutions and binary mixtures of phenol and 4-CP. In the present study, the most efficient culture was found as BW and the optimal pH level was 8 for this mixed microbial culture. BW mixed culture could not degrade 4-CP when it was used alone. However, both of the pollutants were mineralized 100% when they were presented together in media with 164.4 mg/L phenol and 5.3 mg/L 4-CP. Molasses were also used as a supplementary material to support the growth of the microorganisms. Using molasses as an additional carbon and energy source might enhance cometabolic 4-CP degradation in the existing of phenol.

June 2017, 33 pages

Key Words: phenol, 4-CP, mixed microbial culture, wastewater, cometabolism

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen ve aynı zamanda kendimi geliştirmem için beni sürekli teşvik eden, destekleyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı), tez çalışmalarım sırasında yardım ve desteğini gördüğüm Sayın Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ ve Sayın Doç. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı), kaynak temininde bana yardımcı olan canım babam Alaattin ÇOKGEZME' ye, bilgi ve tecrübeleri ile yardımlarını esirgemeyen canım kardeşim Ömer ÇOKGEZME' ye ve biricik eşim Muzafer DURMUŞ' a her konuda desteklerini aldığım ve tezimin hazırlandığı sürede gösterdikleri sabır, ilgi ve hoşgöründen ötürü tüm aileme sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

N.Tuğba DURMUŞ

Ankara, Haziran 2017

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
2.1 Atıksular ve Özellikleri.....	2
2.1.1 Evsel atıksular ve özellikleri.....	2
2.1.2 Endüstriyel atıksular ve özellikleri.....	3
2.2 Aromatik Halkaya Sahip Kirleticiler ve Özellikleri.....	5
2.3 Fenolik Bileşikler ve Özellikleri.....	5
2.4 Fenolik Madde İçeren Atıksuların Biyolojik Yolla Arıtımı.....	9
2.5 Kometabolik Yolla Fenolik Madde İçeren Atıksuların Arıtımı.....	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1 Materyal.....	14
3.1.1 Atıksu.....	14
3.1.2 Fenol ve 4-KF çözeltisi.....	14
3.2 Yöntem.....	14
3.2.1 Karışık kültür eldesi.....	14
3.2.2 Karışık kültür seçimi.....	15
3.2.3 Kirletici giderimi üzerine pH etkisi.....	15
3.2.4 Başlangıç kirletici konsantrasyonunun kirletici giderimine etkisi.....	15
3.2.5 Başlangıç fenol konsantrasyonunun fenol ve 4-KF giderimine etkisi.....	16
3.3 Analitik Yöntemler.....	16
3.3.1 Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD).....	16
3.3.2 Kalan fenol ve 4-KF konsantrasyonunun belirlenmesi.....	16
3.3.3 Fenol ve 4-KF gideriminin hesaplanması.....	17

4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	18
4.1 Fenol ve 4-KF Biyoremediasyonu Yapan Karışık Mikrobiyel Kütle.....	18
4.2 Fenol ve 4-KF Giderimine pH Etkisi.....	19
4.3 Fenol ve 4-KF Giderimine Başlangıç Kirletici Konsantrasyonu Etkisi.....	20
4.3.1 Fenol ve 4-KF'ün tekli degradasyonu.....	20
4.3.2 Fenol ve 4-KF'ün kometabolizma ile degradasyonu.....	21
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	25
KAYNAKLAR.....	29
ÖZGEÇMİŞ.....	33



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Fenolün görünüşü.....	5
Şekil 2.2 Fenolün oluşumu.....	6
Şekil 2.3 Fenollerin adlandırılması.....	8
Şekil 2.4 Dihidrik fenoller.....	8
Şekil 2.5 Naftoller	9
Şekil 4.1 BW karışık mikrobiyal kültürü ile Fenol ve 4-KF'ün MSM'de tekli giderimi.....	21
Şekil 4.2 Artan Fenol ve sabit 4-KF konsantrasyonlarında BW karışık mikrobiyal kültürü ile fenol ve 4-Klorfenolün aynı anda MSM'de giderimi.....	22

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Evsel atıksuların bileşen konsantrasyonları.....	3
Çizelge 2.2 Çeşitli sanayi kuruluşlarının atıksularındaki fenol konsantrasyonları.....	4
Çizelge 2.3 EPA'nın limit gerektiren toksikler listesi.....	4
Çizelge 3.1 Mineral salt medium besiyeri bileşimi.....	15
Çizelge 4.1 Dokuz farklı karışık mikrobiyel kültürün kirletici uzaklaştırma kapasiteleri	19
Çizelge 4.2 BW karışık kültürü ile fenol biyoremediasyonuna pH etkisi.....	19
Çizelge 4.3 Artan fenol konsantrasyonları altında en yüksek fenol giderim kapasitesine (BW) sahip karışık kültürdeki maksimum spesifik fenol giderimi (q_m).....	23
Çizelge 4.4 Artan fenol ve sabit 4-KF konsantrasyonu altında en yüksek fenol giderim kapasitesine sahip karışık kültürde (BW) maksimum spesifik fenol ve 4-KF giderimi.....	23

1. GİRİŞ

Her geçen gün artan nüfus oranı ve buna bağlı olarak hammadde tüketiminden kaynaklanan çevre sorunları baş göstermektedir. Yoğun gübreleme ve ilaçlama gibi tarımsal aktiviteler sonucu toprakta, yer altı ve yer üstü sularında biriken; endüstriyel prosesler ve ayrıca endüstriyel faaliyetler sırasında meydana gelen kaza ve sızıntılar sonucu çevreye yayılan birtakım inorganik ve organik kirleticilerden dolayı kaynaklarımız kirlenmekte ve tükenmektedir. Şeker, üre, alkol gibi organik maddeler ile iyonik maddelerin çoğu suda çözünürken; yağlar, hidrokarbonlar ve bazı tuzlar ise suda çözünmez.

Suda çözünmeden kalan endüstriyel atıklar; tarım ilaçları, petrol ve petrol türevleri gibi ürünler, su yoluyla gıdalara karıştıklarından dolayı, insan sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu kirletici maddelerin içerisinde bulunan; kükürtdioksit, azotoksitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, aromatik bileşikler, fenolik bileşikler, pestisitler, insektisitler, metaller gibi maddeler, biyolojik süreçlerde birikme eğilimi yüksek olan bileşenlerdir. Bu sinsice biriken kirleticilere bağlı olarak kanserojen ve öldürücü etki görülebilir.

Bununla birlikte, biyolojik arıtım yöntemleri kullanılarak atıksuların kirleticilerden arıtılması mümkündür. Biyolojik arıtım yöntemlerinde biyoremediasyon kabiliyetine sahip mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Bu tip mikroorganizmaların bazılarında kometabolizma da bulunabilmektedir. Kometabolizmanın mikroorganizmalar tarafından kullanılması, birkaç toksik maddeyi bir arada bulunduran atıksuların arıtımında büyük değer taşır.

Tez çalışmasında, kometabolizmaya sahip karışık kültürlerin, fenol ve 4-KF'ü ortamdan uzaklaştırması hedeflenmiştir. Araştırmada kirleticilerin biyoremediasyonu için optimum koşullar belirlenerek, bu koşulları kullanan daha etkin mikrobiyel kültürler elde edilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda yapılan tez çalışması konu ile ilgili diğer çalışmalara yol gösterici olması bakımından da önem taşımaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Atıksular ve Özellikleri

Dünya nüfusunun hızla artması ile suya olan ihtiyaç da o oranda artmakta ve su kaynakları hızla tükenmektedir. Bu yüzden oluşan atıksuların doğaya tekrar verilirken arıtılması, gerek mevcut su kaynaklarının korunması gerekse atıksuların tekrar geri kazanımında önemli rol oynamaktadır.

Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen ya da tamamen değişmiş sulara “atıksu” denilmektedir (Anonim 2004).

Günümüzde evsel ya da endüstriyel atıksu olarak nitelendirilen bu suların arıtma teknolojileri sayesinde tekrar geri dönüşümü sağlanmakta ve etkileri bertaraf edilmektedir. Bu gün çevremizde oluşan atıksuların ne türde olduğu, hangi özelliklere sahip olduğu ve bunların hangi tür arıtım yöntemleri ile temizlendiği bilgisine ulaşarak, atıksuları uygun yöntemlerle arıtabiliriz.

2.1.1 Evsel atıksular ve özellikleri

Evsel atıksular, çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içeren genellikle kolloidal formda olan sıvılardır. Evsel atık suların karakteristiği, coğrafi etmenlere kullanıcıların yaşam koşullarına ve alışkanlıklarına bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Ortalama olarak evsel atıksular 720 mg/L toplam katı madde içerir. Toplam katı maddenin yaklaşık 500 mg/L’si çözünmüş halde geri kalanı ise katı haldedir (Metcalf ve Edyy 1991). Atıksularda zamanla oluşan kokunun nedeni, içerisindeki organik maddelerin bozulması ile meydana gelen hidrojen sülfür gazlarıdır. Evsel atıksularda bir çok mikroorganizma bulunur. Bunlar; fungi, protozoa, virüsler, bakteriler ve algler olarak sıralanabilir. Bu mikroorganizmaların bir çoğu insanlarda ve hayvanlarda enfeksiyon hastalıklarına neden olabilir. Evsel atıksuların bileşen konsantrasyonu çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Evsel atıksuların bileşen konsantrasyonları (Metcalf ve Edyy 1991)

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/L)		
	Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı Madde (TKM)	350	720	1200
Toplam Çözünmüş Maddeler	250	500	850
Sabit	145	300	525
Uçucu	105	200	325
Askıda Katı Madde (AKM)	100	220	350
Çökebilen Katı Maddeler	5	10	20
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	110	220	400
Toplam Organik Karbon	80	160	290
Kalıcı Organik Kirletici	250	500	1000
Toplam Azot	20	40	85
Toplam Fosfor	4	8	15
Klorür	30	50	100
Sülfat	20	30	50

2.1.2 Endüstriyel atıksular ve özellikleri

Sayırsız alanda çalışma kolları bulunan endüstri ülkemizde hızla gelişmekte olan bir sektördür. Bu sektördeki sanayi kolları, tekstil, deri, makine, kağıt mamulleri, boya, reçine, çeşitli kimyasal ürünleri, sabun, temizleyici maddeler ve kozmetik ile cam ve cam eşya sanayi vb. gibi daha birçok alanı kapsamaktadır. Endüstri bu şekilde bir yandan yararlı ürünler yaparken bir yandan da fazla miktarda atıksu üretmektedir. Atıksuyu üreten endüstri koluna göre bu kimyasal maddelerin miktarı ve çeşitliliği de değişmektedir. Özellikle ilaç, boya, pestisit, kağıt, tekstil gibi sanayi kuruluşlarında fenol ve türevlerine çok rastlanmaktadır (Peterson 1977, Callega vd. 1993, Bülbül ve Aksu 1997). Çeşitli sanayi kuruluşlarında atıksulardaki fenol konsantrasyonları çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Çeşitli sanayi kuruluşlarının atıksularındaki fenol konsantrasyonları (Anonim 2004)

Sektör	Fenol (mg/L)	
	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri (Kok-Hava Gazı Üretimi ve Benzeri)	1.0	0.6
Tekstil Sanayi (Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzeri)	1.0	0.5
Tekstil Sanayi (Halı Terbiyesi ve Benzeri)	1.0	0.5
Tekstil Sanayi (Sentetik Tekstil Sanayi ve Benzeri)	1.0	0.5
Tekstil Sanayi(Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzeri)	1.0	0.5
Petrol Sanayi (Petrol Rafinerileri ve Benzeri)	2.0	1.0
Petrol Sanayi (Petrol Dolum Tesisleri ve Benzeri)	2.0	1.0
Kimya Sanayi (Petrokimya ve Hidrokarbon Üretim Tesisleri)	2.0	1.0

Akıntının olmadığı bölgelerde, suyun içindeki katı maddelerinin, suyun dibine çökmesi suda yaşayan canlıları olumsuz etkiler. Suyun dibinde çöküntü oluşturan bu katıların bozunmaları sırasında kötü kokulu gaz çıkışı olur. Bu katılara örnek olarak; ağır metal, siyanür ve toksik organik bileşikler verebiliriz. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) özel limit gerektiren toksik organik ve inorganik kimyasalların bir listesini yayımlamıştır. Öncelikli kirleticiler olarak adlandırılan bu maddelerden bazıları çizelge 2.3’de verilmiştir. Ayrıca bu kirleticiler renk ve bulanıklık bakımından da değerlendirildiğinde estetik problem arz ederler (Karaman ve Tenikler 2007).

Çizelge 2.3 EPA’nın özel limit gerektiren toksik kimyasalları listesi (Anonymous 2015)

Asenaphthen	Izopron	Dietil ftalat	β-Endosülfan-beta
Akrolein	Nitrobenzen	3,4-Benzofloranten	α-BHC-alfa
Benzen	4-Nitrofenol	Asenaftalin	β-BHC-beta
Benzidin	2,4-Dinitrofenol	Toksafen	2,4,6-Triklorofenol
Carbontetraklorür	4,6-Dinitro-o-kresol	Heptaklor epoksit	4-Klorofenil fenil eter
Klorobenzen	Pentaklorofenol	Heptaklor	4-Bromofenil fenil eter
Toluen	Fenol	Endrin aldehit	Bis(2etilheksil) ftalat
Hexakloroetan	Bütil benzil ftalat	Endosülfan sülfat	Klorofenol

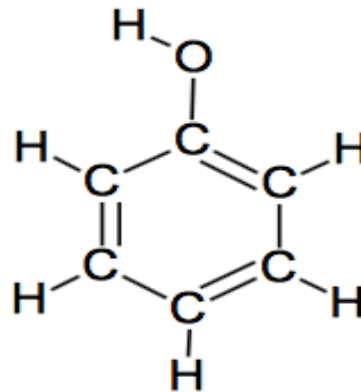
2.2 Aromatik Halkaya Sahip Kirleticiler ve Özellikleri

19. yüzyılın sonlarına doğru Kekule-Couper-Butlelerov'un Valens bağ teorisi olarak bilinen teoriyi ortaya atmasından sonra organik bileşikler, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar olmak üzere iki büyük sınıfa ayrıldı. Aromatik bileşiklerden düşük C/H oranına sahip ve hoş kokulu bileşikler, aromatik (Yunancada aroma hoş koku anlamına gelmektedir) bileşikler olarak kabul edildi. Petrol ve petrol türevleri gibi polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), başta petrol sızıntıları ve fosil yakıtların eksik yanmasıyla çevreye yayılan organik kirleticilerdir. Çoğu PAH, çevrede varlığını uzun süre koruduğu ve biyoakümülyasyona uğradığı için çevre kirliliğine neden olur ve biyolojik dengeyi çarpıcı bir biçimde etkiler (Demir ve Demirbağ 1999).

2.3 Fenolik Bileşikler ve Özellikleri

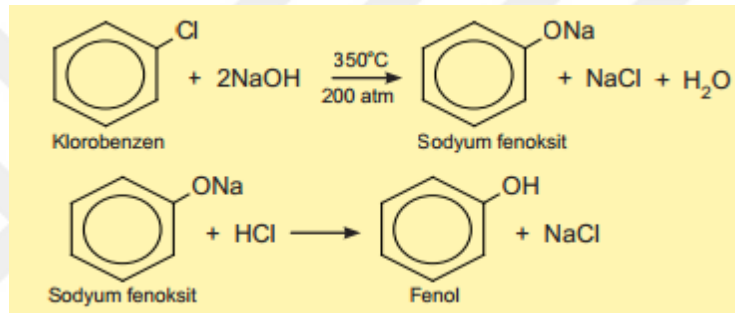
Fenol, " C_6H_5OH " kapalı formülüne sahip beyaz kristal yapılı moleküler bir katıdır. Tatlımsı, buruk bir kokuya sahip fenollerin tespit limiti havada 40 ppm ve suda ise 1-8 ppm'dir. Suyu kıyasla çok yavaş buharlaşırlar. Suda orta dereceli bir çözünürlüğe sahiptirler ve oldukça yanıcıdırlar (Anonim 2011).

Fenollerin açık pembe ve sarımsı kristal yapıları şekil 2.1'de gösterilmiştir. Karakteristik bir kokusu olan fenol; su, alkol, kloroform, eter, gliserol ve uçucu yağlarda çözünür. Genellikle sulu çözeltileri antiseptik ve dezenfektan etki gösterir



Şekil 2.1 Fenolün görünüşü (Anonim 2011)

Bazı bitkilerin kokuları bitkinin bünyesindeki fenolden kaynaklanır. Örneğin kekik yaprağına, karanfil çiçeğine ve yağına kokusunu veren, bitkinin bünyesindeki fenoldür. Fenoller yapısal olarak alkollere benzer. Ancak alkollerden daha güçlü, karboksilik asitlerden daha zayıf asittir. Bunun nedeni aromatik halka üzerinde bulunan (OH)⁻'in hidrojeni gevşek tutması ve oluşturacağı fenoksit anyonunun fenolden daha kararlı olmasıdır. Kısaca fenoksit anyonundaki negatif yük, rezonans yardımıyla halkaya dağıldığı için fenol asidiktir (Anonim 2011). Fenol, kömür katranı ve halobenzenlerden üretilir. Fenol, halobenzenlerden klorbenzenin hidrolizi ile de elde edilir (Anonim 2011). Fenol oluşumu ile ilgili tepkimeler aşağıda verilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Fenol oluşumu (Anonim 2011)

Zayıf asidik yapıda olan fenoller, genelde renk reaksiyonları ile teşhis edilirler. % 1'lik sulu feri klorür ile nötr ortamda mavi, yeşil, mor ve kırmızı renkli bileşikler verirler.

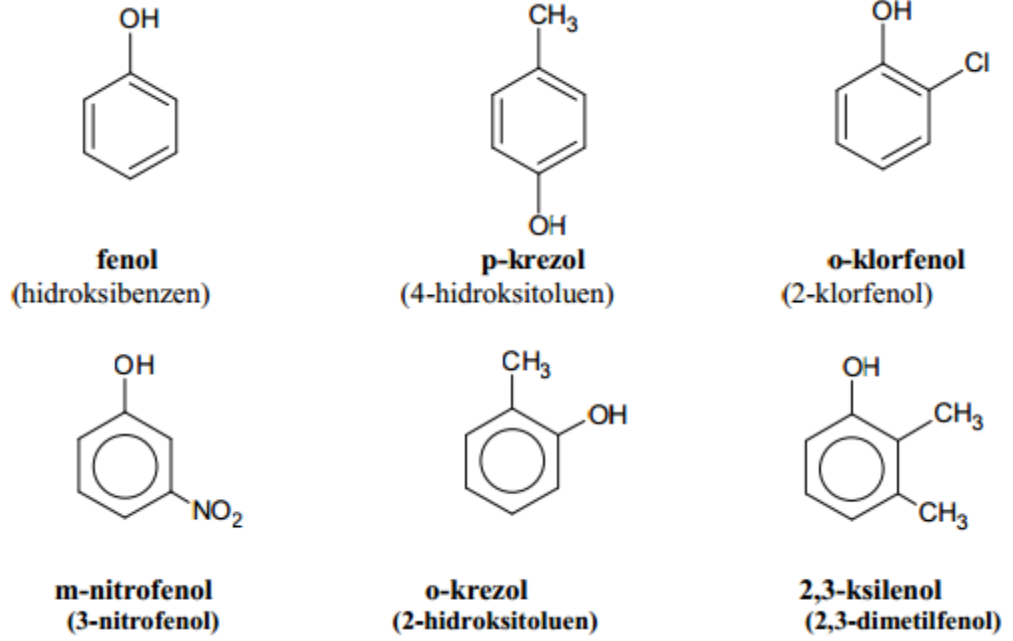
Fenollerin zayıf asit olmasından kaynaklanan antiseptik etkileri nedeniyle bazı ilaçların yapımında kullanılır. Diş hekimlerinin tedavileri sırasında, kullandıkları ağrı giderici solüsyonların yapısında da fenol vardır. Böcek ısırığı, güneş yanığı vb. nedenlerle tahriş olmuş deri üzerinde; sızıyı, yanmayı ve kaşınmayı azaltıcı etki yapar. Yine bazı bakteri ve mantarlara karşı dezenfektan olarak kullanılabilir (Yıldız 2001).

Bunun yanında fenol; formaldehit, bakalit, aspirin ayrıca novalak denilen sentetik reçine yapımında da kullanılır. Fenoller gıda yağlarında bulunan alkenleri parçalama özelliğine sahip peroksi radikalleri ile tepkimeye girerek antioksidan olarak gıdalarda kullanılırlar.

Plastiklerin en önemli bileşenlerinden olan fenoller, dünyada ve Türkiye’de en çok fenolik reçine üretiminde, kauçuk işleme, izolasyon ve yüksek sürtünmeye dayanıklı malzemelerin imalatında kullanılmaktadır. Fenoller ayrıca ilaç, boya ve pestisitlerde de hammadde olarak kullanılır. Boya ve ilaç endüstrilerinde kullanılan klorfenoller, reçine, antioksidan ve plastikleştiricilerde kullanılan alkil fenoller, yüzey aktif maddeler de yine fenolden elde edilirler (Patterson 1977, Bülbül ve Aksu 1997).

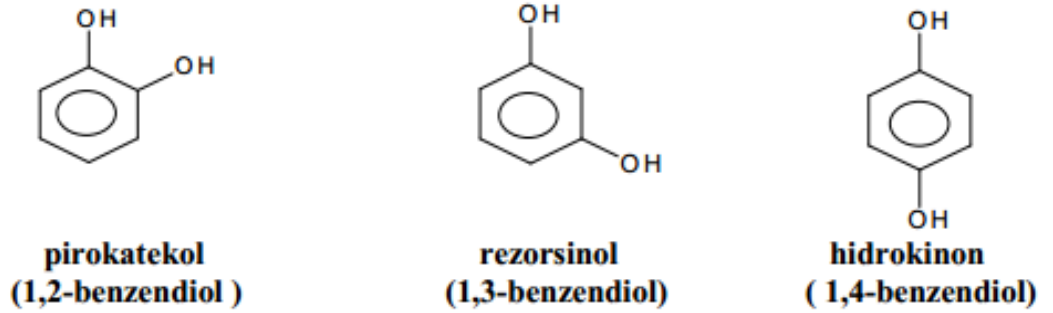
Bütün bitkiler metabolizmalarında, sekonder metabolit olarak, ancak bitkinin kendi metabolizmalarındaki rolleri yeterince bilinmeyen, çok sayıda fenolik madde oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, bitkisel kökenli bütün gıdalarda daima farklı nitelikte ve miktarda çeşitli fenolik bileşikler bulunmaktadır. Fenolik bileşikler meyve ve sebzelerin kendilerine özgü buruk tadını ve renklerini verirler. Bazı fenolik bileşikler ise acı tadın oluşmasında da rol almaktadırlar. Gıda bileşeni olarak fenolik bileşikler; insan sağlığı açısından işlevleri, tat ve koku oluşumundaki etkileri, renk oluşumu ve değişimine katılmaları, antimikrobiyal ve antioksidatif etki göstermeleri, enzim inhibisyonuna neden olmaları, değişik gıdalarda saflık kontrol kriteri olmaları gibi birçok açıdan önem taşımaktadırlar.

Fenoller yapısındaki (OH)⁻ sayısına göre mono, di, tri ve polihidrik fenoller olarak sınıflandırılırlar. Genellikle türedikleri hidrokarbon adının sonuna (OH)⁻ grubu sayısına göre -ol, -diol, -triol son eklerinin getirilmesiyle adlandırılırlar. Ancak fenollerin çoğunun özel adları mevcuttur. Benzenden türeyen monohidrik fenol, sadece fenol olarak adlandırılır. Toluen’den türeyen monohidrik fenollere krezoller, ksilenden türeyenlere de ksinlenoller denir. Aşağıda bazı fenollerin formülleri ve adları verilmiştir:



Şekil 2.3 Fenollerin adları ve formülleri (Anonim 2011)

Aşağıda üç izomer dihidrik fenol olarak verilmiştir. Bunlar daha çok özel adları ile bilinirler.



Şekil 2.4 Dihidrik fenoller (Anonim 2011)

Naftalinden türeyen fenollere naftoller denir. Aşağıdaki şekilde gösterilirler.



Şekil 2.5 Naftoller

Kömür ocakları, zeytin yağı ve demir çelik işletmeleri faaliyetleri, boya, kağıt, parfüm, tekstil ve deterjan üretimi sonucunda oluşan atıksular yüzlerce farklı kirleticiyi içermektedir. Bu kirleticiler arasında fenol ve türevleri gibi fenolik maddeler de (fenol, klorofenol, katekol, klorokatekol, nitrofenol, metilfenol, alkilfenol, bisfenol veaminofenol gibi) bulunmaktadır. Fenolik maddeler yüksek derecede kararlı bileşikler olduklarından oldukça toksik, mutajen ve kanserojendir. Fenolün böbrek, karaciğer, kas ve gözleri tahriş ettiği, DNA sentezini ve replikasyonunu engellediği bilinmektedir (Michalowicz ve Duda 2007). Ayrıca bu toksik maddenin endokrin salgıları bozup insan ve diğer organizmaların sağlığına olumsuz yönde etki ettiği düşünülmektedir (Van Schie ve Yang 2000, Ischtchenko vd. 2003, Yang ve Lee 2007, Saravanan 2008). Klorfenollere maruz kalan insanlarda ise akciğer kanserinin tetiklendiği görülmüştür. Aynı şekilde p-kresolün de kanserojen olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Michalowicz ve Duda 2007).

Bu nedenle, fenol ve türevlerini içeren atıksular arıtılmadan çevreye verilmemelidir. Bu tip atıksularda fenol genellikle tek başına değil, türevleriyle birlikte bulunur ve arıtımı zorlaştırmaktadır. Fenol ve türevlerini içeren atıksular biyolojik ve kimyasal olarak arıtılabilirler.

2.4 Fenolik Madde İçeren Atıksuların Biyolojik Yolla Arıtımı

Fenolik maddeleri içeren atık sular farklı yollarla arıtılmaktadır. Bunlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotlardır. Ancak biyolojik arıtımın temelini oluşturan biyoremediasyon, kimyasal arıtım yöntemlerine göre tercih sebebidir (Vallero 2010).

Geleneksel arıtım yöntemleri ya ikincil bir çevre kirliliğine neden olmakta yada tam verimli bir arıtım sağlayamamaktadır. Biyoremediasyon, tehlikeli atıkların bertaraf edilmesi için sıklıkla kullanılan teknolojilere göre daha ucuz ve güvenilirdir (Ceyhan ve Esmeray 2012).

Fenolik maddeler aromatik halkaya sahip olduğundan biyolojik parçalanmaya da oldukça dirençlidir. Kimyasal yöntemlerin pahalı oluşları veya uygulamadaki sıkıntıları araştırmacıları daha ekonomik ve uygulanabilir yöntemler bulmaya yöneltmektedir. Bu amaçla, biyoremediasyon yapabilen mikroorganizmalarla yapılan biyolojik arıtım günümüzün gerekliliğidir (Wang vd. 2015, Gurbanov vd. 2015, Santini vd. 2015).

Daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda farklı mikroorganizmaların fenol ve türevlerini içeren ortamlarda gelişebildiği ve bu aromatik bileşikleri karbon ve enerji kaynağı olarak kullanabildiği gösterilmiştir (Van Schie ve Yang 2000).

Aerobik olarak gerçekleşen bu degradasyonun birinci basamağında katekol oluşturmak üzere moleküler oksijen fenol hidroksilaz tarafından kullanılır. Katekol orto- veya meta-yolu olmak üzere iki yoldan parçalanabilmektedir. Bu iki yolda çeşitli enzimatik aşamalardan sonra oluşan son ürünler krebs döngüsüne katılarak parçalanmaktadır (Van Schie ve Yang 2000).

Bu yolla parçalanmaya karşı dirençli olan fenolik maddeler mikroorganizmalar sayesinde CO₂ ve H₂O'ya kadar indirgenmektedir. Özellikle *Pseudomonas* türlerinin fenolü bu şekilde parçaladığı görülmüştür (Powlowski ve Shingler 1994, Kumar vd. 2005, Kulkarni ve Chaudhari 2006, Afzal vd. 2007, Yang ve Lee 2007, Kotresha ve Vidyasagar 2008, Saravanan vd. 2008).

Bununla birlikte, *Phanerochaete chrysosporium* (Pérez vd. 1997), *Rhodococcus spp.* (Margesin vd. 2005), *Candida tropicalis* (Yan vd. 2006), *Bacillus brevis* (Arutchev vd. 2006) *Penicillium chrysogenum* (Leitão vd. 2007), ve *Alcaligenes sp.* (Nair vd. 2007), *Ochrobactrum sp.* (Kılıç 2009) gibi mikroorganizmaların da bu aromatik

kirleticiyi biyolojik yolla parçaladığını çeşitli araştırmacılar göstermiştir. *Rhodococcus cercidiphyllus*, *Arthrobacter sulfureus* ve *Pimelobacter simplex* gibi mikroorganizmaların ise düşük sıcaklıklarda n-alkanları, fenolü ve antrasen, pyren gibi maddeleri parçalayabildiği Margesin vd. (2013) tarafından belirlenmiştir.

Aromatik hidrokarbonların mikroorganizmalar ile biyolojik parçalanma kinetiklerinin araştırıldığı bir çalışmada, karbon kaynağı olarak benzen, toluen ve fenol kullanılmış, tek ve karışık derişimde hazırlanan kesikli, havalandırılmalı reaktörler içerisinde *P. putida* F1 kültürü aşıl原因arak mikroorganizmaların gelişimleri izlenmiştir. Tek karbon kaynağı içeren reaktörlerde, mikroorganizmaların ortama adaptasyon süreleri; toluen için 7 saat, benzen için 6.5 saat ve fenol için ise 18 saat olarak gözlenmiştir. Toluenin biyolojik parçalanmasının, benzen ve fenole göre daha erken gerçekleştiği tespit edilmiştir (Reardon vd. 2000).

Jiang vd. (2007) yaptıkları çalışmada *Alcaligenes faecalis* izole edilmiş, ve izole edilen kültürün tanımlaması yapılmıştır. Farklı ekim oranlarıyla fenolün parçalama potansiyeli belirlenmiştir. Biyolojik parçalamada maksimum fenol derişimi, 1600 mg/L ve tam parçalanma süresi 76 saat olarak belirlenmiştir.

Movahedyan vd. (2009) yaptıkları çalışmada, petrokimya endüstrisinden kaynaklı fenolik bileşiklerin parçalanması çalışılmıştır. Araştırmada 10 farklı, fenol parçalayan bakteri türü kullanılmış ve bu bakterilerin hepsi evsel atıksu arıtım sistemlerindeki çamurdan izole edilmiştir. Elde edilen bakterilerle farklı derişimlerde (200–900 mg/L) fenol arıtımı ve bakterilerin büyüme hızı ve kinetiğinin çıkarılması çalışılmıştır. Çalışma sonucunda %90 fenol parçalama yeteneğine sahip bakteri aktif çamur sisteminden izole edilip tanılanmış ve *Pseudomonas putida* olarak belirlenmiştir.

2.5 Kometabolik Yolla Fenolik Madde İçeren Atıksuların Arıtımı

Biyoremediasyon yapabilen mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini gerçekleştirirken kullandıkları karbon kaynağının yanında başka bir bileşiği de ayrıca

enerji kaynağı olarak kullanması “kometabolizma” olarak tanımlanmaktadır (Nzila 2013).

Kometabolizmada gelişme için ise asimile edilen bir başka substrat kullanılır. Mikroorganizma gelişme için kullanmadığı substrattan karbon kaynağı olarak yararlanmadığı için bu substratı parçalaması ile bir avantaj elde etmez. Bu bağlamda kometabolizma, gelişme için gerekli veya başka bir transforme olabilen substratın mutlaka olduğu bir ortamda gelişme için gerekli olmayan bir substratın transformasyonudur (Field vd. 2007). Mevcut çalışmalar göstermektedir ki, doğada sıklıkla bulunabilen birçok kirletici, bu yöntemle arıtılabilir (Han vd. 2007, Xie vd. 2009).

Kometabolizma ile çeşitli kirleticilerin mikrobiyel yolla parçalanmasına ilişkin çeşitli çalışmalar mevcuttur. Fenolün mikrobiyel gelişme için gerekli substrat, 4-KF’ün ise gelişmede kullanılmadığı fakat degrede edildiği birkaç çalışma literatürde bulunmaktadır (Loh vd. 2006, Aktaş 2012). Bu tip çalışmalarda saf (Cobos-Vasconcelos vd. 2006, Tobajas vd. 2012) veya karışık kültürler (Monsalvo vd. 2009, Aktaş 2012) kullanılmıştır.

Pseudomonas putida (ATCC 49451) ile gerçekleştirilen bir çalışmada fenol varlığında 2-klorofenol (2-KF) ve 4-klorofenol (4-KF) gibi toksik kirleticilerin kometabolik yolla parçalandığı gösterilmiştir (Loh ve Wu 2006).

Bir başka çalışmada, 2-KF, 4-KF, 2,4-diklorofenol (2,4-DKF) ve 2,6-diklorofenol (2,6-DKF) gibi fenolik bileşikler, *Burkholderia tropicalis* kullanılarak fenolün primer substrat olduğu ortamda kometabolizmayla ortamdan uzaklaştırılmıştır (Cobos-Vasconcelos vd. 2006).

Fenol ve glukoz kosubstratlarının varlığında 4-KF’ün *Comamonas testosteroni* CECT 326T suşu ile kometabolik giderildiği çalışmada, kullanılan kosubstratların 4-KF giderimini arttırdığı belirlenmiştir (Tobajas vd. 2012).

Bununla birlikte, endüstriyel atıksu sistemlerinin aktif çamurundan elde edilen karışık kültürlerle de klorlu fenolik bileşikler fenolün gelişmeyi desteklediği ortamlarda kometabolik olarak arıtılmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesinde 4-KF fenol kosubstrat olduğunda (Monsalvo vd. 2009), diğerinde ise 2-KF ve 2-nitrofenol (2-NP) fenol varlığında kometabolizma yoluyla karışık kültürlerle parçalanmıştır (Aktaş 2012).

Aerobik olarak gerçekleşen fenol biyoremediasyonunda, fenol, transformasyonu için gerekli NADH (veya NADPH)'a gereksinen monooksijenaz ve katekoldioksijenaz enzimlerini indükler. Daha sonra katekol, *orto*- veya *meta*- yolu olmak üzere iki yoldan parçalanabilmektedir. Bu iki yolda çeşitli enzimatik aşamalardan sonra oluşan son ürünler krebs döngüsüne katılarak parçalanmaktadır (Van Schie ve Young 2000). Aynı enzimler, 4-KF'ün de transformasyonunu katalizleyebilir. Fenol ve 4-KF yapısal olarak analog olduklarından, mikroorganizmalar bu bileşikleri degrede etmede kullandıklarında yarışmalı inhibisyon olur (Loh ve Ranganath 2005). Bu nedenle fenol ve 4-KF kometabolik olarak degrede olabilirler.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Atıksu

Giderim çalışmalarında kullanılmak üzere, karışık kültür elde etmek amacıyla kullanılan atıksu örnekleri; bor işleme fabrikası (BW) (Eti Maden İşletmeleri, Kütahya, Türkiye), kağıt fabrikası (KA) (Kipaş Kağıt Fabrikası, K.Maraş, Türkiye) tekstil fabrikası (TEK) (Kipaş Tekstil Fabrikası, K.Maraş, Türkiye), atıksu arıtım tesisi (TAT) (Tatlar Atıksu Arıtım Tesisi, Ankara, Türkiye), deterjan ve yapı kimyasalları fabrikası (DET) (Stenkim, Ankara, Türkiye), ilaç fabrikası (DW1, DW2, DW3) (Vilsan Veteriner İlaçları Fabrikası, Ankara, Türkiye) ve petrol işleme fabrikası (BT) (Botaş, Adana, Türkiye) olmak üzere dokuz farklı kaynaktan alınmıştır.

3.1.2 Fenol ve 4-KF çözeltisi

Fenol ve 4-KF solüsyonları 1 g/L olarak hazırlanan stok karışımlardan gerekli seyreltmeler yapılarak elde edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Karışık kültür eldesi

Alınan su örnekleri 150 mg/L fenol ve 50 mg/L 4-KF içeren 100 ml'lik erlenlerdeki 50 ml'lik, %1 (v/v) melas içeren mineral salt medium (MSM) sıvı besi yerlerine aktarılmıştır. Örnekler 168 saat boyunca 30 °C sıcaklıkta inkübe edilmiştir. MSM besiyerinin içeriği çizelge 3.1'de verilmiştir (Afzal vd. 2007).

Çizelge 3.1 Mineral salt medium besiyeri bileşimi

Bileşen	Miktar (mg/L)
KH_2PO_4	1.70
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.20
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2.69
CaCl_2	0.03

3.2.2 Karışık kültür seçimi

Zenginleştirme yapılarak aktifleştirilen atıksu örnekleri 250 ml'lik erlenlere 100 ml olacak şekilde hazırlanmış 50 mg/L fenol, 2.5 mg/L 4-KF ve %1 (v/v) melas içeren sıvı MSM besiyerine ekilmiştir. Besiyeri pH değeri 7'ye ayarlanmış ve ortamlar atıksu örneklerinin 1 ml'si ile aşılanarak 30 °C'de 168 saat boyunca inkübe edilmiştir.

3.2.3 Kirletici giderimi üzerine pH etkisi

En yüksek verimle fenol ve 4-KF giderimi yapan karışık kültür ile pH denemeleri yapılmıştır. Denemeler pH 6, 7, 8 olmak üzere üç farklı pH'da ve 39.1 mg/L fenol ile 6.1 mg/L 4-KF içeren ortamlarda gerçekleştirilmiştir.

3.2.4 Başlangıç kirletici konsantrasyonunun kirletici giderimine etkisi

Bu denemelerde en yüksek verimle giderim yapan karışık mikrobiyel kültür kullanılmış ve besiyeri pH'sı daha önce belirlenmiş optimum değere ayarlanmıştır (pH:8).

Deneylerin birinci aşamasında, başlangıç fenol konsantrasyonunun fenol giderimine etkisini araştırmak amacıyla, yalnızca fenol içeren ve 4-KF içermeyen besiyerleri hazırlanmıştır. Bu ortamlardaki fenol konsantrasyonları sırası ile; 98.5 mg/L, 171.5 mg/L, ve 391.0 mg/L'dir.

DeneYlerin ikinci aşamasında, başlangıç 4-KF konsantrasyonunun bu kirletici giderimine etkisi fenol içermeyen ve yalnızca 4-KF içeren besiyerlerinde araştırılmıştır. Bu besiyerlerindeki kirletici konsantrasyonu 5 mg/L olarak ayarlanmıştır.

3.2.5 Başlangıç fenol konsantrasyonunun fenol ve 4-KF giderimine etkisi

DeneYlerin bu aşamasında, 4-KF konsantrasyonu sabit tutulmuş ve fenol konsantrasyonu artırılmıştır. Bu ortamlardaki başlangıç fenol ve 4-KF konsantrasyonları sırasıyla şu şekildedir; 88.2 mg/L fenol ve 5.5 mg/L 4-KF; 164.4 mg/L fenol ve 5.3 mg/L 4-KF; 367.6 mg/L fenol ve 5.6 mg/L 4-KF.

Çalışmada bütün denemeler 2 paralel olacak şekilde yapılmıştır.

3.3 Analitik Yöntemler

3.3.1 Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD)

İnkübasyon süresi boyunca erlenlerden 3 ml örnek alınmış, 3421xg (1000 rpm) sağlayan çevirme hızında 10 dakika santrifüjlenmiş (Hettich 234), elde edilen çökelti, distile su ile gerekli seyreltmeler yapılarak optik yoğunluk değerleri 600 nm dalga boyunda spektrofotometrik (Shimatzu UV-1700) olarak belirlenmiştir.

3.3.2 Kalan fenol ve 4-KF konsantrasyonunun belirlenmesi

İnkübasyon süresi boyunca alınan her örnek 3421xg (1000 rpm) çevirme hızında biyokütlenin uzaklaştırılması için 10 dakika santrifüj (Hettich 234) edilmiştir. Süpernatant kısım, ortamda kalan fenol ve 4-KF konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla HPLC cihazı ile (Shimatzu UV-1700) ölçülmüştür. Fenol konsantrasyonunun analizi için C-18 kolonu (250 mm x 4.6 mm iç çap: 5 µm partikül büyüklüğü; akış hızı: 1ml/dk; UV dedektör (275 nm); mobil faz: asetonitril:su karışımı) kullanılmıştır.

3.3.3 Fenol ve 4-KF gideriminin hesaplanması

Hesaplamalar aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır.

C_o : Başlangıç kirletici konsantrasyonu (mg/L).

C_f : Son kirletici konsantrasyonu (mg/L).

q_m : Maksimum spesifik kirletici giderimi (mg/g).

X_m : Maksimum kurutulmuş hücre miktarı (g/L).

$$\% \text{ Giderim} = \left[\frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100 \right]$$

$$q_m = (C_o - C_f) / X_m$$

4. ARASTIRMA BULGULARI

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, çeşitli sanayi kuruluşlarının atıksularından karışık mikrobiyel kültürler elde edilmiştir. Çalışmanın ilk basamağında, fenol ve 4-KF gideriminde en başarılı olan karışık mikrobiyel kültür seçilmiştir. Çalışmanın ikinci basamağında ise, seçilen kültürün artan fenol ve 4-KF konsantrasyonundaki gelişmeleri ve en iyi faaliyet gösterdikleri pH değeri belirlenmiştir. Daha sonra başlangıç kirletici konsantrasyonunun fenol ve 4-KF giderimine etkisi belirlenmiştir.

4.1 Fenol ve 4-KF Biyoremediasyonu Yapan Karışık Mikrobiyel Kültür

Farklı ortamlardan alınan örneklerden elde edilen karışık mikrobiyel kültürlerin fenol ve 4-KF biyoremediasyon kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla 52.1 mg/L fenol ve 2.5 mg/L 4-KF içeren ortamlar hazırlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda (168 saat) besiyerinde kalan fenol miktarı HPLC analizi ile belirlenmiştir.

Bu denemelerin sonuçları çizelge 4.1’de verilmiştir. Karışık mikrobiyel kültürlerden BW, % 100 oranında fenol ve 4-KF degradasyonu yapmıştır. Bu karışık kültürlerden DW2 ise % 98 oranında fenol ve % 100 oranında 4-KF degradasyonu yapmıştır. İki karışık mikrobiyel kültür de yüksek oranda kirletici giderimi yapmıştır. Ancak BW karışık kültürü diğer karışık kültürlerle göre daha iyi gelişim gösterdiği için ($OD_{600}:1.1$) çalışmaya BW karışık kültürü ile devam edilmiştir. Deneylerin bundan sonraki bölümlerine en yüksek verimle fenol ve 4-KF biyoremediasyonu yapan karışık mikrobiyel kültür ile devam edilmiştir (BW).

Çizelge 4.1 Dokuz farklı karışık mikrobiyel kültürün kirletici uzaklaştırma kapasiteleri

Karışık Mikrobiyel Kültür	% Giderim		OD₆₀₀
	Fenol	4-KF	
DW1	23	100	0.3
DW2	98	100	0.2
DW3	98	85	0.2
DET	-	48	0.4
KA	98	84	0.4
BW	100	100	1.1
BT	98	64	0.5
TEK	-	-	0.9
TAT	100	8	0.7

(C₀ 52.1 mg /L (F); C₀ 2.5 mg /L (4-KF); pH 7; T: 30 °C; İnkübasyon süresi 168 saat)

4.2 Fenol ve 4-KF Giderimine pH Etkisi

Mikroorganizmaların gelişmesini en fazla etkileyen faktörlerden bir tanesi ortamın pH derecesidir. Denemeler pH 6, 7 ve 8 olmak üzere üç farklı pH’da ve 39.1 mg/L fenol ile 6.1 mg/L 4-KF konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 BW karışık kültürünün fenol ve 4-KF biyoremediasyonuna pH etkisi

pH	% Giderim		OD₆₀₀
	Fenol	4-KF	
6	100	100	0.8
7	98.6	100	0.9
8	100	100	0.9

(C₀: 39.1 mg/L (F); C₀: 6.1 mg/L (4-KF); T: 30 °C inkübasyon süresi: 120 saat)

İnkübasyon süresi sonunda BW karışık kültürü, ortam pH'ı 6, 7 veya 8 olduğunda, farklı pH değerlerinden olumsuz etkilenmeyerek, bu ortamlarda yaklaşık olarak % 100 verimlilikle fenol ve 4-KF giderimi yapmıştır. Bu karışık kültür pH 7'de % 98.6 fenol ve % 100 4-KF, pH 6 ve 8'de % 100 oranında kirletici degradasyonu yapmıştır. pH değerinin 8 olduğu denemelerde, BW karışık kültüründeki büyüme oranının diğer pH değerlerine göre daha fazla olduğu saptanmıştır (OD₆₀₀: 0.9). Bu nedenle optimum pH değeri 8 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bundan sonraki çalışmalarda ortam pH derecesi 8 olarak ayarlanmıştır.

4.3 Fenol ve 4-KF Giderimine Başlangıç Kirletici Konsantrasyonu Etkisi

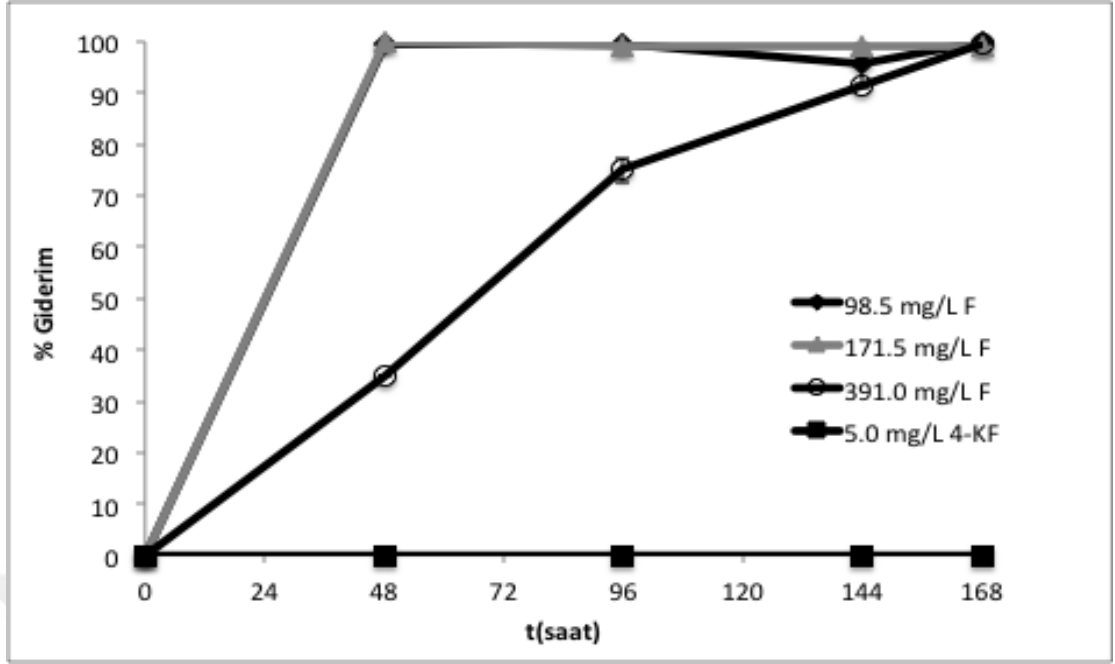
4.3.1 Fenol ve 4-KF'ün tekli degradasyonu

Optimum pH derecesi belirlendikten sonra farklı başlangıç fenol konsantrasyonlarının biyogiderim üzerine etkisini araştırmak amacıyla MSM besiyerleri 98.5 mg/L, 171.5 mg/L ve 391.0 mg/L fenol içerecek şekilde hazırlanmıştır. Denemeler 250 ml'lik erlenlerde, pH'ı 8 olan 100 ml'lik ortamlarda ve 30 °C sıcaklıkta, 100 rpm çalkalamalı inkübatörde gerçekleştirilmiştir.

Denemelerde kullanılan bu karışık kültür (BW), 98.5 mg/L fenol içeren besiyerinde ortama uygulanan fenolün % 99.5'i inkübasyon süresinin 48. saatinde uzaklaştırmıştır (Şekil 4.1).

Fenol konsantrasyonu 171.5 mg/L'ye çıkarıldığında karışık kültür, 98.5 mg/L kirletici içeren ortama benzer şekilde degradasyon yaparak, bu kirletici konsantrasyonunda ortama uygulanan fenolün %99.9'unun mineralize edilmesini inkübasyon süresinin 48. saatinde gerçekleştirmiştir.

Kirletici konsantrasyonunun 391.0 mg/L olduğu ortamda mikroorganizmalar ortamdaki fenolün %35'ni inkübasyon süresinin 48. saatinde uzaklaştırmıştır. Bu konsantrasyonda fenolün tamamı inkübasyon süresinin 168. saatinde parçalanmıştır.



Şekil 4.1 BW karışık mikrobiyel kültürü ile fenol ve 4-KF'ün MSM'de tekli giderimi (pH:8 ; İnkübasyon süresi : 168 Saat ; T : 30 °C)

Bu sonuçların yanı sıra, 4-KF'ün 5 mg/L başlangıç konsantrasyonunda MSM ortamında tekli degradasyonunun seçilen mikrobiyel kültür tarafından yapılamadığı gözlenmiştir. Ortamdaki 4-KF kirleticisinin mikrobiyel büyümeyi azalttığı ve degradasyonun yapılamadığı görülmüştür.

4.3.2 Fenol ve 4-KF'ün kometabolizma ile degradasyonu

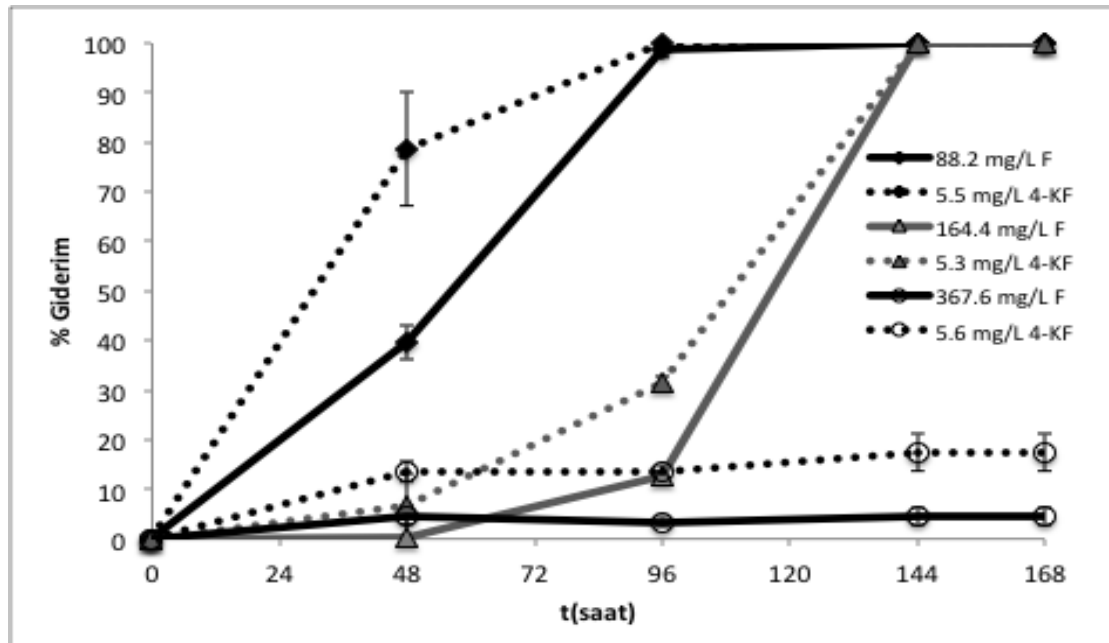
Çalışmanın bu aşamasında, fenol ve 4-KF'ün birlikte bulunduğu ortamlarda kirletici giderimi araştırılmıştır.

Şekil 4.2'de alınan veriler özetlenmiştir. Fenol konsantrasyonunun 88.2 mg/L olduğu denemelerde 48 saatlik inkübasyon süresinden sonra % 39.7 oranında fenol ve % 78 oranında 4-KF degrede edilmiştir. İnkübasyon süresi 144 saat olduğunda aynı koşullarda kirleticilerin tamamının mineralize olduğu görülmüştür.

Kirletici konsantrasyonunun iki katına çıkarıldığı (164.4 mg/L fenol) ortamdaki fenolün 96. saatin sonunda % 12.7, 144 saat sonunda ise % 100 degrede olduğu belirlenmiştir. Aynı ortamda 4-KF ise 96 saat sonunda % 31.5, 144 saat sonunda tamamen mineralize olmuştur.

Ortama en yüksek başlangıç fenol konsantrasyonu (367.6 mg/L) uygulandığında (4-KF: 5.6 mg/L) mikrobiyel kültür, kirleticilerden belirgin bir şekilde etkilenmiştir. Bu koşullar altında mikroorganizmalar, fenol ve 4-KF'ü tamamen degrede edememişlerdir. İnkübasyon süresinin 144. saatinde fenolün % 4.6'sı, 4-KF'ün ise % 17.5'lik kısmı degrede edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında, BW karışık mikrobiyel kültürünün fenol ve 4-KF'ün birlikte gideriminde, en yüksek degradasyon performansını 164.4 mg/L olan fenol konsantrasyonunda sağladığı görülmüştür. Daha yüksek fenol konsantrasyonunda mikrobiyel kültürün artan kirletici konsantrasyonundan olumsuz etkilendiği ve degradasyonun azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.2 Artan Fenol ve sabit 4-KF konsantrasyonlarında BW karışık mikrobiyel kültürü ile fenol ve 4-KF'ün birlikte MSM'de giderimi

(pH: 8; İnkübasyon süresi: 168 Saat; T: 30 °C)

BW karışık mikrobiyel kültürünün maksimum spesifik kirletici giderimleri çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Artan fenol konsantrasyonları altında en yüksek fenol giderim kapasitesine (BW) sahip karışık kültüründeki maksimum spesifik fenol giderimi (q_m)

C_o (mg/L)	q_m (mg/g)
98.5	88.5±1.9
171.5	141.6±7.5
391.0	228.2±2.1

(pH: 8; T: 30 °C, İnkübasyon süresi: 168 saat)

Çizelge 4.3'te BW karışık kültürünün ortamda yalnız fenol varken artan fenol konsantrasyonlarındaki maksimum spesifik fenol giderim miktarları (q_m) özetlenmiştir.

Ortamdaki fenol konsantrasyonu 98.5 mg/L olduğunda karışık mikrobiyel kütlenin 1 gramı başına giderilen fenol konsantrasyonu 88.5 mg olmuştur. Bununla birlikte, ortamda 171.5 mg/L fenol olduğunda q_m değeri 141.6 mg/g olarak bulunmuştur. En yüksek fenol konsantrasyonunda (391 mg/L), q_m değeri 228.2 mg/g olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4'te BW karışık kültürünün artan fenol ve sabit 4-KF içeren ortamlardaki maksimum spesifik fenol ve 4-KF giderim miktarları (q_m) özetlenmiştir.

Çizelge 4.4 Artan fenol ve sabit 4-KF konsantrasyonu altında en yüksek fenol giderim kapasitesine sahip karışık kültürde (BW) maksimum spesifik fenol ve 4-KF giderimi (q_m)

C_o (mg/L) Fenol	q_m (mg/g)	C_o (mg/L) 4-KF	q_m (mg/g)
88.2	64.8±3.2	5.5	4.0±0.20
164.4	94.1±1.2	5.3	3.0±0.04
367.6	14.8±7.2	5.6	1.5±0.50

(pH: 8; T: 30 °C inkübasyon süresi: 168 saat)

Fenolün 88.5 mg/L ve 4-KF'ün 5.5 mg/L örneklerde q_m değeri sırasıyla; 64.8 mg/g ve 4.0 mg/g olarak bulunmuştur.

Kirletici konsantrasyonlarının 164.4 mg/L fenol ve 5.3 mg/L 4-KF olduğu örneklerde q_m değerleri, fenol için; 94.1mg/g ve 4-KF için; 3.0 mg/g olarak bulunmuştur.

Fenol konsantrasyonu 367.6 mg/L ve 4-KF konsantrasyonu 5.6 mg/L iken q_m değerleri denenen diğer ortamlara göre daha düşük bulunmuştur (q_m -Fenol: 14.8 mg/g ve q_m -4-KF: 1.5 mg/g).



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Son yıllarda atıksu arıtımında kullanılan biyolojik yöntemler ile ilgili yapılan çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle mikroorganizmaların kometabolik yolla birden fazla kirleticiyi bir arada degrede ettiği biyogiderim çalışmaları artmıştır. Literatürde bu tür kirleticilerle yapılmış bir çok çalışma mevcuttur (Maleki vd. 2015, Aktaş 2012, Elango vd. 2011) Tez çalışmasında, aromatik halkaya sahip kirleticilerden olan fenol ve 4-KF'ün kometabolik yolla biyogiderim mekanizması ve bu mekanizmayı etkileyen çeşitli parametreler ortaya konulmuştur.

Çalışmada, farklı endüstriyel atıksulardan izole edilmiş dokuz adet karışık mikrobiyel kültürde (BW, BT, TAT, DW1, DW2, DW3, DET, KA ve TEK) fenol ve 4-KF kirleticilerinin giderim etkinlikleri test edilmiştir. En yüksek kirletici giderim kapasitesine sahip karışık mikrobiyel kültürün belirlenmesi için, dokuz karışık mikrobiyel kültür ile 52.1 mg/L fenol ve 2.5 mg/L 4-KF konsantrasyonuna sahip % 1 (v/v) melas içeren ortamda pH 7'de denemeler gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda test edilen her iki kirletici için de yüksek degradasyon verimine sahip (% 100) olan mikroorganizmalar, BW karışık mikrobiyel kültür örneklerinde bulunmuştur. DW2 olarak adlandırılan karışık mikrobiyel kültür de, fenol (% 98) ve 4-KF (% 100) için yüksek kirletici giderim oranına sahiptir. Bununla birlikte, en iyi mikrobiyel gelişmeyi BW karışık kültürü göstermiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak, BW karışık mikrobiyel kültüründeki mikroorganizmaların ortama daha iyi adapte olduğu söyleyebiliriz.

Bir kirletici veya kirletici karışımlarının degradasyonuna farklı mikroorganizmalar dahil olabilir. Her ne kadar saf kültürlerle yapılan çalışmalar bulunsada (Tobajas vd. 2012), degradasyon prosesi sırasında ortaya çıkan ara ürünler nedeniyle biyoremediasyon işlemlerinde farklı mikroorganizmaların bulunmasının gerekliliği söz konusudur. Bu ara ürün bileşenleri mikroorganizmalar üzerine toksik etkiye sahip olabilirler ve bu nedenle degradasyon olumsuz yönde etkilenebilir. Degradasyonun tamamlanması için bu ara ürünlerin ortamdanda uzaklaştırılması gereklidir. Karışık mikrobiyel kültürler bu tür bileşenleri asimile edebilecek farklı mikroorganizma tiplerini içermektedir. Bu nedenle karışık mikrobiyel kültür ile degradasyon işleminin gerçekleştirilmesi saf kültür

kullanılarak gerçekleştirilmesinden daha etkin olabilmektedir (Nzila 2013).

Bu çalışmada karışık mikrobiyel kültürler kullanılmıştır. En yüksek kirletici degradasyon kapasitesine sahip olan karışık mikrobiyel kültürün BW olmasının sebebi ise büyük ihtimalle karışık kültürdeki mikroorganizma çeşitliliğidir. Bu mikroorganizma çeşitliliği kirletici degradasyonu sırasında oluşan ve mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yapan ara maddelere rağmen degradasyonun devam etmesini sağlamıştır.

Kirletici giderim mekanizmalarını en çok etkileyen parametrelerden birisi de ortam pH değeridir. Yapılan araştırmalar neticesinde bu parameter ile ilgili kısıtlı sayıda çalışma olduğu tespit edilmiş, bu açıdan tez çalışmasının farkı ortaya konulmuştur. Çalışmada elde edilen verilere göre BW karışık mikrobiyel kültürü, pH 6-8 arasındaki değişimlerden etkilenmemiştir. Mikroorganizmalar test edilecek pH düzeylerinde (pH: 6, 7 ve 8) ortama uygulanan fenol (39.1 mg/L) ve 4-KF (6.1 mg/L)'ün tümünü degrades edebilmiştir. pH 7'de fenol degradasyonu düzeyi pH 6 ve 8'e göre biraz düşük saptanmıştır (%98.6). pH değerinin 8 olduğu ortamda, elde edilen en yüksek degradasyon (%100) ve en yüksek mikrobiyel büyüme oranı (OD₆₀₀: 0.9) ile en verimli kirletici giderimi yapıldığı saptanmıştır. Mevcut çalışmalar da, fenol ve 4-KF degradasyonunun alkali pH değerlerinde yapıldığını göstermiştir (Silva vd. 2011, Tobajas 2012).

Başarılı bir arıtım prosesi ortaya koymak için uygun kirletici konsantrasyonlarında çalışılmalıdır. Kirletici madde olarak 2,4-DKF'ün kullanıldığı bir çalışmada (Uysal 2007), kirletici konsantrasyonları 5 – 450 mg/L aralığında olacak şekilde denemeler yapılmış ve maksimum çıkılabilecek kirletici konsantrasyonu 350 mg/L olarak belirtilmiş, daha yüksek oranda kirletici konsantrasyonunun ortamdaki mikroorganizmalar üzerine inhibe edici etkisi vurgulanmıştır. Fenol ve 4-KF'ün kirletici madde olarak kullanıldığı benzer bir çalışmada (Tobajas 2012) maksimum fenol konsantrasyonu 240 mg/L fenol olarak belirtilmiştir. Tez çalışmasında ise 88.2 – 367.6 mg/L arasında değişen fenol ile sabit 4-KF konsantrasyonlarında çalışmalar yapılmış ve BW karışık mikrobiyel kültüründe 164.4 mg/L fenol konsantrasyonuna

kadar fenol ve 4-KF gideriminin olumsuz etkilenmediği belirlenmiştir.

Karışık BW mikrobiyel kültürünün kometabolik yolla test edilen kirleticileri degradesyonunda, 4-KF tek başına iken inkübasyon süresinin 144. saatinin sonunda degrades olmazken, fenol ve 4-KF beraber kullanıldıklarında aynı inkübasyon süresi sonunda hızlı bir kometabolik giderim olduğu gözlenmiştir.

Ortamda tek kirletici bulunduğunda BW karışık kültüründeki maksimum spesifik fenol giderim değerleri ile ortamda her iki kirletici (fenol ve 4-KF) bir arada olduğunda BW karışık kültüründeki maksimum spesifik fenol giderim değerleri karşılaştırılmıştır. Fenol ve 4-KF'ün birlikte bulunduğu ortamdaki kirletici konsantrasyonunun (Maksimum: 367.6 mg/L fenol) fenolün tek kirletici olarak bulunduğu ortamlardaki, kirletici konsantrasyonundan (Maksimum: 391.0 mg/L fenol); düşük olmasına rağmen, her iki kirleticinin birlikte bulunduğu ortamlarda elde edilen q_m değerleri tek kirleticinin bulunduğu ortamlardaki q_m değerlerinden daha az olduğu belirlenmiştir. Fenol besiyerinde tek başına olduğunda mikrobiyel gelişme için gerekli lag faz, fenol ve 4-KF'ün ikili olduğundaki mikrobiyel gelişmedeki lag fazdan daha kısadır. BW karışık kültüründeki mikroorganizmaların; fenolü daha kolay degrades edebildiği ve 4-KF degradesyonundansa, fenol degradesyonuna daha yatkın olduğu belirlenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda 4-KF'ün mikrobiyel büyüme üzerine toksik etkileri olduğu gözlenmiştir (Loh ve Wang 1998, Tobajas 2012). Tobajas (2012)'ın yapmış olduğu çalışmalarda 4-KF'ün fenol içermeyen ortamlarda kısmi degradesyona uğradığı gösterilmiştir. Bununla beraber mevcut çalışmamızda bu etki gözlenmemiştir. Bizim çalışmamızda 4-KF, tam bir kometabolizma için fenole primer substrat olarak ihtiyaç duymuştur. Bu sonuçlar, BW karışık mikrobiyel kültürün her iki kirletici bir arada olduğu anda kometabolik yolla 4-KF giderimi yaptığını göstermiştir.

Literatürdeki mevcut çalışmalarda glukoz kullanımının kometabolik degradesyonu hızlandırdığı görülmüştür. Yuancai vd.(2016)'nin yapmış olduğu çalışmada ortama 24 mg/L glukoz eklenmiş ve ortama glikoz eklenmesinin biyolojik bozunma hızını artırdığı belirtilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar glukoz gibi kolay büyüme sağlayan

substratların ortamda bulunmasıyla 4-KF'ün daha hızlı degrede olduğunu göstermiştir (Tarighan vd. 2003). Bu çalışmada mikrobiyel kültürün gelişmesine destek olması amacıyla şeker işleme atığı olan melas kullanılmıştır. Mikrobiyel kütleyi artırmak için glukoz yerine melas tercih edilmesinin sebebi; melasın da atık bir madde olmasıdır. Ortama karbon kaynağı olarak melas eklenmesi mikrobiyel büyüme üzerine pozitif etkide bulunmuştur. Daha sonrasında fenol ve 4-KF birlikte degrede edilebilmiştir. Böylece kirlenici giderimi hızlanmıştır. Ancak her ne kadar glukoz mikrobiyel gelişmeyi desteklesede bazen kometabolik degradasyona olumsuz etki yapabilir. Lob ve Tar (2000) tarafından yapılan çalışmada, ortama fenolün yanı sıra 1g/L' den daha az glukoz ilave edildiğinde, glukozun fenolün parçalanmasına yardımcı olduğu, glukoz derişimi arttırıldığında ise, mikroorganizma miktarındaki artışa rağmen fenol degradasyonunun azaldığı belirtilmiştir. Yapılan tez çalışmasında da, ortamdaki melas varlığının artırılması sonucunda; karışık kültürlerdeki mikroorganizma miktarının arttığı ama, parçalanması hedeflenen karbon kaynağının kullanımını engellediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda melas besiyerine %1 (v/v) olacak şekilde eklenmiştir.

Biyoremediasyon süreçlerinde farklı kirlenicilerin bir arada bulunduğu kirli sularda biyolojik arıtım yapabilen mikroorganizmaların varlığı büyük önem taşımaktadır. Tez çalışmasında ortama uygulanan iki farklı kirlenicinin %100 mineralizasyonu BW karışık mikrobiyel kültürün kometabolizması ile gerçekleştirilmiştir.

Elde ettiğimiz karışık mikrobiyel kültürün kometabolizma yoluyla farklı kirlenicileri birlikte giderebileceğini ve biyolojik arıtım süreçlerinde kullanım potansiyeline sahip mikroorganizmalar içerdiğini göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma ile atıksuların içerisinde bir arada bulunan bir çok toksik maddenin kometabolik yolla degrede edilebileceği gösterilmiş ve bu mekanizmanın kinetiği hakkında literatüre katkı sağlanmıştır. Tez çalışması daha sonra bu alanda yapılabilecek ileri çalışmalara ışık tutmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anonim. 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Resmi Gazete Sayısı: 25687
- Anonim. 2011. Kimya Teknolojisi Aromatik Bileşikler Meb Yayını 177 S., Ankara
- Anonymous. 2015. Web Sitesi: <https://www.epa.gov/emergency-response>, Erişim Tarihi: 05.03.2017.
- Anonymous. 2017. Web Sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Fenol>, Erişim Tarihi : 03.05.2017
- Afzal, M., Iqbal, S., Rauf, S. and Khalid, Z.M. 2007. Characteristics of Phenol Biodegradation İn Saline Solutions By Monocultures of *Pseudomonas Aeruginosa* And *Pseudomonas Pseudomallei*, J. Hazard. Mater. (149) 60–66.
- Aktaş, Ö. 2012. Effect Of S0/X0 Ratio and Acclimation on Respirometry of Activated Sludge İn The Cometabolic Biodegradation of Phenolic Compounds. Bioresource Technology 111, 98–104.
- Arutchelvan, V., Kanakasabai, V., Elangovan, R., Nagarajan, S. and Muralikrishnan, V. 2006. Kinetics of High Strength Phenol Degradation Using *Bacillus Brevis*. Journal Of Hazardous Materials B129, 216–222.
- Bülbül, G. ve Aksu, Z. 1997. Atıksulardaki Fenol Kirliliğinin Serbest ve Caaljinata Tutuklanmış P.Putita İle Giderilmesinin Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Karıştırmalı Olarak İncelenmesi, Turkish J. Eng. Environ Sci., 21:175-181
- Callega, G., Serra, J. and Rodriguez, J. 1993. Kinetics Of Adsorption Phenolic Compounds From Wastewater Onto Activated Carbon, Carbon 3: 691-697
- Ceyhan, N. and Esmeray, E. 2012. “Petroleum Pollution And Bioremediation”. Turkish Journal Of Scientific Reviews
- De Los Cobos-Vasconcelos, D., Santoyo-Tepole, F., Juarez-Ramirez, C., Ruiz-Ordaz, N. and Galindez-Mayer C.J.J. 2006, Cometabolic Degradation Of Chlorophenols By A Strain Of Burkholderia İn Fed-Batch Culture. Enzyme and Microbial Technology 40, 57–60.
- Demir, I. and Demirbağ, Z. 1999. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Biyolojik Olarak Parçalanması. Turkish Journal Of Zoology, 23: 293-30
- Field, J.A. and Sierra-Alvarez, R. 2007. Biodegradability Of Chlorinated Aromatic Compounds. Science Dossier 12, Eurochlor, 1-124
- Gurbanov, R., Sımsek Ozek, N. Gul Gozen, A. and Severcan, F. 2015. A Novel Approach For Environmental Bioremediation , The Turkish Journal of Occupational/Environmental Medicine and Safety
- Han, Y.L., Tom Kuo, M.C., Tseng, I.C. and Lu, C.J. 2007. Semicontinuous Microcosm Study Of Aerobic Cometabolism Of Trichloroethylene Using Toluene, Journal Of Hazardous Materials 148, 583–591

- Ishtchenko, V.V., Huddersman, K.D., Vitkovskaya, R.F., Tereschenko, L.Y., Romanova, E.P. and Rumynskaya, I.G. 2003. A Novel Catalytic System For The Oxidative Destruction Of Toxic Organic Compounds In Industrial Wastewaters. *Water Environ. J.*, 17(1), 13–18
- Kotresha, D. and Vidyasagar, G.M. 2008. Isolation And Characterisation Of Phenol Degrading *Pseudomonas Aeruginosa* Mtcc 4996, *World J. Microbiol. Biotechnol.* 24,541–547.
- Kılıç, N.K. 2009. Enhancement Of Phenol Biodegradation By *Ochrobactrum* Sp. Isolated From Industrial Wastewaters *Int. Biodet. Biodeg.* 63 (6), 778–781.
- Kumar, A., Kumar, S. and Kumar, S. 2005. Biodegradation Kinetics of Phenol and Catechol Using *Pseudomonas Putida* Mtcc, 1194, *Biochem. Eng. J.* (22) 151-159.
- Kulkarni, M. and Chaudhari, A. 2006. Biodegradation Of Pnitrophenol By *P. Putida*. *Bioresour. Technol.* (97) 982–988.
- Lob, K.C. and Tar, P.P. 2000, Effect of additional carbon sources on biodegradation of phenol, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 64, 756-763,
- Leitão, A.L., Duarte, M.P. and Santos Oliveira, J. 2007. Degradation Of Phenol By A Halotolerant Strain Of *Penicillium Chrysogenum*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 59, 220–225
- Loh., K.C. and Wu, T. 2006. Cometabolic Transformation Of 2-Chlorophenol And 4-Chlorophenol In The Presence Of Phenol By *Pseudomonas Putida*. *The Canadian Journal Of Chemical Engineering*, 84, 356-367.
- Margesin, R., Fonteyne, P.A. and Redl, B. 2005. Low-Temperature Biodegradation Of High Amounts Of Phenol By *Rhodococcus* Spp. And Basidiomycetous Yeasts. *Research In Microbiology* 156, 68–75.
- Margesin R., Moertelmaier, C. and Mair, J. 2013. Low-Temperature Biodegradation Of Petroleum Hydrocarbons (N-Alkanes, Phenol, Anthracene, Pyrene) By Four Actinobacterial Strains. *International Biodeterioration & Biodegradation* 84, 185–191.
- Metcalf E. and Eddy, H.P 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal And Reuse*, 3d Ed., Mcgraw-Hill, New York
- Michałowicz, J. and Duda W. 2007. Phenols – Sources And Toxicity. *Polish J. Of Environ.*
- Mohammed, M., Mahdi, M., Mahsa, S., Seyed, Z. and Farzaneh, V. 2015. Experimental Study And Kinetic Modeling Of Cometabolic Degredation Of Phenol And P-nitrophenol By Loofaimmobilized *Ralstonia Eutropha*. *Biotechnology & Bioprocess Engineering* Vol. 20 Issue 1, p124-130. 7p.
- Monsalvo , V.M., Mohedano, A.F., Casas, J.A. and Rodríguez, J.J. 2009. Cometabolic Biodegradation Of 4-Chlorophenol By Sequencing Batch Reactors At Different Temperatures. *Bioresource Technology* 100, 4572–4578.

- Nair, I.C., Jayachandran, K. and Shashidhar, S. 2007. Treatment Of Paper Factory Effluent Using A Phenol Degrading *Alcaligenes* Sp. Under Free And Immobilized Conditions. *Bioresource Technology* 98, 714–716.
- Nzila, A. 2013. Update On The Cometabolism Of Organic Poluutants By Bacteria. *Enviromental Pollution* 178, 474-482
- Patterson, J.W. 1977. *Wastewater Treatment Technology*, Ann Arbor Science Pub. Inc., U.S.A,
- Pérez, R.R., Benito, G.G. and Miranda, P. 1997. Chlorophenol Degradation By *Phanerochaete Chrysosporium*. *Bioresource Technology* 60, 207–213.
- Powlowski, J. and Shingler, V. 1994. Genetics And Biochemistry Of Phenol Degradation By *Pseudomonas* Sp. Cf600. *Biodegradation* 5, 219–236.
- Saravanan, P., Pakshirajan, K. and Saha, P. 2008. Biodegradation Of Phenol And M-Cresol In A Batch And Fed Batch Operated Internal Loop Airlift Bioreactor By Indigenus Mixed Microbial Culture Predominantly *Pseudomonas* Sp. *Bioresource Technology* 99, 8553–8558.
- Silva, C.D., Gomezi, J. and Beristain Cardoso, R. 2011. Simultaneous removal of 2-Chlorophenol, phenol, p-cresol and p-hydroxybenzaldehyde under nitrifying Conditions: Kinetic study. *Bioresource Technology* 102, 6464-6468.
- Tarighan, A., Hill, G., Headley, J. and Pedras S. 2003. Enhancement of 4-cholophenol biodegradation using glucose. *Clean Techn Eviron Policy* 5, 61-65.
- Talitha, C.S., Janice, L. K. and Lesley, A.W. 2015. Microbially-Driven Strategies For Bioremediation Of Bauxite Residue, *Journal Of Hazardous Materials*
- Tenikler, G. ve Toprak K. Z. 2012 "Türkiye’de Tehlikeli Atık Yönetimi ve Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Bir Analiz
- Tobajas, M., Monsalvo, V.M., Mohedano, A.F. and Rodriguez, J.J. 2012. Enhancement Of Cometabolic Biodegradation Of 4-Chlorophenol Induced With Phenol And Glucose As Carbon Sources By *Comamonas Testosteroni*. *Journal Of Environmental Management* 95, S116-S121.
- Uysal, A. ve Türkman, A. 2007. Aktif Çamur Üzerine Yüksek Konsantrasyonlardaki 2,4- DKF’ ün Etkisi. *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, Vol 13, Iss 2, Pp 189-194
- Van, Schie, P.M. and Young, L.Y. 2000. Biodegradation Of Phenol: Mechanisms And Applications. *Bioremediation J.* 4(1), 1–18
- Wang, S.J. and Loh, K.C. 1999. Facilitation Of Come- Tabolic Degradation Of 4-Chlorophenol Using Glu- Cose As An Added Growth Substrate, *Biodegrada-* , 10, 261-269
- Wang, S.Y., Kuo, Y.C., Huang, Y.Z., Huang, C.W. and Kao, C.M. 2015. Bioremediation Of 1,2-Dichloroethane Contaminated Groundwater: Microcosm and Microbial Diversity Studies *Environmental Pollution*, 97-106
- Xie, S., Liu, J., Li, L, and Qiao C. 2009. Biodegradation Of Malathion By *Acinetobacter Johnsonii* Ma19 And Optimization Of Cometabolism Substrates, *Journal Of Environmental Sciences* 21, 76–82

- Yang, C. and Lee, C. 2007. Enrichment, İsolation, And Characterization Of Phenol Degrading *Pseudomonas Resinovorans* Strain P-1 And *Brevibacillus* Sp. Strain P-6. *International Biodeterioration & Biodegradation* 59, 206–210.
- Yan, J., Jianping, W., Jing, B., Daoquan, W. and Zongding, H. 2006. Phenol Biodegradation By The Yeast *Candida Tropicalis* İn The Presence Of M-Cresol. *Biochemical Engineering Journal* 29, 227–234.
- Yıldız, G. 2001. Çeşitli Aktif Karbonlar Kullanılarak Atıksulardan Adsorbsiyon Yöntemi İle Fenol Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 48s
- Yuancai, L., Lianghao, L., Yuancai, C., Zhenghua, T. and Yongyou, H. 2016. Effects of glucose and biphenyl on aerobic cometabolism of polybrominated diphenyl ethers by *Pseudomonas putida*: Kinetics and degradation mechanism *International Biodeterioration & Biodegradation*. March 2016, Vol. 108, pp. 9 -76

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğba DURMUŞ

Doğum Yeri : K.Maraş

Doğum Tarihi : 19.02.1983

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : K.Maraş Lisesi (2000)

Lisans : Selçuk Üniversitesi/Eğitim Fakültesi/Fen Bilgisi Öğretmenliği (2004)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı
(Haziran 2017)

Çalıştığı Kurum

Milli Eğitim Bakanlığı/Öğretmen olarak 2012--

Uluslararası Kongre Sunum

Durmuş, T. 2016. ‘Fenolik Maddelerin Karışık Kültür Bakterileri ile Kometabolik Yolla Arıtımı’ isimli poster çalışmasını Barselona-İspanya’da yapılan ‘10. ISEB Konferansı’ isimli toplantıda sunmuştur (03.06.2016).