



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN  
MİKROALGLERLE  
BİYOREMEDİASYONU**

**Özlem GÜL**

**KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK,  
NÜKLEER TEHDİTLER YÖNETİMİ  
ANABİLİM DALI**

**AĞUSTOS 2021**





**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN MİKROALGLERLE  
BİYOREMEDİASYONU**

**Özlem GÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK, NÜKLEER TEHDİTLER  
YÖNETİMİ (KBRN) ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2021**

Özlem GÜL tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN MİKROALGLERLE BİYOREMEDİASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK, NÜKLEER TEHDİTLER YÖNETİMİ (KBRN) Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Mehmet Lütfi YOLA  
Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı, Hasan Kalyoncu Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**İkinci Danışman:** Doç. Dr. Tuğba Raika KIRAN  
Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Malatya Turgut Özal Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Prof. Dr. Necip ATAR  
Temel İş ve Termodinamik Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Ceyhun BERKETOĞLU  
Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 03/08/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
  - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Özlem GÜL

03/08/2021

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN MİKROALGLERLE BİYOREMEDİASYONU  
(Yüksek Lisans Tezi)

Özlem GÜL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2021

ÖZET

Tez çalışmasında, Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer (KBRN) tehditlerinin toksik endüstriyel kimyasal sınıfında yer alan pestisitlerin mavi-yeşil mikroalg ile biyoremediasyon deneyleri yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir. Söz konusu pestisitler insan, canlı ve çevre sağlığına oldukça zararlı olmakla beraber doğada kalıcılığı yüksektir. Son zamanlarda tarımsal alanda pestisitlere olan talebin ve kullanımının artması üretim, taşıma ve depolama alanlarında risk oluşturmaktadır. Kullanmış olduğumuz mikroalgin hali hazırda başta tıp ve ilaç sanayisi olmak üzere önemli alanlarda kullanımının mevcut olmasının yanı sıra pestisitleri metabolize etme yeteneği bilinmektedir. Pestisitlerin zararlı etkilerini yok etmek ya da en aza indirmek için biyoremediasyon yönteminin etkinliği çalışmamız ile desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan mikroalg ve pestisitlerin daha önceki çalışmalarda kullanılmaması tez çalışmamızın özgünlüğünü kanıtlamaktadır. Deneysel çalışma sonucu elektrokimya yöntemi ile analizler yapılmış ve *Spirulina platensis* tarafından phosmet'in 7 gün sonunda %70,0, ethion'un % 61,0, methly parathion'un ise %50,0 oranında ortamdaki uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : KBRN, Pestisit, Biyoremediasyon, Mikroalg

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Prof. Dr. Mehmet Lütfi YOLA

BIOREMEDIATION OF INDUSTRIAL WASTE WITH MICROALGAE  
(M. Sc. Thesis)

Özlem GÜL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
POSTGRADUATE EDUCATION INSTITUTE

August 2021

ABSTRACT

In thesis study, bioremediation experiments of pesticides in toxic industrial chemical class of Chemical, Biological, Radioactive, Nuclear (CBRN) threats were conducted with blue-green microalgae and their results were analysed. Though these aforementioned pesticides are highly harmful to human, living and environmental health, they have high-permanence in nature. Recently, the increasing demand and use of pesticides in agriculture poses risks in production, transportation and storage areas. The microalgae we have used is already known for its ability to metabolize pesticides, as well as being used in important areas, especially in the medicine and pharmaceutical industry. The effectiveness of the bioremediation method in order to eliminate or minimize the harmful effects of pesticides has been supported by our study. The fact that the microalgae and pesticides used in the study were not used in previous studies proves the originality of our thesis. As a consequence of the experimental study, analyses were made with electrochemistry method and at the end of 7 days it has been determined that phosmet is removed by *spirulina platensis* by 70.0%, ethion by 61.0% and methyl parathion by 50.0%.

Key Words : CBRN, pesticide, Bioremediation, Microalgae  
Page Number : 65  
Supervisor : Prof. Dr. Mehmet Lütfi YOLA

## TEŞEKKÜR

Bu alıŐma s¼recinde beni y¼nlendiren gerekli çalışma ve laboratuvar ortamını sağlayan destek ve yardımlarını esirgemeyen başta Turgut ¼zal niversitesi ¼đretim yesi Doç. Dr. Tuğba Raika KIRAN, İskenderun Teknik niversitesi ¼đr. G¼r. Bahar BANKOğLU YOLA ‘ya ve tez danıŐmanım Hasan Kalyonu Üniversitesi Rekt¼r Yardımcısı Prof. Dr. Mehmet L¼tfi YOLA ‘ya, teŐekk¼r¼ bir borç bilirim.

Ayrıca çalıŐmalarım s¼resince beni destekleyen ve g¼venen eŐim, kızım ve aileme teŐekk¼r ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Kimyasal Tehditler.....	4
2.1.1. Sinir ajanları.....	5
2.1.2. Vezikanlar.....	6
2.1.3. Kan ajanları.....	7
2.1.4. Pulmoner ajanlar.....	7
2.1.5. Öldürücü olmayan ajanlar.....	8
2.2. Biyolojik Tehditler.....	9
2.3. Radyoaktif Tehditler.....	11
2.4. Nükleer Tehditler.....	12
2.5. Pestisitler.....	13
2.6. Toksik Endüstriyel Kimyasalların Remediasyonu.....	14
2.6.1. Fitoremediasyon tekniği.....	15
2.6.2. Biyoremediasyon tekniği.....	15
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
3.1. Çalışmada Kullanılan Pestisitler.....	21
3.1.1. Phosmet.....	21
3.1.2. Metil parathion.....	21
3.1.3. Ethion.....	22
3.2. Çalışmada Kullanılan Mikrolag.....	23



	<b>Sayfa</b>
3.2.1. <i>Spirulina platensis</i> kültürünün çoğaltılması.....	24
3.3. Elektrokimyasal Analiz Yönteminin Geliştirilmesi.....	32
3.3.1. Elektrokimyasal hücre düzeneği.....	32
3.3.2. Deneyin yapılışı.....	32
3.3.3. Kalibrasyon grafiklerinin hazırlanması.....	32
4. SONUÇLAR.....	33
4.1. <i>Spirulina platensis</i> Kültürünün Takip Sonuçları.....	33
4.2. Elektrokimyasal Tayin için Her Üç Pestisite Ait Kaydedilen Voltammogramlar.....	33
4.3. Kalibrasyon Eğrileri ve Doğrusallık Aralıkları.....	35
5. TARTIŞMA.....	40
KAYNAKLAR.....	42
EKLER.....	47
DİZİN.....	51

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Pestisitlerin önemli sınıfları.....	13
Çizelge 2.2. Mikroorganizmalar kullanılarak pestisitlerin bioremediasyonu.....	18
Çizelge 2.3. Mikroalgler kullanılarak pestisitlerin bioremediasyonu.....	18
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan pestisitlere ait bilgiler verilmiştir.....	23
Çizelge 3.2. <i>Spirulina platensis</i> 'in sistematikteki yeri.....	23
Çizelge 3.3. Zarrouk medium kültür ortamı içeriği.....	25
Çizelge 4.1. <i>Spirulina platensis</i> kültürlerinin takip sonuçları.....	33
Çizelge 4.2. Phosmet'in SWV yöntemi ile analizinden elde edilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı ile doğrusallıktan ayrılış önem kontrolü için yapılan istatistiksel hesaplamalar.....	37
Çizelge 4.3. M. Parathion'un SWV yöntemi ile analizinden elde edilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı ile doğrusallıktan ayrılış önem kontrolü için yapılan istatistiksel hesaplamalar.....	37
Çizelge 4.4. Ethion'un SWV yöntemi ile analizinden elde edilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı ile doğrusallıktan ayrılış önem kontrolü için yapılan istatistiksel hesaplamalar.....	38
Çizelge 4.5. <i>Sirunia platensis</i> kültüründe hesaplanan pestisit sonuçları.....	39

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. <i>Spirulina platensis</i> kültürünün deneyde kullanılan pestisitler üzerindeki biyoremediasyon etkisinin günlere göre yüzdelik sonuçları.....	39



## RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. <i>Spirulina platensis</i> Mikroskop görüntüsü.....	24
Resim 3.2. Laboratuvar ortamında <i>Spirulina platensis</i> ekimi.....	26
Resim 3.3. 250 mL lik şişelere hava veren kompresörler.....	27
Resim 3.4. <i>Spirulina platensis</i> kültürlerinin ısı ve pH değerini ölçmede kullanılan cihaz.....	28
Resim 3.5. <i>Spirulina platensis</i> kültürlerinin optik yoğunluk değerini ölçmede kullanılan spektrofotometre cihazı.....	29
Resim 3.6. Kültür şişelerinden alınan numuneler.....	30
Resim 3.7. Kültürlerin filtre edilme işlemi.....	31
Resim 4.1. Phosmet'in kare dalga voltamogramları (En küçük derişim: 0,5 ppm ve En yüksek derişim: 10,0 ppm).....	34
Resim 4.2. M. Parathion'un kare dalga voltamogramları (En küçük derişim: 0,5 ppm ve En yüksek derişim: 10,0 ppm).....	34
Resim 4.3. Ethion'un kare dalga voltamogramları (En küçük derişim: 0,5 ppm ve En yüksek derişim: 10,0 ppm).....	35
Resim 4.4. Phosmet'in SWV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon eğrisi (n = 6).....	35
Resim 4.5. M. Parathion'un SWV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon eğrisi (n = 6).	36
Resim 4.6. Ethion'un SWV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon eğrisi (n = 6).....	36

**SİMGELER VE KISALTMALAR**

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile beraber aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>Cd</b>	Kadmiyum
<b>Cr</b>	Krom
<b>As</b>	Arsenik
<b>Pb</b>	Kurşun
<b>Hg</b>	Civa
<b><sup>235</sup>U</b>	Uranyum
<b><sup>241</sup>Pu</b>	Plutonium
<b>GA</b>	Tabun
<b>GB</b>	Sarin
<b>GD</b>	Soman
<b>AC</b>	Hidrojen siyanür
<b>CK</b>	Siyonejen klorür
<b>ppm</b>	Milyonda bir/Değişim birimi (mg/L)
<b>°C</b>	Derece Celcius, sıcaklık
<b>LD50</b>	%50 Öldürücü doz
<b>LC50</b>	%50 Öldürücü konsantrasyon
<b>mg</b>	Miligram
<b>mL</b>	Mililitre
<b>L</b>	Litre
<b>kg</b>	Kilogram
<b>G</b>	Gram

**Simgeler****pH****nm****µm****Açıklamalar**

Hidrojen aktivitesi

Nanometre

Mikrometre

**Kısaltmalar****ABD****DNA****DDT****KBRN****USEPA****UV-vis****SWV****WHO****Açıklamalar**

Amerika Birleşik Devletleri

Deoksiribo nükleik asit

Dikoloro difenil trikloroetan

Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

Ultraviolet-visible spectroscopy

Kare Dalga Voltametresi

Dünya Sağlık Örgütü

## 1. GİRİŞ

Endüstri sektöründe işlenerek ya da tüketilerek kullanılan maddelerden arta kalan, zaman içinde işlenemeyen veya tüketilemeyen çeşitli metaller, artık yağlar, cüruf ve maden atıkları, hastane atıkları gibi atıklar endüstriyel atık olarak tanımlanmaktadır. Bu atıklar başta insan sağlığı olmak üzere doğaya, çevreye ve tüm canlılara geri dönüşümsüz uzun ve kısa vadeli zararlar vermektedir. Atık oluşumu dünya genelinde düşünüldüğünde; toksik endüstriyel kimyasal atıkların depolanması, imhası oldukça maliyetli ve zordur.

Gelişmekte olan dünyada artan nüfus, tüketim ve üretim ihtiyacı endüstri sektörünün daha yoğun çalışmasına neden olmaktadır. Hızla artan talebe karşılık endüstrinin her kolunda hızlı ve verimli üretimin devamlılığının sağlanması amacıyla kimyasal madde kullanımının artmasının yanı sıra yükselişe geçen atık miktarı tüm dünyada ciddi sorunlara yol açmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde özellikle kontrolsüz üretim ve kullanıma bağlı olarak ortaya çıkan toksik endüstriyel kimyasallar başlıca zehirli kimyasal atıklar, hastane atıkları, petrol ve türevi atıklar, pestisitler, evsel atıklar oluşturmaktadır. Üretim yapan fabrikalardan arta kalan kimyasallar, tarımsal alanda hızlı ve verimli mahsul elde edebilmek için kullanılan pestisitler, hastanelerde sağlık hizmetinden artan kimyasal ve atıklar özellikle öne çıkan kimyasal atık kaynaklarını oluşturmaktadır [1].

Endüstriyel atık sular, ciddi çevre kirliliğine ve sağlık tehlikelerine neden olabilecek çeşitli organik ve inorganik kirleticiler içerir. Organik kirleticiler arasında fenoller, klorlu fenoller, endokrin bozucu kimyasallar, azo boyalar, poliaromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, pestisitler vb. bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, inorganik kirleticiler, Cd, Cr, As, Pb ve Hg gibi çeşitli toksik ağır metalleri de içermektedir. Endüstriyel atık sularındaki inorganik metal kirleticilerin doğada biyolojik parçalanması oldukça zordur. Bu nedenle, endüstriyel atık suyun çevreye nihai bertarafından önce yeterince arıtılması gerekmektedir [2].

Kimya ve petrol endüstrilerinin 20. yüzyılda devasa genişlemesi, hayatımızı değiştiren çok çeşitli kimyasal bileşiklerin ve malzemelerin üretimiyle sonuçlanmıştır.

Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilen bireysel dökme kimyasalların yıllık hacimleri etilen, propilen, vinil klorür, benzen ve etil benzen için 5-20 milyon metrik ton ve

çok sayıda diğer organik kimyasallar için 1-5 milyon ton arasında değişmektedir. Dünyada yılda yaklaşık 140 milyon ton sentetik polimer / plastik üretilmektedir [3].

Küresel ham petrol üretim hacmi günde yaklaşık 72 milyon varil, toplam rafinaj kapasitesi ise günde 74,4 milyon varil şeklinde kayıtlara geçmiştir [4]. Son büyük rakamlar (yılda 25 milyar varil civarında), yıllık üretilen ve kullanılan rafine yakıtların ve diğer yağ bazlı ürünlerin ölçüğünü ve hacmini göstermektedir. Dolayısıyla, bu hacimlerin sadece % 1'inin çevreye dökülme, atık bertarafı veya buharlaşma yoluyla çevreye dağıldığını varsayarsak, bu yılda 266 milyon varildir [4].

Endüstriyel faaliyetler aynı zamanda toprak ve diğer ortamların ağır metallere istenmeyen kirlenmesine yol açmaktadır, bu da insan ve hayvan sağlığı açısından toksiktir. <sup>235</sup>U, ve <sup>241</sup>Pu gibi yüksek aktiviteli radyonüklidlerle toprak ve katı atıkların kontaminasyonu aynı zamanda bu metallerin tüm yaşam formlarında radiotoksik olma potansiyeli ile ek bir çevresel tehlikeyi de gözler önüne sermektedir [5].

Ayrıca, amonyak, nitrat, fosfat ve fosfonatlar gibi toprakta kullanılan aşırı miktardaki inorganik gübreler akarsulara bulaşarak veya havada birikerek kirlenmeye neden olmakta ve toksik etki göstermektedir. Dünyada yaşamın her alanında karşımıza çıkan toksik endüstriyel kimyasallar, insanlar, canlılar ve doğa üzerinde göz ardı edilemez zararlı etkilere sahip maddelerdir. Kontrolsüz ve bilinçsiz kullanım, kaza ya da kasıt ile bu maddelerin ortalığa salınımı, üretim, imha ve depolama aşamalarında yaşanan kazalar sonucu canlıların sağlığını tehdit etmektedir. Geri dönüşü olmayan sağlık sorunlarına, kronik hastalıklara ve ölüme yol açabilecek özelliklere sahip toksik endüstriyel kimyasallar akut dönemde zehirlenme olmak üzere solunum yolu hastalıkları, kardio-toksik hastalıklar, alerjik reaksiyonlara sebep olmaktadır. Uzun dönemde ise nörodejenaratif hastalıklar, doğum ve gelişim bozuklukları, endokrinoloji ve metabolik hastalıklar (diyabet), nörolojik bozukluklar, hematolojik maligniteler (lenfoma), üreme sistemi bozuklukları ve kanser gibi rahatsızlıkların oluşumuna da katkıda buldukları bilinmektedir [6].

Toksik endüstriyel kimyasallar uygun şekilde bertaraf edilmediği takdirde doğada uzun süre varlığını sürdürebilmektedir. ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından 87.000 ticari kimyasal madde arasında 53'ü kalıcı, biyolojik birikimli ve toksik olarak tanımlanmıştır (USEPA, 2000). Zararlı etkileri uzun yıllar boyu devam eden toksik endüstriyel kimyasalların remediasyonu yapılmadığı sürece canlıları ve doğayı risk altında bırakmaktadır.



Hava ve su akıntıları, okyanus akıntıları, göç eden balıklar deniz kirletici maddeleri uzaklara ve geniş sahalara taşıyabilmektedir. Bu nedenle kirlilik coğrafi sınırlarla sınırlı olmayıp dünya sorunu haline gelmektedir [1].

KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyoaktif, Nükleer) maddelerinin kaza ya da kasıtlı salınımıyla ortaya çıkan büyük çaplı mal ve can kaybına neden olan doğa ve çevreye ciddi zararlar veren olayların bütünü KBRN olayları şeklinde tanımlanabilir. KBRN olayı gerçekleşmeden önce bu etken maddelerin hepsi tehdit durumundadır. KBRN tehdit ve olaylarına hazırlık, müdahale aşamaları farklı kurumların ve meslek gruplarının ortak çalışmalarını gerektirmektedir. Tehdit ya da olay durumu bölgesel, ulusal ya da uluslararası koordinasyon ve müdahale gerektirebilmektedir. Ortak bir çalışmanın yanı sıra etken maddelerin (kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer) ve olası senaryolar göz önünde bulundurularak yapılan planlama daha etkin ve pozitif sonuçların alınmasına yardımcı olmaktadır. KBRN olaylarına müdahale ve dekontaminasyon süreçleri zor olduğu gibi aynı zamanda maliyetlidir. Oluşan kirliliğin giderilmesi yaşamın normale dönmesi uzun yıllar alabilmektedir [7].

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

### 2.1. Kimyasal Tehditler

KBRN tehditlerinin önemli başlıklarından biri olan kimyasal tehditler üç ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar kimyasal savaş ajanlarının savaş veya terör saldırısı amaçlı kullanılması ile oluşan tehditler, toksik endüstriyel atıkların kaza ya da kontrolsüz kullanımı ile oluşan tehditler ve evde kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu tehditler şeklinde sıralanabilir. KBRN olaylarının oluşumu sonrası yayılım riski var olduğundan, tehlike boyutunu indirgemek oldukça zordur. Tehdit başlıklarının her biri kendi başına özel plan, hazırlık ve müdahale şeması gerektirmektedir. KBRN olayına neden olan maddenin niteliği yayılma hızı, olayın gerçekleştiği bölge, olaya müdahale şartları, ekip ve donanım, müdahale ve iyileştirme aşamalarında etkin rol oynamaktadır [8]. Kimyasal tehditlerden biri olan toksik endüstriyel atıklar bu açıdan oldukça büyük öneme sahiptir. Endüstriyel atıkların, endüstriyel üretim ve çalışma alanlarında üretim malzemesi, evlerde temizlik malzemesi, tarımsal alanda verim ve kalite artırıcı ilaç olarak kullanılması oldukça yaygındır. Kimya endüstrisinin gelişimine bağlı olarak bu kimyasalların kullanım alanları sürekli artmaktadır. Bu durum kimyasal tehditlerin oluşum riskini de beraberinde getirmektedir. Sanayi bölgelerinde faaliyet göstermekte olan ve kimyasal madde üreten, taşıyan ve depolayan tesislerde oluşabilecek kazalar, tarımsal alanda verimliliği ve kaliteyi arttırmak için kullanılmakta olan pestisitler insan ve tüm canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu maddelerin her gün kara, deniz, hava veya demir yolu ile taşınması bir başka tehdidin de ortaya çıkmasına neden olmaktadır [9-10].

Son dönemlerde toksik kimyasal maddelerin insan topluluğuna zarar verme amacı ile kullanıldığı da görülmüştür. Kimyasal maddelerin sentezlenerek ya da toksik etkileri artırılarak potansiyel silah haline getirilmesi kimyasal ajanların terörist eylemler ve savaşlarda kullanımına yol açmıştır. Küçük çaplı kimyasal silah saldırılarının hedef nüfusu hemen ve orantısız bir şekilde panik haline sokması, bazı terörist gruplar tarafından kimyasal silah geliştirmenin zorluk, tehlike ve maliyetinden daha ağır bastığı görülmektedir. Kimyasal silahlar ve toksik kimyasallar, ürün püskürtücüleri, duman jeneratörleri, top mermileri ve uçak mühimmatları dahil olmak üzere çeşitli yollarla toz, damlacık veya buhar olarak katı, sıvı veya gaz formunda üretilebilmektedir [11]. Oldukça yıkıcı sonuçlara neden olan kimyasal ajanlar dünyanın birçok yerinde kasıtlı olarak kullanılmış ya da uygunsuz depolama sonucu infilak etmiştir.

Dünya tarihinde en fazla can kaybına neden olan endüstriyel olay 1984 yılında Hindistan'ın Bhopal kentinde bir pestisit fabrikasından zehirli gaz sızıntısı ile meydana gelen patlamanın yol açtığı olaydır. 40 tondan fazla metil İzosiyanat gazı sızmış ve meydana gelen patlama sonucu 3800 kişi yaşamını yitirirken 20000 kişi yaralanmıştır [12]. 4 Ağustos 2020 tarihinde Lübnan'ın Beyrut limanında depolanan 2000 tondan fazla amonyum nitrat infilak etmiş bu büyük patlamada 6 milyon nüfuslu ülkenin önemli ekonomik kaynağı olan Beyrut limanı yerle bir olmuştur. 200 kişi hayatını kaybederken 6000 den fazla kişi yaralanmış 300000 kişi evsiz kalmıştır [13]. 22 Nisan 1915 yılında Alman ordusu cephede depoladığı klor gazını Fransız ordusuna ve sivillere karşı kullanmıştır. Rüzgârın etkisi ile 10 dakika içerisinde 6 kilometre yayılan klor gazı 1000 Fransız ve Cezayir askerinin ölümüne 4000 kişinin yaralanmasına neden olmuştur [14].

1995 yılında bir örgütün Tokyo metrosunda sarin gazı ile gerçekleştirdiği saldırı sonucunda 5000 kişinin gazdan etkilenmesine, 1000 kişinin hastaneye kaldırılmasına, 19 kişinin de ölümüne sebep olmuştur. Bu saldırı en kötü şöhretli terörist saldırılardan biri olarak tarihe geçmiştir [15].

1. Dünya Savaşı'nda Klor, Fosgen, Siyanür ve Hardal gibi kimyasal savaş ajanlarının kullanımı yaklaşık 90.000 kişinin ölümüne neden olmuştur [14]. 2011 yılından bu yana süren Suriye savaşında Suriye Amerikan Tıp Derneğine göre Sarin, Hardal, Klor gazı kullanılmış ve buna bağlı 1492 kişi ölmüş 14582 kişi ise kimyasal ajanlardan etkilenmiştir [16]. Kimyasal savaş ajanları tarihsel olarak fizyolojik etkilerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [7].

### **2.1.1. Sinir ajanları**

Bu grupta sınıflandırılan ajanlar, sinir sisteminde ölümcül hasara neden olan organofosfat bileşikleridir. Tabun (GA), Sarin (GB), Soman (GD), birincil örneklerdir. Sinir ajanları insanlar tarafından üretilen en ölümcül kimyasallar arasındadır ve çok küçük miktarları dahi öldürücüdür. Ayrıca dermal maruz kalma (deri yoluyla sıvı maddenin emilimi) ve inhalasyon yoluyla da öldürücü potansiyele sahip oldukları için çok tehlikeli sınıfta yer almaktadırlar [7]. Sinir ajanları, enzim asetil kolinesterazın aktivitesini inhibe ederek veya bloke ederek etkisini göstermektedir. Kolinerjik sinirlerin reseptör bölgelerinde bulunan bu enzimin normal işlevi, nörotransmitter asetilkolini hidrolize etmek veya parçalamaktır. Enzim inhibe edildiğinde, bozulmamış asetilkolin birikir ve reseptör bölgesinin sürekli uyarılmasına neden olur, bu da innerve yapıda hiperaktiviteye neden olur.

Kolinerjik sinirler (nörotransmitter olarak asetilkolin kullanan sinirler) iskelet kaslarını, düz kasları ve ekzokrin bezleri innerve eder; otonom sinirler, bazı kranial sinirler ve preganglionik lifler de kolinerjiktir. Asetil kolinesteraz inhibisyonundan sonra, tüm bu yapılarda hiperaktivite oluşur. Bu duruma bağlı olarak vücut sıvıları kontrolsüz ve istemsiz bir şekilde artar, bronkospazm (akciğerlerin daralması) gelişir, kanamalar olabilir. Sinir ajanları, bahsi geçen biyolojik etkilerin oluşumunu sağlayan asetil kolinesterazı inhibe eden tek bileşik değildir. Karbamatlar, fizostigmin, piridostigmin ve neostigmin gibi tıpta kullanılan bazı ilaç etken maddelerinin yanı sıra karbamil gibi birçok karbamat formundaki böcek ilacı da biyolojik aktivitelerinden dolayı "sinir ajanları" olarak kabul edilebilir. 1952 yılından itibaren geliştirilip pazarlanan birinci nesil organofosfat olan Malathion, bu aktiviteye sahip en iyi bilinen insektisittir [17].

### 2.1.2. Vezikanlar

Hardal gazı yakıcı harp maddeleri grubunda yer alan sitostatik, mutajenik ve sitotoksik etkilere sahip kimyasal bir silahtır [18]. Hardal gazı güçlü bir yakıcı ajan olmasının yanı sıra sitostatik, mutajenik ve sitotoksiktir. Hardal gazı vücutta özellikle gözlerden, solunum sisteminden ve ciltten absorbe olarak öncelikle bu sistemlerde etkilerini gösterir [19]. Bu bileşikler maruz kalan kişilerin cilt, göz ve solunum yollarına önemli hasarlar vermektedir. Vezikül ve kabarcıklara neden olan bir maddedir. Düşük buharlaşma ve düşük çözünme özelliklerinden dolayı sıcaklık, yağmur, rüzgâr gibi dış ortam şartlarına dayanıklı bir yapıda olup, kullanıldığı açık alanlarda herhangi bir bozunuma uğramadan uzun süre kalabilir. Cilde temas eden Hardal gazının % 80,0'i buharlaşırken %20,0'si ciltten absorbe olur. Ciltten absorbe olan kısmın % 60,0'ı ciltte kalırken, % 40,0'ı ise sistemik dolaşıma geçerek etkisini gösterir [20]. Hardal ajanlarının gecikmiş etkileri vardır. Hardal, Birinci Dünya Savaşı'nda kayıplara sebebiyet veren büyük bir etki yaratmış ve ciddi sayıda ölümlere neden olmuştur. Hardalın kimyasal savaş ajanı olarak potansiyeli, ilk olarak 12 Temmuz 1917'de saldırıya uğrayan Almanlar tarafından ortaya çıkmıştır. Müttefikler bu ajanı kullanmaya başlamış ve I. Dünya Savaşı'nın son 17 ayında, tüm savaş boyunca diğer kimyasal ajanlardan daha fazla zayıt verilmiştir. Bu ajanlar tarihte en çok kullanılan ve hasar boyutu en iyi bilinen savaş ajanı olmuştur [7]. Yakın tarihte 2013 yılında başlayan Suriye İç savaşında, özellikle Suriye'nin kuzeyinde devlet dışı aktörler tarafından Hardal gazı savaş ajanı olarak yoğun şekilde kullanılmıştır [21].

### 2.1.3. Kan ajanları

Hidrojen Siyanür (AC) ve Siyanojen Klorür (CK) tarihsel açıdan "kan ajanları" olarak adlandırılmaktadır. Nadiren savaş ajanı olarak kullanılmıştır. Hidrojen Siyanür'ün havadan daha hafif olduğu bilinmektedir. Hidrojen Siyanür'ün infaz ve soykırım amaçlı kullanılmış olmasına rağmen, gerçek savaşta zayıf bir kullanım geçmişi vardır. AC ve CK'nın ölümcül doz değeri çok yüksek konsantrasyona tekabül ettiğinden, silah olarak kullanımını sorunlu hale getirmektedir. AC endüstri sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Geniş kullanım alanı yelpazesine sahip Hidrojen Siyanür aynı zamanda ölümcül güce sahiptir. Bunun sebebi etki mekanizmasına ve hızına bağlıdır, büyük miktarlarda saniyeler içinde etki göstermekte ve dakikalar içinde ölüme neden olmaktadır. Siyanür tuzları, özellikle Sodyum, Potasyum ve Kalsiyum tuzları, endüstride çeşitli amaçlar için kullanılan formlardır. Güçlü bir asit bir Siyanür tuzu ile karıştırıldığında, AC gazı salınmaktadır.

AC gazı toplama kamplarında Naziler tarafından devlet gaz odalarında infazlar için kullanılmıştır. Bu kimyasallar Mart 1995'de, Sınır ajanı salınımını takip eden aylarda Tokyo Metro'larındaki tuvaletlerde bulunmuştur. Siyanür ayrıca intihar veya cinayet faaliyetlerinde kullanılmaktadır.

### 2.1.4. Pulmoner ajanlar

Bu madde "boğucu ajanlar" kategorisi altında da bilinir. Bu aile Klor, Fosgen ve Diphosgen içerir. Bu tür ajanlar genellikle "ilk nesil" olarak kabul edilir, çünkü modern savaşta ilk kullanılan ajanlardandır. Pulmoner ajanlar akciğerin periferik kısımlarına, terminal bronşiyollere ve alveollere zarar verir, pulmoner (akciğer) ödemi indükleyerek ölüme sebep olmaktadır [7]. Solunum fonksiyonunu bozdukları için yüksek mortalite ve morbilite etkisine sahiptir [22].

Birinci Dünya Savaşı'nda kimyasal savaş ölümlerinin çoğunluğu bu kategorideki ajanlardan kaynaklanmaktadır. Fosgen, Hardal kullanımı başlayana kadar I. Dünya Savaşı'nda kullanılan önemli bir ajandır. Bu kimyasallar, endüstride kullanımları nedeniyle, genellikle Endüstriyel Tehlikeli Maddeler kategorisi altında kabul edilmektedir. Birçok endüstriyel kimyasal, askeri boğucu ajanlarla neredeyse aynı özelliklere sahiptir.

Fosgen ve Klor savaş ajanı olarak kullanılmasının yanında endüstriyel alanda birçok kimyasal maddenin üretiminde kullanıldıkları için önemli mesleki tehlike oluştururlar.

Ağır endüstriyel kullanımları oldukları için toksik endüstriyel kimyasallar grubu olarak sınıflandırılırlar [22].

### 2.1.5. Öldürücü olmayan ajanlar

Bu ajanlar diğer kimyasal savaş ajanlarına kıyasla öldürme kapasitesi daha az olan, genellikle aciz bırakıcı ve kargaşa yaratıcı ajanlar olarak adlandırılan ajanlardır. Kusturma, göz yaşartıcı ve halüsinasyon gibi etkileri mevcuttur [7].

Kimyasal savaş ajanı üretiminde kullanılan hammaddelerin endüstri alanında üretildiği unutulmamalıdır. Bu açıdan toksik kimyasal üreten fabrikalar, taşıma yapan tankerler, hat ve borular kötü niyetli kişi ya da gruplar tarafından hedef haline getirilebilir ya da buralardan temin edilerek kasıtlı tehdit aracı olarak kullanılabilir. Örneğin, 1990'ların başında Yugoslavya'nın dağılmasına eşlik eden savaşlar sırasında, Hırvatistan'daki kimya endüstrisi kasıtlı olarak hedef alınmıştır. Birçok toksik endüstriyel kimyasal madde ticaret amaçlı kullanılmaktadır. Bunlar pestisitler, evsel kimyasallar veya kimyasal hammaddeler olabilir. Kara ya da deniz yolu ile nakliyesi yapılan kimyasal maddelerle yaşanabilecek kaza, kasıtlı terör olayı kadar tehlike ve tehdit oluşturabilmektedir. Endüstriyel kimyasalların neden olduğu zararın boyutunu anlamak için Hindistan'ın Bhopal kentindeki Union Carbide olayı iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Toksik endüstriyel kimyasallar genel olarak aşağıdaki özelliklerden herhangi birine sahiptirler [7].

- Yanıcı
- Patlama riski olan
- Hava ya da suya reaktivite
- Toksikite
- Korozifik

Toksik endüstriyel kimyasalların büyük miktarlarda satın alınabilir olması bu kimyasal grubunu KBRN' nin diğer kimyasal tehditlerinden daha tehlikeli hale getirmektedir.

Bahsi geçen kategorilerdeki kimyasal maddelere ya da silahlara herhangi bir yolla maruz kalınması insanlarda ani başlayan solunum sıkıntısı, çift taraflı konjonktivit, gözlerde yanma

foto fobi, genizde yanma ve ağrı, yutma güçlüğü, burun akıntısı, vücutta ödem, yanık, akut zehirlenmelere, yaralanmalara ve ölüme neden olmaktadır. Geri dönüşü olmayan ve ölümcül sonuçlara neden olabilen kimyasal terörizme karşı planlama, hazırlık ve müdahale oldukça önemlidir.

Müdahale aşamasında ciddi tedbir ve müdahale hızı gerektiren kimyasal olaylar özel yönetim, eğitilmiş ekip ve ekipman gerektirmektedir. Etkin ve doğru bir müdahale için plana dahil edilmesi gereken maddeler şöyle sıralanabilmektedir.

Kaynağın tipi (olaya neden olan kimyasal madde),

Kaynağın bölgesi (coğrafi yapısı ve iklim koşulları) ,

Bölgede bulunan insan ve canlı sayısı,

Bölgede bulunan taşıyıcı olabilecek kaynaklar (akarsu kaynakları, rüzgar altı mesafesi)

Sıcak, ılık ve soğuk alanların ve bu alanlarda görev yapacak personelin belirlenmesi

Müdahale alanında görev alacak personelin bulunduğu alana ve olay tipine uygun sınıfta kişisel koruyucu ekipman kullanılması müdahalenin etkin ve sürdürülebilir olması ve personel güvenliği açısından oldukça önemlidir. Kimyasal kaynaklı olaylarda kullanılan kişisel koruyucu ekipmanların, kullanıcı açısından bazı dezavantajları mevcuttur.

- Çalışma çabasını artırır, hareket kısıtlılığı yaratabilir.

- İletişim kurmakta zorluk yaratabilir.

- Ağır olduğu için el becerisini azaltır [23].

## 2.2. Biyolojik Tehditler

Biyolojik ajanlar insanları, hayvanları ve bitkileri öldüren ya da hastalanmalarına sebep olan organizmalar ya da bu organizmaların ürettiği zehirli maddelerin (toksinler) tümü olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik ajanların yayılması hava püskürtücüleri ile, hastalığı taşıyan vektörlerin enfekte edilmesi ile, su ve gıda kaynaklarının enfekte edilmesi ile gerçekleşebilmektedir. Biyolojik ajanların herhangi bir yol ile insanlara, hayvanlara, canlılara ve doğaya zarar verme ihtimali Biyolojik Tehdit olarak tanımlanabilir. Bu tehditler doğal oluşumlu biyolojik hastalıkları, çevrede ya da hayvanlarda bulunan ve insanlara da

bulaşma ihtimali olan biyolojik ajan kaynaklı hastalıkları, biyolojik ajan silahlarını ve biyolojik ajanlarla yapılan saldırıları kapsamaktadır. Çevreye, doğaya, insanlara ve tüm canlılara zarar verme, tahrip amaçlı biyolojik ajan kullanılmak suretiyle yapılan saldırılar biyolojik saldırılardır. Biyolojik ajan kaynaklı tahribatın çok büyük olacağı, tespit ve müdahalesi uzun zaman alacağı için oldukça tehlikelidir. Biyolojik tehditler toksinler, bakteriler, virüsler ve mikroorganizmaları içermektedir. Biyolojik kaynaklı tehditlerin etkinliği mikroorganizmanın vücutta kalma ve çoğalma özelliklerine bağlıdır. Etken madde hem bulaşıcı (Örnek; Ebola) hem de bulaşıcı olmayan (Örnek; Şarbon) etkiye sahip olabilmektedir [11].

Biyolojik ajanların silah olarak kullanılmasının en önemli nedeni maliyetinin düşük olması ve toplum üzerinde yıkıcı ve zarar verici etkilerinin diğer ajanlara göre çok daha fazla olmasıdır. Biyolojik ajanların silah olarak kullanılması ile ilgili örnekler Kartacalı General Hannibal'ın Bergamalı düşman gemilerini alt etmek için yılan zehiri kullandığı Milattan önce 190 yıllarına kadar uzanmaktadır. 1990'larda dini bir terörist örgüt olan Aum Shinrikyo Tokyo'da Şarbon ve Botulizm saldırıları yapma girişimlerinde bulunmuş fakat başarılı olamamıştır [24].

Biyolojik ajanların kullanımı tekniği için birçok seçenek mevcuttur. 1990 yılında Irak'ın birçok tekniği denediği görülmüştür. Füze savaş başlıkları, hava bombaları, uçak püskürtme sistemleri, pilotsuz uçaklar, aerosol jeneratörleri (pilotsuz uçaklara monte edilenler dahil), kara mayınları, küme bombaları, roket savaş başlıkları ve topçu mermileri biyolojik ajanların çevreye yayılımı için kullanılmış olan tekniklerdir. Ayrıca mahsul tozlama uçakları, su ve gıda kaynaklarının kirletilmesi, taşıyıcı olarak oldukça bulaşıcı bir hastalıkla enfekte olmuş kişilerin kullanımı ve enfekte böceklerin dağılması gibi yöntemlerinde kullanıldığı bilinmektedir [11].

Birçok durumda ve şekilde karşılaşılabilen biyolojik ajanları ilk etapta tespit etmek oldukça zor ve risklidir [25]. Bu ajanların tespiti için Mikrobiyoloji, patoloji, aerosol fiziği, aerobioloji ve Meteoroloji dahil olmak üzere birçok bilim ve teknoloji dalına ihtiyaç duyulmaktadır.



### 2.3. Radyoaktif Tehditler

Radyasyon ve radyoaktif maddeler (doğal ve yapay) çevremizdeki varlıkları sebebi ile tüm canlılar radyasyona maruz kalmaktadır. Dünya ve evrende radyoaktif maddeler mevcuttur hatta her insanın vücudu hafif derecede olsa radyoaktiftir. Hayatımızın bir parçası olmasına rağmen, radyasyon yalnızca yüz yıldan biraz uzun süre önce keşfedilmiş ve bazı uygulamalar için faydalı olduğu gözlenerek kullanılmaya başlanmıştır. Radyoaktif maddelerden farklı uygulama alanlarında faydalanılmaktadır [26].

Günlük yaşamımızda çeşitli yollarla radyasyona maruz kalabilmekteyiz. Bunlar; kozmik ışınlar, vücudumuzdaki radyoaktif izotoplar ve topraktaki Uranyumun bozunması gibi doğal süreçler veya medikal (tıbbi) x-ışınları, endüstriyel gama ışınları gibi yapay kaynaklardır [27].

Yaşamın hemen her alanında kullanılmakta olan radyasyonun kontrolünün sağlanamaması, kasıtlı terör amaçlı kullanılması ya da kullanılan sektörlerde oluşabilecek kaza ciddi yaralanmalara ve ölümcül sonuçlara neden olabilir. Kısa sürede tüm vücuda yüksek dozda radyasyon alınması iç organlara ve dokulara zarar vermekte ve hayati fonksiyonların durmasına neden olmaktadır. Kısa sürede çok yüksek dozlara maruz kalınması vücutta fazla miktarda hücre ölümüne neden olur. Hayati organlar işlevini yerine getiremez duruma gelir. Bulantı, kusma, deri ve dokularda yanıklar, enfeksiyonlara dirençsizlik gibi etkiler saatler, günler ya da haftalar içerisinde ortaya çıkabilmektedir [23].

Radyasyonun akut ve kronik etkilerini engellemek için radyasyondan korunmak gerekmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı korunma aşamalarının iyi bilinmesi ve uygulanması önemlidir. İyi hijyen, havalandırma, açık yaraların kapatılması içsel korunma basamaklarını oluşturmaktadır. Dışsal radyasyondan korunma basamakları ise zaman, mesafe ve zırlama yöntemleridir. Radyasyon hasarının derecesi radyasyon kaynağına olan mesafeye, maruz kalma oranı, maruz kalma dozu ve radyasyon kalitesine göre değişmektedir. Kaynaktan ne kadar uzak mesafede olunursa risk o kadar azalacaktır. Radyasyon geçirmeyen maddelerden inşa edilmiş bir sığınak kaynağa yakinken bile kişileri koruyabilmektedir [28].

## 2.4. Nükleer Tehditler

Nükleer enerji dünya genelinde farklı alanlarda kullanılmakta olan bir kaynaktır. Enerji kaynağı olarak kullanılmasının yanında tıp alanına da büyük katkı sağladığı aşikârdır. Nöroloji, Ortopedi, Kardiyoloji, Onkoloji gibi önemli tıp alanlarında tetkik ve tedaviye büyük katkı sunmaktadır.

Dünya genelinde nükleer enerji üretilmesi için kurulan birçok santral bulunmaktadır. Bu santrallerin çoğu doğal afet riski altındadır. Nükleer santrallerdeki kazalar ya da dışardan gelebilecek saldırılar çevredeki canlı popülasyonunu yüksek, potansiyel ölümcül dozlarda radyasyona maruz bırakabilir. Radyasyon hasarı ya da radyasyona bağlı hastalıklar dış kaynaklara veya dahili olarak bilinen izotoplara maruziyet sonrası ortaya çıkabilmektedir [29].

Bu maddeler yutma, inhalasyon veya dermal emilimden sonra vücut hücrelerine ve dokularına etki etmektedir. Nükleer santrallerdeki radyasyonun kaza ya da kasıtlı olarak salınımı ile oluşan hasar kaynağına olan mesafeye, maruziyet oranına ve maruziyet dozuna bağlı olarak değişmektedir. Yüksek dozda radyasyon maruziyeti yaşayan canlılarda doku ve hücre ölümüne yol açarak ölüme ve ciddi yaralanmalara neden olmaktadır [28].

KBRN alt kategorilerini tek tek incelediğimizde, bahsi geçen ajanların insan yaşamını ve çevre sağlığını tehdit ettiği ve tarihte birçok yıkıcı can kayıplarının sebebi olduğu görülmektedir. Ajan etkeni fark etmeksizin bu ajanlara maruziyet sonrası tablolar oldukça ağır olmuştur. KBRN ajanları günlük yaşantımızda, endüstriyel üretimde sanayide, tarımda, tıp alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat kaynakların kontrol dışına çıkması ciddi kayıplara yol açabilmektedir. Örneğin; Dünya çapında haşere kontrolü için yıllık olarak tarımsal ürünlere yaklaşık 4 milyon ton pestisit uygulanmaktadır. Toplam uygulanan pestisitlerin %1'inden daha azının genellikle hedef zararlılara ulaştığı ve pestisitlerin çoğunun ekosistemde kaldığı tahmin edilmektedir. Pestisitlerin ekosistemde biriktiği alan toprak ve sudur [30].

## 2.5. Pestisitler

Pestisitler, böceklerin, yabancı otların, mantarların, bakterilerin vb. yok edilmesi için kullanılan bir grup kimyasallar olarak bilinmektedir. Genellikle böcek öldürücüler, fungusitler, bakterisitler, herbisitler veya rodentisitler olarak adlandırılırlar.

Pestisitlerin sınıflandırılması esas olarak aşağıdaki maddelere dayanmaktadır

- Kimyasal yapılarına göre (organoklorinler, organofosfatlar, vb).
- Uygulama gereksinimi duyulan alana göre (tarım, halk sağlığı, yerli).
- Hedef organizma veya hedefli kullanıma göre (insektisit, herbisit, mantar ilacı, vs.).

Farklı pestisit grupları ve etkilediği hedef zararlı grubu Çizelge 2.1 verilmiştir [31].

Çizelge 2.1. Pestisitlerin önemli sınıfları

Pestisit Tipleri	Hedef Zararlı Grubu
Akarisit	Kene, Örümcek
Bakterisit	Bakteri, Virüsler, Diğer mikroplar
Avenisit	Kuşlar
Fungisit	Funguslar
Herbisit	Yabancı Otlar
İnsektisit	Böcekler
Mollusisit	Salyangoz, Sümüklü böcek
Nematisit	Nematodlar
Predasit	Omurgalı yırtıcı hayvanlar
Rodentisit	Kemiriciler

Bu kimyasalların çoğu, hedef organizmanın fizyolojik aktivitelerini bozacak, işlev bozukluğuna ve canlılığın azalmasına yol açacak şekilde tasarlanmıştır. Pestisit kalıntıları, hava, su ve toprak gibi çevresel faktörlere önemli bir kontaminasyon kaynağı oluşturmaktadır. Yıllık olarak dünyada yaklaşık iki milyon ton pestisit kullanılmaktadır. Yüksek tarımsal üretim için pestisit kullanım miktarının artırılması, çevresel (toprak, su ve hava) kirlenmenin çok daha fazla olması anlamına gelmektedir. Pestisitlerin yüksek lipofiliklik, biyobirikim, uzun yarılanma ömrü ve uzun menzilli taşıma potansiyeli gibi var olan özellikleri sebebi ile uygulamadan uzun yıllar sonra bile hava, su ve toprağın kirlenmesine neden olduğu tespit edilmiştir [32].

Örneğin; DDT ve ilişkili türevler gibi organoklorür pestisitler 2 ila 15 yıl arasında değişen yarı ömre sahiptir [33].

WHO yaptığı bir çalışmaya göre, tüm pestisitlerin % 80'i geliştirmekte olan ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Yasal boşluklar, uygun olmayan piyasa düzenlemeleri ve insanların bilgisizliği ve bilinçsizliği nedeniyle, geliştirmekte olan ülkelerde tarım işçileri pestisitler de dahil olmak üzere yüksek düzeyde tarımsal kimyasallara maruz kalmaktadır [34]. Geliştirmekte olan ülkelere tarım ile uğraşan kişilerde pestisit maruziyeti birincil mesleki tehlike olarak kayıtlara geçmiştir [35].

Çiftçiler ana risk grubu olarak kabul edilse de, formülatörler, yükleyiciler, karıştırıcılar, üretim işçileri ve tarım işçileri son derece hassas gruplar arasındadır. Mesleki olmayan tehlikeler, ekosistemin veya habitatın bir bütün olarak kirlenmesine bağlı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca pestisitlerin yüksek toksik etkisinden dolayı sabotaj ve terör amaçlı olarak da kullanılabilmesi de unutulmamalıdır. Ayrıca organofosfat insektisit maruziyetine bağlı oluşan komplikasyonlarla yaklaşık iki milyon hastaneye yatış gerçekleştiği bilinmektedir [33]. Bunun yanı sıra geliştirmekte olan dünyada yılda yaklaşık 100000 ölüme neden olduğu tahmin edilmektedir.

Ortamdaki kararlılıkları nedeniyle, birçok gelişmiş ülkede pestisit kullanımı yasaklanmıştır, ancak geliştirmekte olan ülkelere hala kullanımları devam etmektedir. Organofosfatlar, 2001'ten bu yana Amerika Birleşik Devletleri'nde en sık kullanılan pestisit türüdür ve yalnızca 2012'de  $1,22-1,32 \times 10^5$  ton kullanılmıştır [33]. Tarımda, klorofenoksi asitler, pestisitler, ahşap koruyucular ve herbisitler olarak yaygın olarak kullanılmakta ve majör çevresel kirlenici grubunu temsil etmektedir [30]. Pestisitler çevresel bozulmaya karşı son derece dirençlidir ve Birleşmiş Milletler Stockholm Sözleşmesi tarafından kalıcı organik kirleniciler (POPs) olarak belirlenmişlerdir. Bu kimyasallar gelişmiş dünyada sıkı bir şekilde denetlenmiş olsa da, hala sıtma yayılmasına karşı halk sağlığı önlemi olarak Asya'nın bazı bölgelerinde ve geliştirmekte olan çeşitli ülkelere kullanılmaktadır [32].

## 2.6. Toksik Endüstriyel Kimyasalların Remediasyonu

Toksik endüstriyel kimyasalların önemli başlıklarından olan pestisitlerin havadan, topraktan ve sudan giderilmesi, toksik etkisinin indirgenmesi özel ve maliyetli çalışmalar gerektirmektedir. Endüstriyel atık çerçevesinde çevreyi, besin zincirini ve halk sağlığını korumak için, tehlikeli atıkların yeterli arıtımı ve yönetimi de önem arz etmektedir.

Toksik endüstriyel kimyasalların zararlı etkilerinin yok edilmesi ya da azaltılması amacı

için geliştirilen bazı yöntem ve çalışmalar mevcuttur [36].

Bu yöntemler;

### **2.6.1. Fitoremediasyon tekniği**

Tehlikeli maddeleri, zararsız, toksik olmayan bileşiklere parçalamak için mikroorganizma veya bitkilerin kullanıldığı uzun süreli arıtım proseslerine denir. Yüksek sermaye yatırımı ve emek gerektiren, toprak özelliklerini değiştiren ve toprak mikroflorasını bozan geleneksel fizikokimyasal temizleme yöntemlerine göre avantajlıdır. Fitoremediasyon, çevreyi ve halk sağlığını korumak için kirlenmiş matristen toksik metallerin uzaklaştırılması için ilişkili mikroplara sahip yeşil bitkilerin kullanıldığı bir yöntemdir [2].

*Mikrop Yardımlı Fitoremediasyon:* Fitoremediasyon verimliliğini arttırmak için istenilen özelliklere sahip bitkilerle ilişkili mikropların kullanılarak uygulanan tekniktir [2].

*Enzimatik İyileştirme Tekniği:* İyileştirmenin etkinliği esas olarak mikroplar tarafından üretilen enzimlerin çevresel kirleticilerin bozulmasını ve detoksifikasyonunu katalize etme kabiliyetine bağlıdır. Bakteri ve mantarlardan elde edilen çok sayıda enzimin, toksik organik ve inorganik kirleticilerin Biyodegradasyon ve biyodetoksifikasyonunda yer aldığı bildirilmiştir [2].

### **2.6.2. Biyoremediasyon tekniği**

Endüstriyel atık sulardan organik ve inorganik kirleticileri aşagılamak/detoksifiye etmek için yosun, mantar ve bakteri gibi mikropların doğal yeteneğini kullanan çevre dostu bir iyileştirme tekniğidir.

Biyoremediasyon teknikleri uygulanırken, kullanılan maddeler ve malzemelerin niteliği önemlidir. Prosesin maliyetinin düşük olması, biyoremediasyon sonrası oluşan yan ürünlerin zararlı olmaması diğer yöntemlere göre biyoremediasyonu üstün kılan nitelikleri arasındadır. Biyoremediasyon tekniğinde toksik kirleticileri arındırmak için mikroorganizmaların metabolik özelliklerinden faydalanılır. Bu sebeple geniş ve operasyonel uygulama alanları, daha az çamur üretimi, basit yapısal kurulum kolaylığı özellikleriyle ön olana çıkan çevre dostu ve ekonomik bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından çevre dostu bir atık yönetimi tekniğiolarak kabul edilmiştir [2].

Biyoremediasyon, çevresel olarak yıkıcı ve maliyetli olan ve ikincil kirliliğe neden olabilecek fizikokimyasal yaklaşımlara uygun bir alternatif olabilir [31]. Biyoremediasyon sürecinde atık su, karbondioksit gibi inorganik bileşiklere dönüştürülür ve böylece detoksifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş olur [37]. Biyoremediasyon işlemi temel olarak kirleticilerin arındırılması için kullanılan mikroorganizmaların kabiliyetine dayanmaktadır. Biyoremediasyon tekniğinin diğer avantajlı özelliği ise hem yerinde (In situ), hem de kirleticinin alandan taşınması ile yapılabilen biyoremediasyon tekniği (ex situ) şeklinde uygulama imkânı sağlamasıdır [2].

*In Situ Biyoremediasyon Tekniği:* In situ biyoremediasyon tekniği kirlenmiş maddelerin buldukları alanda biyoremediasyon işlemine tabi tutulmasına dayanır. Taşıma işlemi gerektirmediği için ex situ biyoremediasyon tekniğine göre daha ekonomiktir. In situ biyoremediasyon tekniği özellikle klorlu çözücüler, boyalar, ağır metaller ve hidrokarbonların arıtımında kullanılmaktadır. Biyolojik havalandırma, biyo-serpme ve fitoremediasyon kullanılan In situ biyoremediasyon teknikleridir. [38]. Başarılı bir In situ biyoremediasyon işlemi için özellikle elektron alıcıları, nem, besin mevcudiyeti, pH, sıcaklık gibi etkenler göz önünde bulundurulması gereken çevresel koşullardır [39].

*Ex Situ Biyoremediasyon Tekniği:* Ex situ biyoremediasyon tekniği kirleticinin bulunduğu alandan başka bir alana taşınması ve arıtımın taşındığı alanda uygulanmasına dayanır. Kirleticinin taşınma işlemi olduğu için In situ tekniğine göre daha maliyetlidir. Bu teknik uygulanırken işlem maliyeti, kirliliğin türü ve derecesi, alanın coğrafi durumu ve jeopolitik konumu göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdir [39].

Biyoremediasyon, kirlenmiş ortamları temizlemek için mikroorganizmaların metabolik potansiyelini kullanan bir teknolojidir. Kirleticileri parçalayabilme özelliği olan bakteriler genellikle merkezi role sahipken diğer mikroorganizmalar ise biyoremediasyon sürecini önemli oranda etkiler. Bu sebeple kirlenmiş ortamın mikrobiyal ekolojisinin iyi bilinmesi gerekmektedir [40].

Mikro-algler, hem deniz hem de tatlı su ortamlarında bulunan mikroskobik fotosentetik organizmalardır. Su sistemlerinde oksijen kaynağı ve besin zincirlerinin ilk halkasını oluştururlar. Birçok mikroalg türü, zarf, kılıf veya kapsül olarak adlandırılan hücrelerini çevreleyen jelatinimsi bir kütle gibi hücre dışı polisakkaritler biriktirebilirler.

Mikroalg, membran bileşenleri, depolama ürünleri, metabolitler ve enerji kaynakları olarak lipitler ve yağ asitleri içerir.

Biyokütle açısından, mikroalgler dünyanın en büyük üretici grubunu oluşturmaktadır [41]. Basit yapılı, tek hücreli mikroalglerin birçoğu gıda sektöründe kullanılmaktadır. İçerdikleri pigment maddeleri sayesinde ilaç sanayisinde, tıp, eczacılık alanlarında ve kozmetik ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılırlar. Bunların yanı sıra insan ve hayvan gıdası olarak da kullanılmaktadırlar. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, zengin protein içeriği sebebi ile besin kaynağı olarak tüketilirler. Mikroalgler, ayrıca tarım alanlarında organik gübre olarak da kullanılmaktadır [42].

Mikroalglerin biyoremediasyonda kullanılmasının iki önemli nedeni vardır. Bunlardan birincisi, mikroalglerin fotosentezle oksijen üretme yetenekleri sayesinde çözülmüş oksijence fakir atık su havuzlarının oksijenlenmesinde yardımcı olarak biyosistem ekolojisine verdiği katkıdır [43]. İkinci olarak azot ve fosfatça zengin deniz ve iç sularda hızla çoğalabilen ve aşırı üremeye etkin rol alabilen organizmalar olmalarıdır [44]. Mikroalgler biyolojik atıksu arıtımında, nütrientlerin, ağır metallerin, pestisitlerin, organik ve inorganik toksik maddeleri hücrelerinde uzaklaştırmada oldukça başarılı organizmalardır [45].

Mikrobiyal iyileştirme, pestisitlerle kirlenmiş alanları temizlemek için de etkili bir araçtır. Toksik kimyasal maddeler, mikrobiyal iyileştirme işlemi ile düşük seviyeli toksik maddelere dönüştürülür. Pestisitlerin mikrobiyal ıslahının başlıca avantajları; kültür kolaylığı, yüksek mikrobiyal popülasyon ve hızlı mutasyondur. Uygun koşullar altında (sıcaklık, nem, pH, hava sirkülasyonu, foto periyot), mikrobiyal bozulma hızlı olabilir [46]. Pestisit biyoremediasyonu için yaygın olarak kullanılan mikroorganizmalar *Bacillus sp.*, *Mycobacterium sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Pandora sp.*, *Klebsiella sp.*, *Phanerochaete* *Chrysosporium*'dur [47]. Çizelge 2.2'de mikroorganizmalar kullanılarak biyoremediasyon yapılan pestisit örnekleri verilmiştir. Ayrıca mikroalg kullanarak pestisitlerin iyileştirilme tekniği uygulanan çalışmalar Çizelge 2.3'de sunulmuştur [47].

Çizelge 2.2. Mikroorganizmalar kullanılarak pestisitlerin bioremediasyonu

Mikroorganizma	Pestisit
<i>Alcaligenes faecalis</i>	Endosulfan
<i>Chlorella vulgaris</i>	Diazinon
<i>Ochrobactrum sp.</i>	DDT
<i>Phlebia</i>	Aldrin
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Kloropirifos
<i>Streptomyces consortium</i>	Lindan
<i>Arthrobacter protophormiae</i>	p-Nitrofenol
<i>Burkholderia cepacia</i>	Karbofuran
<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Micrococcus lylae</i> , <i>Pseudomonas aureofaciens</i> , and <i>Acetobacter liquefaciens</i>	Malation
<i>Micrococcus sp.</i>	Fenilüre

Çizelge 2.3. Mikroalgler kullanılarak pestisitlerin biyoremediasyonu

Pestisit	Mikroalg
Atrazin	<i>Chlamydomonas mexicana</i>
Kloropirifos	<i>Spirulina platensis</i>
paration	<i>Scenedesmus obliquus</i>
Herbisit fluroxypr	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>
Mireks	<i>Chlorococcum sp</i>
Naftalin	<i>Dunaliella sp.</i> , <i>Cylindrotheca sp</i>
Organofosfor/Organoklor	<i>Synechococcus elongates</i> , <i>Microcystes aeruginosa</i>
Tokssapin, Metoklor	<i>Chlorella sp.</i>

Mavi – yeşil mikroalg türlerinden olan *Spirulina* fotosentetik, filamentli, spiral şekilli, çok hücreli yapıya sahiptir. En önemli türler *Spirulina maxima* ve *Spirulina platensis*'tir. *Spirulina*, herhangi bir toksik etkisi olmayan viral ataklarda, tümör büyümesi, anemi ve malnütrisyonunda etkin bir şekilde kullanılan mucize gıda olarak kabul edilir [48]. Özellikle son dönemlerde antioksidan besin kullanımında oldukça fazla bir artış olduğu bilinmektedir.



Epidemiyolojik çalışmalar bazı vitaminlerin, minerallerin ve diğer gıda bileşenlerinin alımının kalp hastalığına, kansere ve yaşlanma sürecine karşı korunmaya yardımcı olabileceği ve antioksidanların bu hastalıkları önleme veya hastalığın şiddetini azaltmada koruyucu bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, *Spirulina* Meksika ve Afrika halkının geleneksel bir yemeğidir. Volkanik göllerin alkali suyunda bulunan planktonik mavi-yeşil alglerdir. *Spirulina* % 62,0 amino asit içeriğine sahiptir ve dünyanın en zengin doğal B12 vitamini kaynağıdır ve bir dizi doğal karışık karoten ve ksantofil fitopigmentleri içerir. *Spirulina* ilk kez 1827 yılında Turpin tarafından izole edilmiştir. Mavi-yeşil alg *Spirulina*, iplikli (filamentli) yapıda prokaryotik bir algdir türüdür.

*Spirulina platensis* için optimum büyüme sıcaklığı 35,0-37,0 °C'dir. Yüksek pH (9,0-10,0) düzeylerini tercih eden *Spirulina* bu özelliği sebebiyle monokültürü yapılabilen bir alg türüdür. *Spirulina platensis* için gelişme sıcaklığı minimum 18,0 °C maksimum 39,0 °C'dir.

Yapılmış olan bazı çalışmalar *Spirulina* veya özlerinin insanlarda ve hayvanlarda kanseri önleyebileceğini veya inhibe edebileceğini göstermektedir. In vitro çalışmalar, *Spirulina* polisakkaritlerinin hücre çekirdeği enzim aktivitesini ve DNA onarım sentezini geliştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, *Spirulina* bağışıklık sistemi için güçlü bir toniktir. Beslenme çalışmaları, az miktarda *Spirulina*'nın bile bağışıklık sisteminin hem humoral hem de hücrel mekanizmalarını oluşturduğunu göstermektedir [49].

*Spirulina platensis*'in gıda olarak kullanılmasının yanı sıra sulu çözeltilerden ağır metallerin giderilmesindeki kabiliyeti ve önemi bilinmektedir. Mikroorganizmalar, hücre zarı boyunca taşıma, hücre duvarlarına biyosorpsiyon ve hücre dışı kapsüllerde sıkışma, çökeltme, kompleksleşme ve oksidasyon azaltma gibi süreçlerle ağır metal stresine cevap vermek için çeşitli önlemler geliştirmiştir [50].

1975 yılından itibaren mikroorganizmanın pestisitleri parçalama veya metabolize etme yeteneğine sahip olduğu bildirilmektedir. *Spirulina platensis* kültürlerinin, organofosfor pestisit grubu üyesi olan klorpirifos içeriği 80,0 ppm'e kadar ortamlarda büyüdüğü gözlemlenmiştir. Bu etkisinin *Spirulina platensis*'in hücre içermeyen ekstraktlarında tespit edilen bir alkalın fosfataz (ALP) aktivitesine bağlı olduğu düşünülmüştür. Bu aktivite, amonyum sülfat çökeltme ve jel filtrasyonu kullanılarak hücre içermeyen ekstraktlardan saflaştırılmış ve EC 3.1.3.1 ALP sınıfına ait olduğu tespit edilmiştir. Saflaştırılmış enzim, 1saat içinde 100,0 ppm Klorpirifos'u 20,0 ppm'ye düşürmüş ve Klorpirifos'u birincil metaboliti 3, 5, 6-trikloro-2-piridinol haline dönüştürmüştür.

Bu enzimik mekanizması açıkça tanımlanmış olan *Spirulina platensis* tarafından Klorpirifos bozulmasının ilk raporu olmuştur. Bu bulgular, kirli ekosistem biyoremediasyonunda *Spirulina platensis*'in kullanımı için uygun olduğunu ve ayrıca büyük bir potansiyele sahip olduğunu kanıtıdır [51].



### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Çalışmada Kullanılan Pestisitler

##### 3.1.1. Phosmet

Phosmet, hem bitkilerde hem de hayvanlarda kullanılan sistemik olmayan, organofosfatlı bir insektisittir. Phosmet, yaprak bitlerinin, emicilerin, akarların ve meyve sineklerinin kontrolü için çok çeşitli meyve bitkileri, süs bitkileri ve asmalarda kullanılmasına rağmen, daha çok elma ağaçlarında güvenin kontrolü için kullanılır. Phosmet, her yıl Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık bir milyon dönümlük arazide kullanılmaktadır. Saf, kirli beyaz kristalin katı, rahatsız edici bir kokuya sahiptir. Phosmet, yutulduğunda orta derecede toksik bir bileşiktir ancak diğer maruz kalma yollarında daha yüksek derecede toksik olduğundan etiket üzerinde UYARI sinyal kelimesini gerektirir. Deri yoluyla orta derecede yüksek toksisiteye ve solunduğunda çok yüksek toksisiteye sahiptir.

Diğer organofosfatların tipik özelliğini taşıyan phosmet, kolinesteraz enziminin bir inhibitörüdür. Akut phosmet zehirlenmesinin semptomları mide bulantısı, kusma, karın krampları ve ishali içerir. Yüksek seviyelerde akut maruz kalma, kas spazmlarına, kas koordinasyonunun kaybına, zihinsel karışıklığa ve uyuşukluğa neden olabilir. İnsektisit ayrıca nefes almayı engelleyebilir ve vücut salgılarını artırır. Phosmetin oral LD50'si, her iki cinsiyetten sıçanlarda 113 ile 369 mg/kg ve farelerde 23,1 ile 50,1 mg/kg arasında değişmektedir. Akut zehirlenme belirtileri hızlıdır ve genellikle maruziyetten sonraki 30 dakika içinde ortaya çıkar. Phosmet ayrıca türlere bağlı olarak balıklar için oldukça toksiktir.

##### 3.1.2. Metil parathion

Metil parathion (EK-1) oldukça fazla kullanılan ve bilinen bir organofosfat insektisittir, çok çeşitli böcek ve zararlıların kontrolü için yaygın olarak ve küresel olarak kullanılmaktadır. Meyve ve sebzelerde kalıntıları tespit edilir ve WHO tarafından son derece tehlikeli pestisit sınıfında sınıflandırılır. Birçok ülkede yasaklanmış olmasına rağmen gelişmekte olan ülkelere kullanımı artmaktadır [52]. Sinir sisteminde önemli bir enzim olan asetilkolinesteraz aktivitesini inhibe eder [53].

İnsan maruziyetinin ana yolu solunumdur, ancak deri teması ve kasıtsız yutma da önemli maruziyet yolları arasındadır. Metil parathion maruziyetine duyarlı olan popülasyonlar öncelikle uygulayıcılar, üreticiler, uygulama ve/veya imha alanlarının yakınında yaşayan bireylerdir. Ayrıca, yasadışı kullanımıyla ilgili maruziyetler de bildirilmiştir. Metil parathion ile ilgili toksik etkileri arasında baş ağrısı, mide bulantısı, gece uyanma, ishal, nefes almada zorluk, aşırı terleme ve tükürük salgılama, koordinasyon bozukluğu ve zihinsel karışıklık yer alır. Davranış problemleri, motor beceri problemleri ve hafıza hatırlama bozukluğu gibi diğer semptomlar da rapor edilmiştir. Toksisitenin birincil hedefleri, hematopoietik sistem (serum kolinesteraz inhibisyonu), kardiyovasküler sistem (kardiyovasküler lezyonlar, kalp atış hızında anormallikler ve kalp-vücut oranında artış), üreme sistem (plasental morfoloji, fibroz ve kanama ve inhibisyonudur) dir. Seminifer tübüllerde DNA sentezi ve sinir sistemi (baş ağrısı, kas güçsüzlüğü, uykusuzluk, baş dönmesi ve şuur kaybı yer almaktadır [54].

Metil parathion, oral yoldan uygulandığında düşük dozlarda akut olarak toksiktir (LD50 = 4 mg/kg vücut ağırlığı) veya inhalasyon yoluyla (LC50 = 0,13 mg/L). Bu kimyasal cildi ve gözleri hafifçe tahriş eder. WHO metil parathion'u "son derece tehlikeli " olarak sınıflandırmıştır. Metil Paration'a ait kullanım beyan formu EK 2'de verilmiştir.

### 3.1.3. Ethion

Ethion, tarımda pestisit olarak kullanılan bir kimyasaldır. Saf ethion, hoş olmayan bir kükürt kokusu olan berrak ve sarımsı bir sıvıdır. Haşere kontrolünde kullanılan ethionun çoğu diğer sıvılarla seyreltilir ve sprey olarak kullanılır. Bazen toz veya granüller üzerine adsorbe edilen bir sıvı olarak da kullanılır. Ethiona maruziyet solunumla ciltte emilme ve tutma yoluyla ortaya çıkmaktadır. Yaygın olarak böcek öldürücü olarak kullanılan ethion insanlarda toksik etkiye neden olur Ethion, beyinde ve sinirlerde asetilkolinesteraz adı verilen önemli bir enzim ile kimyasal olarak reaksiyona girerek düzgün çalışmasını durdurabilir. Buna bağlı olarak kaslar ile sinirler arasındaki sinyaller bozulur istemsiz kasılmalar, mide bulantısı, terleme, idrar yapma, görme kaybı, şuur bulanıklığı görülür. Ethion 1956 yılında gıda makine ve kimya şirketi (FMC) tarafından bitki ve hayvanlarda aninsektisit, akarisit ve ovisit olarak kullanılmak üzere tanıtılmıştır. Ethion, Avustralya sığır kene eradikasyon programının temeli olarak kullanılmıştır. 1970'lerin sonlarında durmasına rağmen, daldırma çamurlarındaki ve çevresindeki topraklardaki Ethion konsantrasyonları kabul edilemez derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir [55].

Yapılan akut ölüm çalışmaları, oral yolla ethionun yüksek toksisitesini göstermiştir. 98 (tek doz) pestisit için sonuçları bildiren bir çalışmada, (Gaines 1969) LD50 (ölümcül doz, %50 öldürme) gavage yoluyla ethion değerleri erkek için 65 mg/kg ve dişi Sherman sıçanları için 27 mg/kg olarak bildirilmiştir. Bir sıçanı öldürmek için en düşük doz erkekler için 50 mg/kg ve kadınlar için 20 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan pestisitlere ait bilgiler Çizelge 3.1’de vermiştir. Pestisit stoklarını hazırlamak için % 33,0’lük etil alkol kullanılmıştır. Stok hazırlama işlemi yapılırken çeker ocak altında kişisel koruyucu donanım kullanılarak çalışılmıştır.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan pestisitler

Ürün adı	CAS numarası	Kimyasal formülü	Marka	Ürün numarası	Parti numarası	Moleküler ağırlığı
Phosmet	732-11-6	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> NO <sub>4</sub> PS <sub>2</sub>	Sigma-Aldrich	36195	BCBV7491	317,32
Metil Parathion	298-00-0	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> NO <sub>5</sub> PS	Sigma-Aldrich	36187	BCBV0707	263,21
Ethion	563-12-2	C <sub>9</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> P <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	Sigma-Aldrich	45477	BCBZ3579	384,48

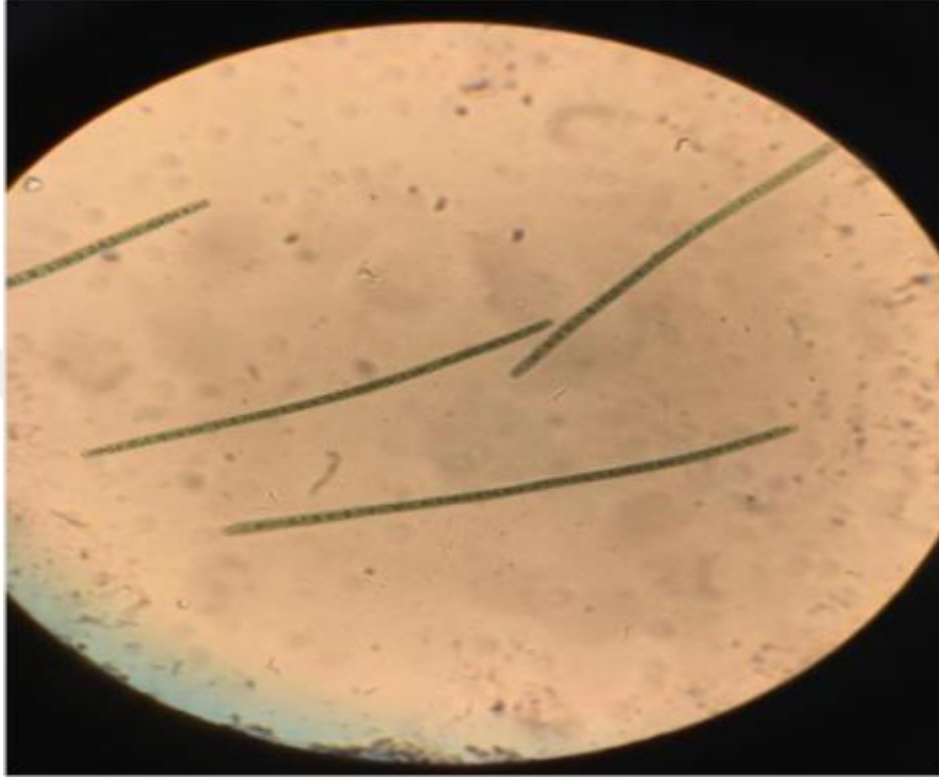
### 3.2. Çalışmada Kullanılan Mikrolag

Çalışma materyali olarak *Spirulina platensis* kültürü Sum *Spirulina platensis* tesisinden sıvı olarak temin edilmiştir. *Spirulina platensis*’in sistematikteki yeri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir [56].

Çizelge 3.2. *Spirulina platensis*’in sistematiksel görünüşü

Şube	<i>Cyanophyta</i>
Sınıf	<i>Cyanopyceae</i>
Takım	<i>Nostocales</i>
Aile	<i>Oscillatoriaceae</i>
Cins	<i>Spirulina Turpin (1827)</i>
Tür	<i>Spirulina platensis</i>

Çalışmada kullanılan *Spirulina platensis* kültürüne ait mikroskop görüntüsü Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1. *Spirulina platensis* mikroskop görüntüsü

### 3.2.1. *Spirulina platensis* kültürünün çoğaltılması

*Spirulina platensis* üretimi için zarrouk medium kültür ortamı kullanılmıştır. Kültür ortamı iki kısım ve mikro elementleri içeren solüsyondan oluşmaktadır. Hazırlanmış olan mikro element solüsyonundan 10,0 mL alınıp kısım 2’ye eklenecektir. Ortamının içeriği Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Zarrouk medium kültür ortamı içeriği

Ortam - Solüsyon	Madde	Miktar
Kısım 1	NaHCO <sub>3</sub>	18,6g
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8,06g
	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,00g
	Distile su	500,0 mL
Kısım 2	NaNO <sub>3</sub>	5,00g
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,00g
	NaCl	2,00g
	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,40g
	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,02g
	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,02g
	EDTANa <sub>2</sub>	0,16g
	Mikro Element Solüsyonu	10,0mL
Distile su	500,0mL	
Mikro element Solüsyonu	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,01g
	MnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,02g
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,01g
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,001g
	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,001g
	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,00005g
	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,7g
	EDTANa <sub>2</sub>	0,8g
Distile su	1,0L	

Çalışmanın başında temin edilen *Spirulina platensis* kültürü çoğaltılmış 1000 mL lik zarrouk ortamına 250 mL kültür ekilmiştir. *Spirulina platensis* kültürünün zarrouk ortamına laboratuvar ortamında ekimi Resim 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.2. Laboratuvar ortamında *Spirulina Platensis* ekimi



Çalışmada 250 mL'lik cam şişeler kullanılmıştır. Şişelere hava kompresörü ile hava verilmiştir. Hava kompresörleriyle kültür şişelerinin havalandırılması işlemi Resim 3.3'te verilmiştir.



Resim 3.3. 250 mL lik şişelere hava veren kompresörler

Çalışmada kullanılan ve zarrouk medium kültür ortamında ekimi yapılan *Spirulina platensis* kültürleri laboratuvar ortamında cam kenarında güneş ışığını doğrudan alabilecek şekilde konumlandırılmıştır. Sabah saatlerinde ve öğleden sonra olmak üzere günde iki defa ısı ölçümü yapılmıştır. Kültür şişelerinin aydınlatması 12 saatlik foto periyod olarak ayarlanmıştır (12 saat karanlık 12 saat ışık). Yoğunluğu ve sağlıklı üreme seviyeleri günlük olarak takip edilmiştir. Kültür şişelerinin ısı ve pH ölçümü ADVA marka Ad12 model cihazla yapılmıştır. Ölçüm yapılan cihazın resmi Resim 3.4'te verilmiştir.



Resim 3.4. *Spirulina platensis* kültürlerinin ısı ve pH değerini ölçmede kullanılan cihaz

Optik yoğunluğu ölçmek için günlük olarak kültürler homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra bir pipet yardımıyla 3,0 mL örnek alınmıştır. Alınan örnekler kuartz tüplere konularak UV-Vis spektrofotometre ile 670 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır [57]. Optik yoğunluk ölçümünde kullanılan cihaz resmi Resim 3.5'te verilmiştir.



Resim 3.5. *Spirulina platensis* kültürlerinin optik yoğunluk değerini ölçmede kullanılan UV-Vis spektrofotometre cihazı

- 10. günün sonunda kültür şişeleri karıştırılarak homojen hale getirildi.
- Çalışmada kullanılan her bir pestisit için 100,0 mL kültür alındı ve cam şişelere konuldu.
- 10,0 ppm stok phosmet ve metil parathion'dan 25,0 mL alınarak kültür şişelerine eklendi.
- Stok 12,0 ppm olan ethion'dan 20,0 mL alınarak kültüre eklendi. Her bir pestisit kültür karışımı için başlangıç konsantrasyon 2,0 ppm olarak ayarlandı.
- Pestisit ekimi yapılan kültür şişeleri yedi gün boyunca gözlemlendi. 2., 4. ve 7. gün şişelerden enjektör yardımıyla 5,0 mL numune alındı. Enjektörle alınan numunelere ait görüntü Resim 3.6'da verilmiştir.
- Alınan numuneler 30 µm filtre kâğıdı ile süzüldü. Filtre kağıdıyla süzme işlemine ait görüntü Resim 3.7'de verilmiştir. Ardından elde edilen numuneler -18 °C de falconlar da muhafaza edildi.



Resim 3.6. Kültür şişelerinden alınan numuneler



Resim 3.7. Kùltürlerin filtre edilme işlemleri

### **3.3. Elektrokimyasal Analiz Yönteminin Geliştirilmesi**

#### **3.3.1. Elektrokimyasal hücre düzeneği**

Voltammetrik çalışmalar BAS 100B/W Model cihaz ile yapılmıştır. Referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot, çalışma elektrotu olarak camsı karbon elektrotu (GCE), karşıt elektrot olarak platin elektrot kullanılmıştır.

Voltammetrik deneylerde hücre içindeki çözülmüş oksijenin camsı karbon elektrotu yüzeyinde indirgeneceğinden ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle elektrokimyasal hücreye azot gazı 10 dakika boyunca sürekli geçirilerek oksijenin yeniden çözelti içerisinde indirgenmesi önlenmiştir.

#### **3.3.2. Deneyin yapılışı**

Destek elektrolit olarak seçilen 0,1 M fosfat tamponundan 2,0 mL alınarak elektrokimyasal hücreye konulmuş ve 10 dakika azot gazı geçirilmiştir. Kare dalga voltametri (SWV) yöntemi için +0,0 V/+1,5 V potansiyel aralığında çalışma elektrotuna sürekli potansiyel uygulanarak her üç pestisit için bu potansiyel aralığında artan derişimler de voltammogramlar kaydedilerek kalibrasyon grafikleri oluşturmuştur. Phosmet için +0,75 V'da, M. Parathion için +1,0 V'da ve Ethion için +1,2 V'da elektrokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

#### **3.3.3. Kalibrasyon grafiklerinin hazırlanması**

Çözeltiler, pestisit stok çözeltilerinden (100,0 ppm) uygun miktarlarda alınıp metanol ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Doğrusallık aralığını saptamak için elektrokimyasal hücreye artan derişimlerde standart çözeltilerden eklenmiş ve voltamogramlar kaydedilmiştir. Derişime karşı pik akımı değerleri grafiğe geçirilerek kalibrasyon grafikleri çizilmiştir. Gözlenebilen en küçük derişim ve kalibrasyon grafiklerinden miktar tayini yapılabilecek derişim aralıkları saptanarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

## 4. SONUÇLAR

### 4.1. *Spirulina platensis* Kültürünün Takip Sonuçları

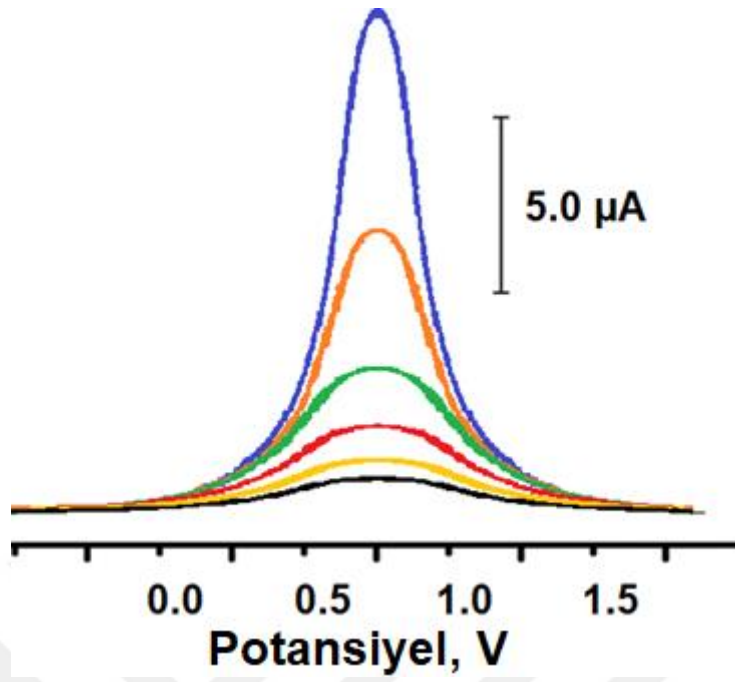
10 gün boyunca takibi yapılan kültür şişelerine ait ısı, pH, ve optik yoğunluk değerleri Çizelge 4.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. *Spirulina platensis* kültürlerinin takip sonuçları

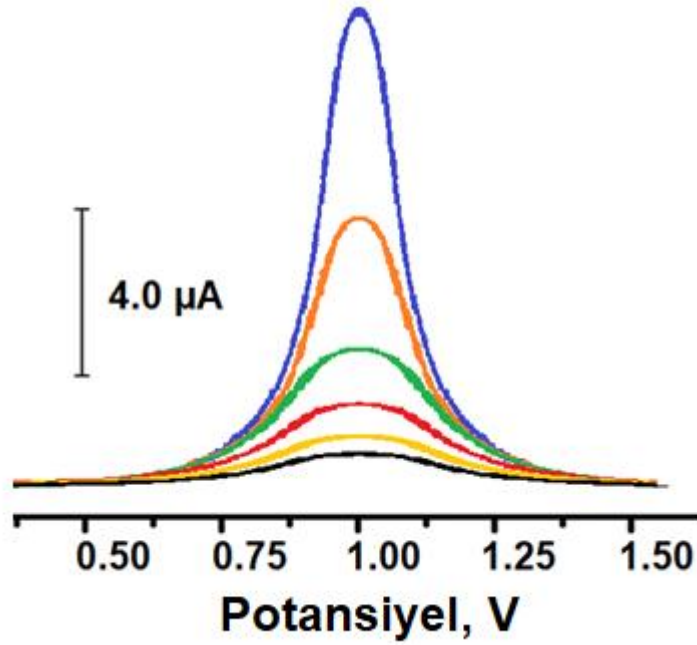
	Sıcaklık (°C) Sabah	Sıcaklık (°C) Öğleden sonra	pH	Absorbans (670 nm)
1. Gün	27,0	28,3	9,27	0,1876
2. Gün	28,7	28,3	9,40	0,5597
3. Gün	26,4	26,8	9,55	0,5950
4. Gün	25,2	26,4	9,60	0,5399
5. Gün	28,4	30,4	9,53	0,7660
6. Gün	25,7	27,8	9,65	0,7000
7. Gün	28,1	28,3	9,73	0,9463
8. Gün	26,8	28,7	9,76	0,9185
9. Gün	27,5	24,6	9,85	1,05226
10. Gün	26,3	28,7	9,87	1,1489

### 4.2. Elektrokimyasal Tayin için Her Üç Pestisite Ait Kaydedilen Voltammogramlar

Pik şekli ve akım değerleri dikkate alınarak en uygun parametreler; frekans için 100 Hz, adım yüksekliği için 5 mV ve puls genliği için 50 mV olarak seçilerek 0,1 M Fosfat tampon sisteminde her üç pestisite ait artan derişimlerde kare dalga voltammogramları Resim 4.1, 4.2 ve 4.3'de gösterilmiştir.

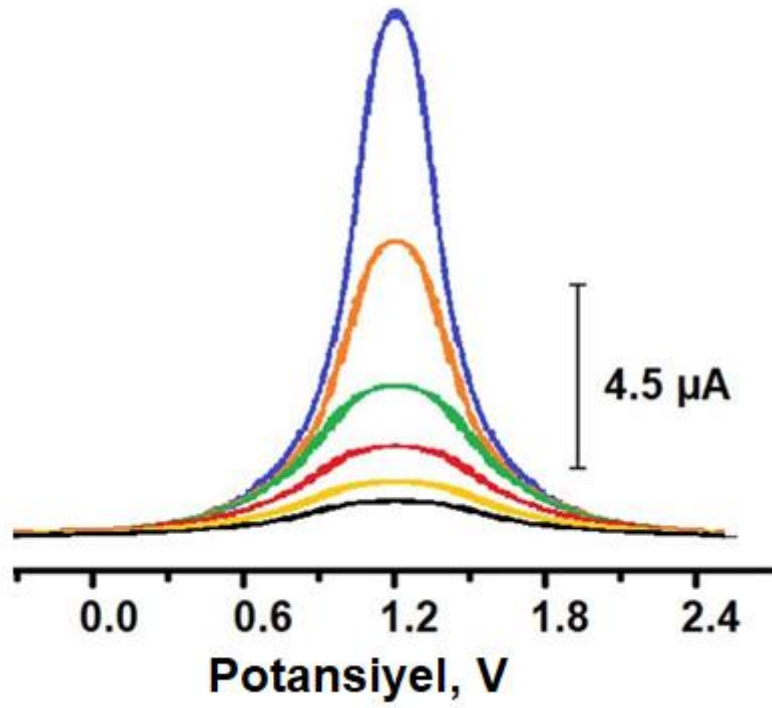


Resim 4.1. Phosmet'in kare dalga voltamogramları (En küçük derişim: 0,5 ppm ve En yüksek derişim: 10,0 ppm)



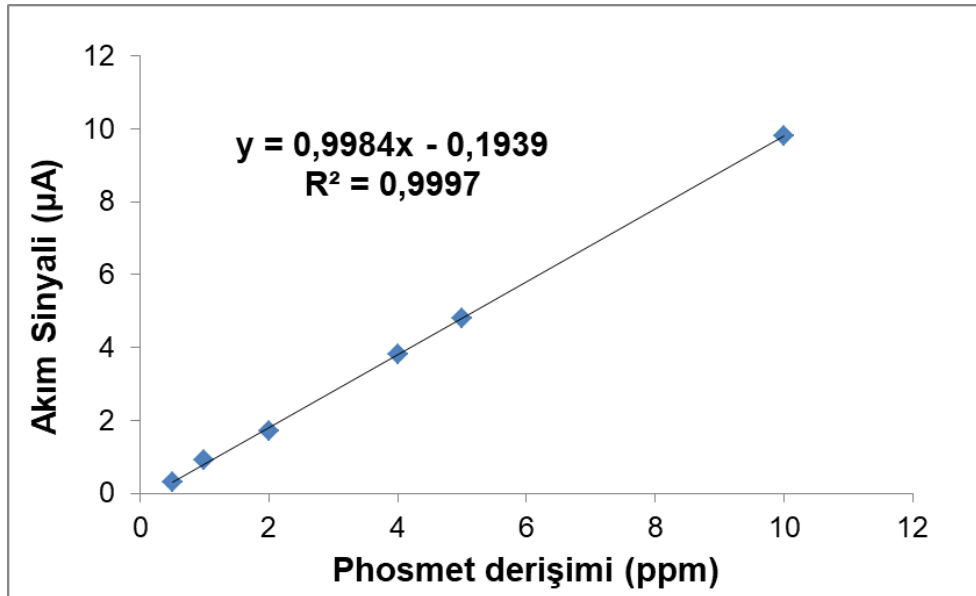
Resim 4.2. M. Parathion'un kare dalga voltamogramları (En küçük derişim: 0,5 ppm ve En yüksek derişim: 10,0 ppm)



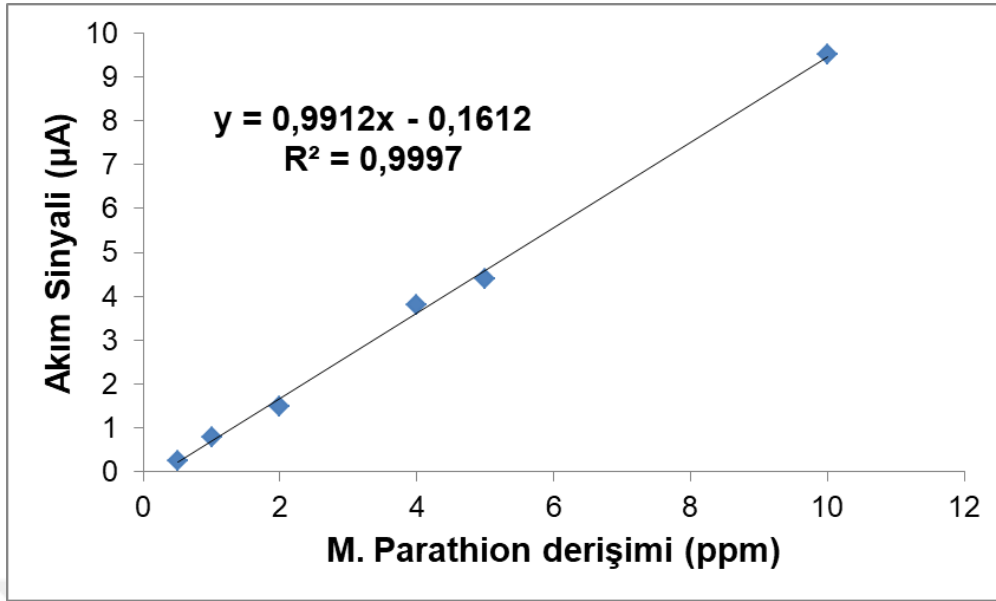


Resim 4.3. Ethion'un kare dalga voltamogramları (En küçük derişim: 0,5 ppm ve En yüksek derişim: 10,0 ppm)

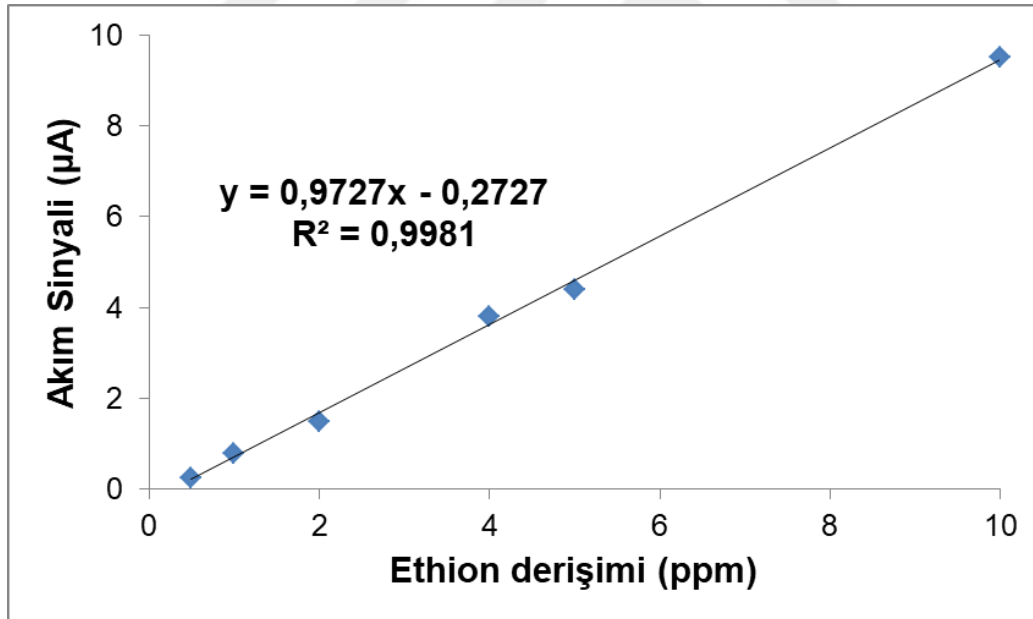
#### 4.3. Kalibrasyon Eğrileri ve Doğrusallık Aralıkları



Resim 4.4. Phosmet'in SWV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon eğrisi (n = 6)



Resim 4.5. M. Parathion'un SWV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon eğrisi (n = 6)



Resim 4.6. Ethion'un SWV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon eğrisi (n = 6)

SWV yöntemi kullanılarak kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması ve doğrusallık aralıklarının belirlenmesi için her üç pestisit için derişimine karşı gözlenen pik akımları grafiğe geçirilmiştir. Her üç pestisit için 0,50 – 10,00 ppm aralığında doğrusal olan kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir (Resim 4.4. – Resim 4.5. – Resim 4.6. ).

Her üç pestisit için elde edilen kalibrasyon grafiklerinin doğrusallıktan ayrılışın önem kontrolü yapılmıştır (Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.2. Phosmet'in SWV yöntemi ile analizinden elde edilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı ile doğrusallıktan ayrılış önem kontrolü için yapılan istatistiksel hesaplamalar.

Korelasyon Katsayısının Önem Kontrolü						
n	r	Sr	t <sub>H</sub>	t <sub>T</sub>		
6	0,9997	$7,479 \times 10^{-3}$	98,12	2,48		
Doğrusallıktan Ayrılış Önem Kontrolü						
RKT	YOAKT	RAKT	RAKO	RKO	F <sub>H</sub>	F <sub>T</sub>
961178,13	955178,18	498,1	81,6	951378,18	11659,05	5,59

\* Terimler Ek 2'de açıklanmıştır

Çizelge 4.3. M. Parathion'un SWV yöntemi ile analizinden elde edilen kalibrasyon eğrisini korelasyon katsayısı ile doğrusallıktan ayrılış önem kontrolü için yapılan istatistiksel hesaplamalar

Korelasyon Katsayısının Önem Kontrolü						
n	r	Sr	t <sub>H</sub>	t <sub>T</sub>		
6	0,9997	$7,317 \times 10^{-3}$	93,42	2,48		
Doğrusallıktan Ayrılış Önem Kontrolü						
RKT	YOAKT	RAKT	RAKO	RKO	F <sub>H</sub>	F <sub>T</sub>
958364,18	952169,21	437,2	79,50	967934,22	12175,27	5,59

\* Terimler Ek 2'de açıklanmıştır

Çizelge 4.4. Ethion'un SWV yöntemi ile analizinden elde edilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı ile doğrusallıktan ayrılış önem kontrolü için yapılan istatistiksel hesaplamalar

Korelasyon Katsayısının Önem Kontrolü						
n	r	Sr	t <sub>H</sub>	t <sub>T</sub>		
6	0,9981	$7,217 \times 10^{-3}$	88,23	2,48		
Doğrusallıktan Ayrılış Önem Kontrolü						
RKT	YOAKT	RAKT	RAKO	RKO	F <sub>H</sub>	F <sub>T</sub>
954798,36	94397,21	387,6	83,1	911837,21	10972,77	5,59

\* Terimler Ek 2'de açıklanmıştır

Phosmet için  $F_H = 11659,05 > F_T = 5,59$ ; M. Parathion için  $F_H = 12175,27 > F_T = 5,59$ ; Ethion için  $F_H = 10972,77 > F_T = 5,59$  ( $p < 0,05$ ) değerleri elde edilmiş ve bu sonuçlara göre doğrusallıktan ayrılışın önemsiz olduğu bulunmuştur. Ayrıca korelasyon katsayılarının önem kontrolü yapılarak bu katsayıların istatistiksel olarak önemli değerler olduğu bulunmuştur. (Phosmet için  $t_H = 98,12 > t_T = 2,48$  M. Parathion için  $t_H = 93,42 > t_T = 2,48$  Ethion için  $t_H = 88,23 > t_T = 2,48$   $p < 0,05$ ).

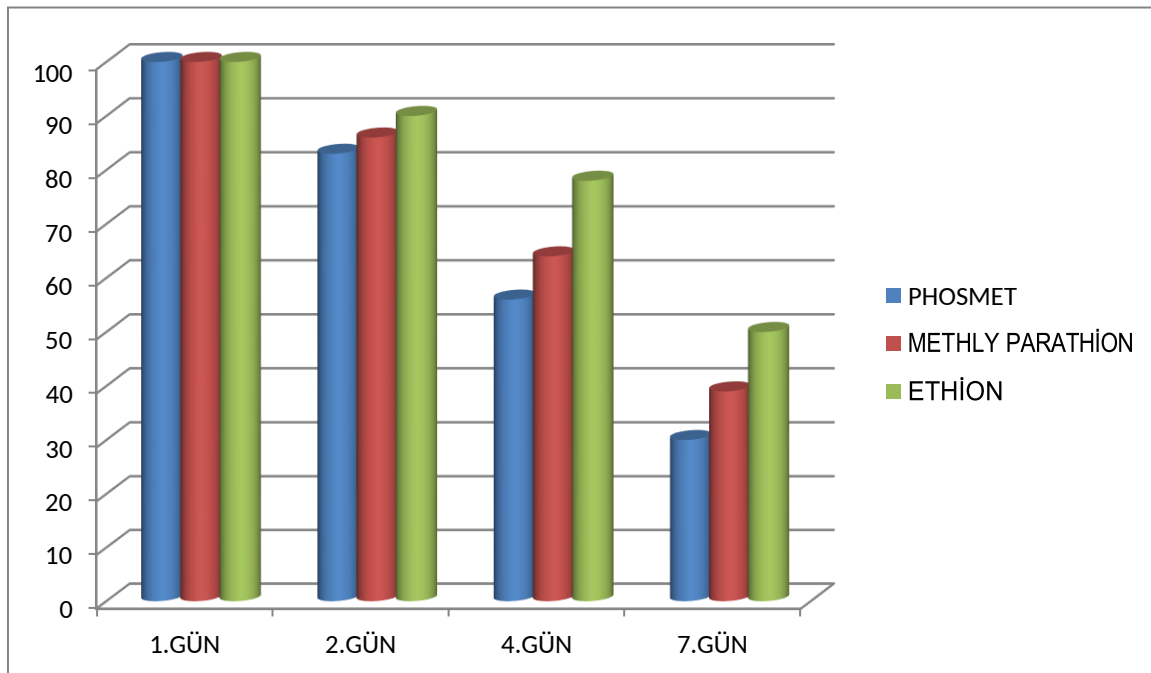
*Spirulina Platensis* kültüründe SWV yöntemi ile hesaplanan pestisit sonuçları Çizelge 4.5 'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. *Sirunia platensis* kültüründe hesaplanan pestisit sonuçları (n = 6)

GÜN	Phosmet / ppm	M. Parathion / ppm	Ethion / ppm
1.	2,000	2,000	2,000
2.	1,665 ± 0,003	1,734 ± 0,004	1,816 ± 0,003
4.	1,137 ± 0,002	1,289 ± 0,002	1,579 ± 0,004
7.	0,615 ± 0,001	0,797 ± 0,001	1,017 ± 0,002

Elde edilen sonuçlar ışığında *Spirulina platensis* kültürünün 7 günlük deney sonucunda phosmet, ethion ve methly parathionu biyoremedide etme oranları Şekil 4.1'de yüzdeler olarak verilmiştir. Başlangıç doz olan 2,0 ppm % 100 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.1. *Spirulina platensis* kültürünün deneyde kullanılan pestisitler üzerindeki biyoremediasyon etkisinin günlere göre yüzdeler sonuçları



## 5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, seçilmiş organofosfat grubu pestisitlerin, mavi-yeşil mikroalg *spirulina platensis* tarafından laboratuvar ortamında biyoremediasyonu yapıp sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmada daha önce *spirulina paltensis* ile çalışılmamış ve etkileri bilinmeyen pestisitler seçilerek bundan önceki çalışmalara yenilik katılacağı düşünülmüştür. Deneyde kullanılan phosmet, ethion ve metil parathion pestisitleri insan, canlı ve çevre sağlığına oldukça zararlı oldukları bilinmekle beraber birçok dünya ülkesinde kullanımı yasaklanmış ya da kısıtlanmıştır [52]. Ayrıca çalışma da kullanılmak üzere seçilmiş olan mikroalg *spirulina platensis* doğada var olması üretimi ve temini düşük maliyet gerektirmesi açısından yöntemin kullanılabilirliğini cazip hale getirmiştir.

Çalışmanın yapılmış olduğu Akdeniz iklim koşullarına sahip bölgede yer alan İskendeun Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi Laboratuvarının *Spirulina platensis* kültürü için canlılığı koruma ve üremeye elverişli ortam koşullarını sağladığı görülmüştür. Deney çalışması için Eylül ayının seçilmiş olması ortam koşullarını olumlu yönde etkilemiştir.

Pestisitlerin buldukları ortamdan uzaklaştırmak, azaltmak, stabilize etmek veya izole etmek için geleneksel remediasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar yakma, kimyasal oksidasyon gibi yöntemleri içermektedir. Geleneksel yöntemler yüksek maliyetli olması, uygulamada fazla enerji gerektirmesi, kirliliğin yüksek derişimde olması durumunda etkinliğin düşük olması gibi dezavantajlara sahiptir [31]. Çalışmada kullanmış olduğumuz biyoremediasyon yöntemi ise az maliyet gerektirmesi, uygulama sonrasında atık madde üretmemesi ve diğer yöntemlerle birleştirilebilir olması nedeniyle son zamanlarda tercih edilen bir teknoloji olmuştur [58].

Son yıllarda modern tarım uygulamalarında, daha yüksek verim elde edebilmek için pestisitlere olan talep oldukça artmıştır. Pestisitlere olan yüksek talep üretim, depolama, taşıma ve kullanım sahalarının arttığını göstermektedir. Çevre ve insan sağlığı için oldukça toksik ve kalıcılığı yüksek olan pestisitlerin biyoremedide edilmesi oldukça önemli hale gelmiştir [59]. Çalışmada kullanmış olduğumuz methly parathionun yarılanma ömrü bir aydan fazla olduğu bildirilmiştir [52].

Çalışmada elde ettiğimiz sonuçlarda *Spirulina platensis*in Phosmeti sırasıyla 2. Gün %17,0 4.gün % 44,0 7.gün ise % 70,0 oranında biyoremediasyona uğrattığı tespit

edilmiştir. Sonuçlara göre Phosmet için biyoremediasyon etkisinin günlere oranla yaklaşık olarak her iki günde %20,0 olduğu söylenebilir. Metil parathionun *Spirulina platensis* tarafından 2. Gün %14,0, 4. Gün %36,0 ve 7. Gün %61,0 oranında biyoremediasyona uğradığı sonucuna ulaşılmıştır. Ethionun *Spirulina platensis* tarafından biyoremediasyon oranları ise 2. Gün %10,0, 4.gün %22,0 ve 7.gün %50,0 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar *Spirulina platensis* kültürünün phosmet, metil parathion ve ethiona karşı toleranslı olduğunu göstermektedir. Aynı deney koşullarında eşit dozlarda uygulanan üç farklı pestisit için biyoremediasyon sonuçlarının birbirinden farklı olması *Spirulina platensis* biyoremediasyon etkisinin pestisitler arasında farklı toleras etkisine sahip olduğunu göstermektedir.

Literatürde pestisitlerin mikroalglerle biyoremediasyon çalışmaları ve sonuçları rapor edilmiştir. Örneğin yaygın olarak kullanılan organofosfat grubu pestisit olan Diazinon yeşil mikroalg *Chlorella vulgaris* trafında %98,0 oranında biyoremedide edildiği bildirilmiştir [60]. Diğer bir çalışmada siyanobakteri *Microcystis novaceki* metil parathionu %90,0'dan daha fazla biyoremedide ettiği bildirilmiştir [61]. Son olarak *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina platensis* in malathionu atık sulardan % 99,0 oranında giderdiği bildirilmiştir [62]. Yaptığımız çalışmaların sonucu literatürü desteklemektedir. Mikroalglerin pestisitler üzerinde literatür ve çalışmamız sonucunda görüldüğü gibi biyoremediasyon etkisi desteklenmiştir. Biyoremediasyon oranının süreye göre değişiklik gösterdiği çalışmamız sonucunda söylenebilir.

## KAYNAKLAR

1. Ward, O., Singh, A. (2004). Applied Bioremediation and Phytoremediation. Editors:Singh A, Ward OP. *Soil Bioremediation and Phytoremediation*, 1-11.
2. Bharagava, R. N., Saxena, G., Mulla. S. I. (2020). Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety Volume I: Industrial Waste and Its Management. Editors: Saxena G, Bharagava RN. ‘Introduction to Industrial Wastes Containing Organic and Inorganic Pollutants and Bioremediation Approaches for Environmental Management’ *Springer Nature Singapore Pte Ltd.* , 1-19.
3. Bhardwaj, H., Gupta, R., Tiwari, A. (2012). Communities of Microbial Enzymes Associated with Biodegradation of Plastics. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2), 575–579.
4. West, J. (1996). International Petroleum Encyclopedia, *PennWell Publishing*, Tulsa, 1-15.
5. Lloyd, J. R., Macaskie, L. E. (2000). Bioremediation of radioactive metals. In: Lovley D (ed) *Environmental microbe metal interactions*, ASM Press, Washington DC, 277-327.
6. Varjani, S. J., Agarwal A. K., Gnansounou, E., Gurunathan. B. (2018). Introduction to Environmental Protection and Management, Bioremediation: *Applications for Environmental Protection and Management*,1-6.
7. Kaszeta, D.(2013). The Threat Environment, Editors: Kaszeta D. CBRN and Hazmat Incidents at Major Public Events: Planning and Response John Wiley & Sons, Inc. , Hoboken, New Jersey,7-24.
8. Brusseau, M. L., Artiola, J. F. (2019). Chemical Contaminants. *Environmental and Pollution Science (Third Edition)* Chapter 12, Pages 175-190.
9. Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S. ( 2010). Tarım ilaçları kullanımını ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 26(2), 154-169.
10. Berg, H., Baogen, G., Grenier, B., Kohlschmid, E., Al-Eryani, S., Bezerra, H. S. S., Nagpal, B. N., Chanda, E., Gasimov, E., Velayudhan, R., Yadav, R. S. (2020). Pesticide lifecycle management in agriculture and public health: Where are the gaps? *Science of The Total Environment*, 742: 140598.
11. Cornish, P. (2007). The CBRN System Assessing the threat of terrorist use of chemical, biological, radiological and nuclear weapons in the United Kingdom . *An International Security Programme Report, February* , VI., 11-13.



12. Raghunandan, D., Jayaprakash, N. D. (2020). Bhopal gas disaster: Delhi Science Forum and People's Science Movement in India - In memory of Dr. Amit Sengupta.
13. Devi, S. (2020). Lebanon faces humanitarian emergency after blast *Lancet*. 396(10249), 456.
14. Fitzgerald, G. J. (2008). Chemical Warfare and Medical Response During World War I, 611-625.
15. Kırçıçek, A., Arslantaş, D., İncedere, O., Öztaş, D., Ateş, A. (2020). Biyolojik Tehditler, Yeni Koronavirüs Hastalığı ve KBRN İçindeki Yeri. 3. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Kongresi.
16. Kaadan, M. I., Cranmer, H. (2018). The Management of the Khan Al-Assal Chemical Attack in Aleppo University Hospital (AUH).
17. Stenersen, J. (2004). Chemical pesticides mode of action and toxicology Chapter 8,190-192.
18. Sezigen, S., Kenar, L. (2020). Hardal Gazına Maruz Kalmış Kimyasal Yaralıların Tıbbi Yönetiminin Retrospektif Değerlendirilmesi ve Öneriler, *Osmangazi Tıp Dergisi*, 42 (1), 93-102.
19. Sezigen, S., Karayılanoğlu, T. (2006). Kimyasal savaş ajanlarının solunum sistemine etkileri ve tedavi yaklaşımları. *Türk Hij Den Biyol Derg*, 63,129-34.
20. Balali-Mood, M., Hefazi, M. (2005). The pharmacology, toxicology, and medical treatment of sulphur mustard poisoning. *Fundamental & Clinical Pharmacology*. 19, 297-315.
21. Kilic, E., Ortatatli, M., Sezigen, S., Eyison, R. K., Kenar, L. (2018). Acute intensive care unit management of mustard gas victims: the Turkish experience. *Cutaneous and Ocular Toxicology* 37(4), 1-17.
22. Gupta, R. C. (2015). Handbook of toxicology of chemical warfare agents, The respiratory Toxicity of chemical warfare Agents Chapter: 32, 491-494.
23. Calder, A., Bland, S. (2018). CBRN considerations in a major incident. *Surgery (Oxford)*, 36(8), 417-423.
24. Tu, A. T. (2014). Aum Shinrikyo's Chemical and Biological Weapons: More Than Sarin; *Forensic Sci Rev*, 115-120.
25. Bennett, D. (2004). Terrorists and Unconventional Weapons: Is the Threat Real? *Low Intensity Conflict & Law Enforcement*, 12(1), 20-50.
26. Oliver, C. P., Butler, D. J., Webb, D. V. (2012). The Australian radiation protection and nuclear safety agency megavoltage photon thermoluminescence dosimetry postal audit service, *Australas Phys Eng Sci Med*, 35, 105-108

27. Hacıosmanoğlu, T. (2017). Natural and Artificial Radiation Sources and Personal Dose Additives. *Nucl Med Semin*; 3,166-171.
28. Flayn, D. F., Goans, R. E. (2006). Nuclear terrorism: triage and medical management of radiation and combined-injury casualties, *Surg Clin North Am*, 86, 601–636.
29. Bushberg, J. T., Kroger, L. A., Hartman, M. B. (2007). Nuclear/radiological terrorism: emergency department management of radiation casualties, *J Emerg Med*. 32(1), 71–85.
30. Kuhad, R. C., Johri, A. K., Singh, A., Ward, O. P. (2004). Bioremediation of Pesticide-Contaminated Soils. *Applied Bioremediation and Phytoremediation*, 35–54.
31. Gül, Ü. D., Yavuz Ş. A., (2018). Pestisitler Kirlenmiş Ortamların Biyoremediasyonu, *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 11 (1), 7-17.
32. Jayaraj, R., Megha, P., Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdiscip Toxicol*, 9(3–4), 90–100.
33. McLellan, J., Gupta, S. K., Kumar, M. (2019). Feasibility of Using Bacterial-Microalgal Consortium for the Bioremediation of Organic Pesticides: Application Constraints and Future Prospects. In: Gupta S. K., Bux F. (eds) *Application of Microalgae in Wastewater Treatment*; 341-362.
34. Smith, A., Jong, H. M. (2001). Distribution of organochlorine pesticides in soils from South Korea, *Chemosphere*, 43(2), 137–140.
35. Wasseling, C., Aragón, A., Castillo, L., Corriols, M., Chaverri, F., Cruz, E., Keifer, M., Monge, P., Partanen, T. J., Ruepert, C., Van Wendel de Joode, B. (2001). Hazardous pesticides in Central America, *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 7(4), 287–94.
36. Zainith, S., Sandhya, S., Saxena, G., Bharagava, R. N. (2016). Microbes: an ecofriendly tool for the treatment of industrial wastewater, *Chemosphere*, 78, 103.
37. Reshma, S. V., Spandana, S., Sowmya, M. (2011). Bioremediation technologies. World Congress of Biotechnology, India.
38. Azubuikwe, C. C., Chikere, C. B., Okpokwasili, G. C. (2016). Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 180.
39. Vural, A., Demir, S., Boyno, G. (2018). Biyoremediasyon ve Fungusların Biyoremediasyonda Kullanılması, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(4), 490-501.

40. Watanabe, K. (2001). Microorganisms relevant to bioremediation. *Current Opinion in Biotechnology*, 12(3), 237–241.
41. Töre A. K., Işık, M. (2020). Mikroalglerle Biyogaz Çamurunun Arıtımı. *Ulusal çevre bilimleri araştırma dergisi*, 3(1), 34-42.
42. Demirel, Z., Tok, R., İltter, I., Akyıl, S., Erdoğan, A., Koç, M., Kaymak Ertekin, F., Conk Dalay, M. (2018). Biyokütle için mikroalg ve siyanobakteri'nin büyük ölçekte üretimi, *Aquatic Research*, 1(2), 64-76.
43. Sisman-Aydın, G., Oral, R. (2014). Investigation of The Hormesis/Toxicity Potential of Manisa (Turkey) Urban Wastewater Treatment Plant by using *Selenastrum Capricornutum* Printz, *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(5), 1183-1189.
44. Şişman Aydın, G., Kocataş, A., Büyükişık, B. (2009). Effects of light and temperature on the growth rate of potentially harmful marine diatom: *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae), *African Journal of Biotechnology*, 8 (19), 4983–4990
45. Şişman Aydın, G. (2018). Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2), 17-26.
46. Şişman Aydın, G. (2019). Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1), 81-92.
47. Bhat, S. A., Qadri, H., Cui, G., Li, F. (2020). Remediation of Pesticides Through Microbial and Phytoremediation Techniques, *Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation*, 235, 245.
48. Zhou, T., Wang, J., Zheng, H., Wu, X., Wang, Y., Liu, M., Liu, Y. (2018). Characterization of additional zinc ions on the growth, biochemical composition and photosynthetic performance from *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*, 269, 285–291.
49. Soni, R. A., Sudhakar, K., Rana, R. S. (2017). *Spirulina* – From growth to nutritional product: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 157–171.
50. Meng, H., Xia, Y., Chen, H. (2012). Bioremediation of surface water co-contaminated with zinc (II) and linear alkylbenzene sulfonates by *Spirulina platensis*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 47-48, 152–155.
51. Thengodkar, R. R. M., Sivakami, S. (2010). Degradation of Chlorpyrifos by an alkaline phosphatase from the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Biodegradation*, 21(4), 637–644.
52. Senthil Kumar, P., Femina Carolin, C., Varjani, S. J. (2017). Genetically Modified Organisms and Its Impact on the Enhancement of Bioremediation, Pesticides Bioremediation. *Bioremediation: Applications for Environmental Protection and Management*, 197, 222.

53. Sharma, J. (2015). A review on in situ biodegradation of methyl parathion through soil microbes, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(5), 632-649.
54. Edwards, F., Tchounwou, P. (2005). Environmental Toxicology and Health Effects Associated with Methyl Parathion Exposure – A Scientific Review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2(3), 430–441.
55. Foster, L. J. R., Kwan, B. H., Vancov, T. (2004). Microbial degradation of the organophosphate pesticide, Ethion. *FEMS Microbiology Letters*, 240(1), 49–53.
56. Yıldız, G. (2001). *Spirulina* sp. (Cyanophyceae) Kültürü Üzerine Araştırmalar. Su Ürünleri Anabilim Dalı Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
57. Kang, C. D., Lee, J. S., Park, T. H., Sim, S. J., (2005). Comparison of Heterotrophic and Photoautotrophic Induction on Astaxanthin Production by *Haematococcus pluvialis*, *Applied Microbial and Cell Physiology*, 68, 237-241.
58. Yılmaz, P. (2006). “Sulu ortamlardan ağır metallerin mikroorganizmalar yoluyla giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
59. Javaid, M. K., Ashiq, M., Tahir, M. (2016). Potential of Biological Agents in Decontamination of Agricultural Soil, *Scientifica*, 1598325, 9.
60. Kurade, K. B., Kim, J. R., Govindwar, S. P., Jeon, B. H. (2016). Insights into microalgae mediated biodegradation of diazinon by *Chlorella vulgaris*: Microalgal tolerance to xenobiotic pollutants and metabolism, *Algal Research*, 20, 126-134.
61. Fioravante, I. A., Barbosa, F. A. R., Augusti, R., Magalhães, S. M. S. (2010). Removal of methyl parathion by cyanobacteria *Microcystis novacekii* under culture conditions. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(6).
62. Abdel-Razek, M. A., Abozeid, A. M. , Eltholth, M. M. , Abouelenien, F. A., El-Midany, S. A., Moustafa, N. Y., Mohamed, R. A. (2019). Bioremediation of a pesticide and selected heavy metals in wastewater from various sources using a consortium of microalgae and cyanobacteria, *Slov Vet Res*, 56, 61–73.

## EKLER

### EK 1. Methly Parathion Kullanım Beyan Formu;



**CUSTOMER DECLARATION OF SPECIFIC USE(S) OF CONTROLLED AND VOLUNTARILY MONITORED SUBSTANCES**

Customer #35039291  
Order 8814623523

Name Dr. Tuğba Raika Kiran

Address İskenderun Technical University / Biomedical Engineering

Phone 5323267452

Fax ext.e-mail traika.kiran@iste.edu.tr

have ordered from **SIGMA-ALDRICH** the following substance:

product number	total quantity	product name
36187-100MG	1	PARATHION-METHYL PESTANAL<TM>

The substance will be used exclusively for (detailed information of end use; we don't accept general descriptions like „research purposes“ or other):

We want to supply it for use in our planned study on degradation of methyl parathion with microalgae. The content of our research is to prepare the solutions of the mentioned pesticide mentioned in certain concentrations and to determine whether it is degraded in the specified microalgae species.

We declare that it will not be used in human, veterinary, medical, agricultural, food or cosmetics, or in any industrial field.

We confirm that the substance referred to above will solely be used for legal purposes and will only be resold or otherwise supplied to a customer on the condition that the customer will furnish an equivalent declaration of use.

We also ensure that the product referred to above will not be

- purchased with the intention to produce or supply substances which could be used as additives and/or psychotropics,
- used for military, internal repression or illegal purposes,
- used as an explosive or pyrotechnical set or for the production of explosives and pyrotechnical sets,
- used in the fields of human and veterinary in-vitro-fertilization.

The use in the fields of human or veterinary medicine, agriculture, food or cosmetics is only allowed if the customer has determined the suitability of this product for his/her application and has performed the required testing according to national legislation. Uses other than research and development (or what is explicitly stated on the label) could be a violation of applicable laws, rules or regulations.

name Dr. Tuğba Raika Kiran  
(block capitals)

*Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Raika KIRAN*  
stampa akademik  
binding signature

position Academician

date 28.02.2020

## Ek 2. Korelasyon Katsayısı ve Doğrusallıktan Ayrılış Önem Kontrolü

Bulunan korelasyon katsayısının önemli bir katsayı mı yoksa tesadüfe bağlı bir katsayı mı olduğu test edilmiştir.

Testin yapımında işlemler:

1. Ho: Korelasyon katsayısı tesadüfe bağlı bir değerdir ( $r = 0$ ).

2. Test istatistiğinin hesaplanması:

$$T = \frac{r}{S_r}$$

$$S_r = \frac{\sqrt{1 - r^2}}{n - 2}^{1/2} \quad (\text{Korelasyon katsayısının standart hatası})$$

3. Yanılma olasılığı olarak  $\alpha = 0,05$  seçilmiştir.

4. Serbestlik derecesi =  $n - 2$

5.  $\alpha = 0,05$  düzeyinde ve 4. Madde de bulunan serbestlik derecesinde tablo t değerine bakılır.

6. Karşılaştırma: Hesapla bulunan t değeri Tablo t değerinden büyükse  $H_0$  hipotezi reddedilir, küçükse kabul edilir.

7. Karar: Korelasyon katsayısı önemli bir değerdir, tesadüfen bulunmuş bir değer değildir ( $t =$  Hesapla bulunan değer,  $p < 0,05$ ) veya korelasyon katsayısı önemli bir değer değildir, tesadüfen bulunmuş bir değerdir ( $t =$  Hesapla bulunan değer,  $p > 0,05$ )

### Doğrusallıktan Ayrılış Önem Kontrolü

1. Kareler toplamları bulunur:

a) Regresyon Kareler Toplamı (RKT):

$$\left[ \frac{(\sum x)(\sum y)}{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}} \right]^2$$

$$RKT = \frac{(\sum x)(\sum y)}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

b) Y Ortalamadan Ayrılış Kareler Toplamı (YOAKT):

$$YOAKT = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

c) Regresyondan Ayrılış Kareler Toplamı  $\Rightarrow$  RAKT = YOAKT - RKT

2. Serbestlik dereceleri bulunur:

a) Regresyon Serbestlik Derecesi (RSD) = 1

b) Y Ortalamadan Ayrılış Serbestlik Derecesi  $\Rightarrow$  YOASD = n-1

c) Regresyondan Ayrılış Serbestlik Derecesi  $\Rightarrow$  RASD = YOASD – RSD

3. Kareler ortalamaları bulunur:

a) Regresyon Kareler Ortalaması  $\Rightarrow$  RKT / RSD

b) Regresyondan Ayrılış Kareler Ortalaması  $\Rightarrow$  RAKO = RAKT / RASD

4.  $H_0$  = Derişim ile pik cevabı arasındaki ilişki doğrusal değildir.

5. Yanılma olasılığı  $\alpha = 0,05$  seçilmiştir.

6.  $F = RKO / RAKO$

7.  $p = 0,05$  düzeyinde RSD ve RASD serbestlik derecelerindeki tablo F değerleri bulunur.

8. Karşılaştırma: Hesapla bulunan F değeri tablo F değerinden büyükse  $H_0$  hipotezi reddedilir, küçükse kabul edilir.

9. Karar: Derişim ile pik cevabı arasındaki ilişki doğrusaldır (F = Hesapla bulunan,  $p < 0,05$ ) veya doğrusal değildir (F = Hesapla bulunan,  $p > 0,05$ ).

**Keşimin sıfırdan ayrılışının önem kontrolü**

1.

$$S_{yx} = \frac{\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 / n}{n - 1} \left[ \frac{(1 - r)^2 (n-1)}{n - 2} \right]^{1/2}$$

2.  $S_{H(a)} = (S_{yx})^2 [(1/n) + \bar{x} / (\Sigma^2 x - (\Sigma x)^2 / n)]$

3.  $H_0 =$  Keşim değeri (a) sıfıra eşittir.

4. Yanılma olasılığı  $p = 0,05$  seçilmiştir.

5.  $t_H = a / S_{H(a)}$

6.  $\alpha = 0,05$  düzeyinde  $t_T$  değerleri bulunur.

3. Karşılaştırma: Hesapla bulunan t değeri tablo t değerinden büyükse  $H_0$  hipotezi reddedilir, küçükse kabul edilir.

4. Karar: Keşim değeri sıfıra eşittir ( $t_H =$  Hesapla bulunan,  $p > 0,05$ ) veya Keşim değeri sıfırdan farklıdır ( $t_H =$  Hesapla bulunan,  $p < 0,05$ ).



## DİZİN

<hr/>		<hr/>	
<b><i>B</i></b>		<b><i>M</i></b>	
Biyoremediasyon Tekniği	15	Methyl parathion	21
		Mikroalgler,	17
<hr/>		<hr/>	
<b><i>E</i></b>		<b><i>O</i></b>	
Ethion	22	Organofosfat	14
<hr/>		<hr/>	
<b><i>F</i></b>		<b><i>P</i></b>	
Fitoremediasyon tekniği	15	Pestisitler	13
		Phosmet,	21
<hr/>		<hr/>	
<b><i>K</i></b>			
<i>KBRN</i>	3		



# TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

