

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORGANİK KATKILI TOPRAKTA YILLANMIŞ
DDT'NİN KABAKGİLLERDE BİRİKİMİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Pınar SEVİM

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN

Aralık 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK KATKILI TOPRAKTA YILLANMIŞ
DDT'NİN KABAKGİLLERDE BİRİKİMİNİN
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Pınar SEVİM

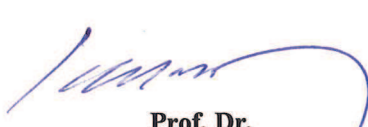
Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25 / 12 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



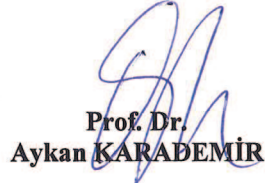
Doç. Dr.
Mehmet İŞLEYEN

Jüri Başkanı



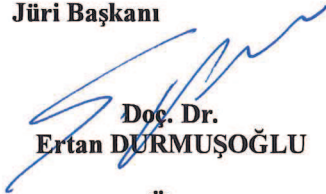
Prof. Dr.
İsmail Ayhan ŞENGİL

Üye



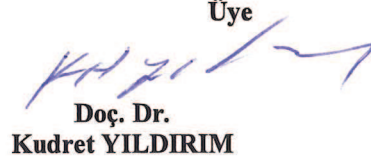
Prof. Dr.
Aykan KARADEMİR

Üye



Doç. Dr.
Ertan DÜRMUŞOĞLU

Üye



Doç. Dr.
Kudret YILDIRIM

Üye

Bu çalışma SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir
(FBDTEZ 2013-50-02-16).

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden itibaren her zaman her konuda bana destek veren, öz veri ile yol gösteren danıőmanım Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN baŐta olmak üzere çalıőmalarım boyunca ihtiyaç duyduğum çalışma alanını bu projeye sunan ve tez sürecinde vefat eden Osman KAHRAMAN'a, çalışmalarda kullanmıő olduğum tohumları temin etmekte yardımcı olan Jason WHITE'a ve laboratuvar çalışmalarında bana büyük kolaylık sağlayan Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi yönetimine teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup sevgi ve desteğini esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin hiçbir aşamasında beni yalnız bırakmayıp, maddi manevi her şekilde yanımda olan Erdem ELİBOL'a sonsuz minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
MATERYAL VE METOT.....	15
2.1.DDT ile Kirlenmiş Alan	15
2.2.Deney Setlerinin Hazırlanması.....	17
2.2.1. Saha çalışmaları	19
2.2.2. Saksıların hazırlanması.....	19
2.3.Bitkiler.....	20
2.4.Bitkilerin Hasadı ve Numunelerin Toplanması	23
2.4.1. Bitki özsuyunun toplanması	23
2.4.2. Bitki numunelerinin toplanması.....	24
2.5.Numunelerinin Ekstraksiyonu	25
2.5.1. Toprak numunelerinin ekstraksiyonu	26
2.5.2. Bitki numunelerinin ekstraksiyonu	26
2.6.Bitki Özsuyundan DDX Ekstraksiyonu	27
2.7.Numunelerin GC-μECD ile Analizi	29
2.8.İstatistikî Analiz.....	30

BÖLÜM 3.

DENEYSSEL BULGULAR	31
3.1.EKKMI Maddesinin Karakterizasyonu	31
3.2.2013 Saksı Deneyleri	32
3.3.2014 Saksı Deneyleri	36
3.3.1. EKKMI maddesinin biyokütle verimine etkileri	36
3.3.2. Saksı topraklarındaki DDX konsantrasyonları	37
3.3.3. EKKMI maddesinin DDX birikimine etkisi.....	38
3.3.4. EKKMI maddesinin biyolojik birikim ve translokasyon faktörüne etkileri	46
3.4.2014 Kavanoz Deneyleri.....	49
3.4.1. EKKMI maddesinin biyokütle verimine etkileri	50
3.4.2. Kavanoz topraklarında DDX konsantrasyonları.....	51
3.4.3. EKKMI maddesinin DDX birikimine etkisi.....	51
3.4.4. EKKMI maddesinin biyolojik birikim ve translokasyon faktörüne etkileri	56
3.5.2013 Saha Deneyleri	59
3.5.1. EKKMI maddesinin biyokütle verimine etkileri	59
3.5.2. Saha topraklarındaki DDX konsantrasyonları	62
3.5.3. EKKMI maddesinin DDX birikimine etkisi.....	63
3.5.4. EKKMI maddesinin biyolojik birikim ve translokasyon faktörüne etkileri	68

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

DDT	: Dikloro difenil trikloroethan
DDD	: Dikloro difenil dikloroethan
DDE	: Dikloro difenil dikloroetilen
DDX	: DDT+DDE+DDE
IS	: İç Standart
PCB	: Poliklorlu bifeniller
BBF	: Biyolojik birikim faktörü
TLF	: Translokasyon (yerdeğiştirme) faktörü
K_{ow}	: Oktanol/su etkileşim kat sayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. DDT ve Bozunma Ürünlerinin Kimyasal Yapısı.....	4
Şekil 2.1. Sakarya İlçelerinden Alınan Numunelerin Lokasyonları.....	16
Şekil 2.2. Karasu Bölgesi Tarım Amaçlı Kullanılan Alanın Derinliğe Bağlı DDX Profili.....	17
Şekil 2.3. Çalışmanın Genel Planı.....	18
Şekil 2.4. Çimlendirilen Bitkiler	21
Şekil 2.5. 2013 Saksılara Ekilen Bitkiler	21
Şekil 2.6. Sahaya Kurulan Sera ve Damla Sulama Sistemi	22
Şekil 2.7. Ekilen Bitkiler; A) Saksı (2014), B) Kavanoz (2014)	23
Şekil 2.8. Saksılardan Bitki Özsuyu Toplama	24
Şekil 2.9. Sahadan Bitki Özsuyu Toplama	24
Şekil 2.10. SPME Metodunun Sıcaklığa Bağlı Optimizasyonu.....	27
Şekil 2.11. SPME Metodunun Zamana Bağlı Optimizasyonu.....	28
Şekil 2.12. Uygulanan KFME Metodu Basamakları.....	28
Şekil 3.1. EKKMI Eklenen ve Eklenmeyen Raven Bitkileri.....	33
Şekil 3.2. EKKMI Eklenen ve Eklenmeyen Zephyr Bitkileri.....	33
Şekil 3.3. EKKMI Eklenen ve Eklenmeyen Pattypan Bitkileri	34
Şekil 3.4. EKKMI Eklenen Bitkilerin Eklenmeyenlere Göre Normalize Edilmiş Bitki Biyokütleleri.....	35
Şekil 3.5. Saksı Topraklarındaki DDX Miktarı.....	38
Şekil 3.6. Raven bitkilerinin gövde analiz kromatogramları A) EKKMI eklenmeyen B) EKKMI eklenen.....	40
Şekil 3.7. Zephyr Bitkilerinin Gövde Analiz Kromatogramları A: EKKMI eklenmeyen B: EKKMI eklenen	41
Şekil 3.8. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları.....	43
Şekil 3.9. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim	

Miktarları.....	44
Şekil 3.10. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Toplam DDX miktarları	45
Şekil 3.11. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Kirletici Akış Miktarları	46
Şekil 3.12. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Translokasyon Faktörleri.....	49
Şekil 3.13. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları	53
Şekil 3.14. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Kök Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları	54
Şekil 3.15. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Toplam DDX Miktarları	55
Şekil 3.16. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Kirletici Akış Miktarları	56
Şekil 3.17.Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Translokasyon Faktörleri	58
Şekil 3.18. Sahada Yetiştirilen Bitkiler	61
Şekil 3.19. Saha Topraklarındaki DDX Miktarı	62
Şekil 3.20. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları	64
Şekil 3.21. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Kök Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları	65
Şekil 3.22. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Toplam DDX miktarları	67
Şekil 3.23. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Kirletici Akış Miktarları	68
Şekil 3.24. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Translokasyon Faktörleri.....	70

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Stockholm Sözlemesi ile Yasaklanan Kalıcı Organik Kirleticiler ve Kimyasal Özellikleri.....	1
Tablo 2.1. Çalışma Süresince Kullanılan Bitkiler	22
Tablo 3.1. EKKMI Maddesinin Analiz Sonuçları ve Yönetmelik Parametreleri	32
Tablo 3.2. Saksılarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütleleri	34
Tablo 3.3. Saksılarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütleleri	37
Tablo 3.4. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerdeki Kirletici Miktarları	38
Tablo 3.5. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Biyolojik Birikim Faktörleri (BBF) ve Topraktaki DDX Miktarları	47
Tablo 3.6. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütleleri.....	50
Tablo 3.7. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerdeki Kirletici Miktarları	52
Tablo 3.8. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyolojik Birikim Faktörleri (BBF) ve Topraktaki DDX Miktarı	57
Tablo 3.9. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütleleri	60
Tablo 3.10. Sahada Yetiştirilen Bitkilerdeki Kirletici Miktarları	63
Tablo 3.11. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Biyolojik Birikim Faktörleri (BBF) ve Topraktaki DDX Miktarları.....	69

ÖZET

Anahtar kelimeler: DDT, toprak, bitkisel arıtım, biyolojik birikim

Klorlu organik pestisit olarak bilinen DDT (2,2-bis(klorofenil)-1,1,1-trikloroethan) toprak matrisinde abiyotik ve abiyotik reaksiyonlar sonucu bozunma ürünleri olan DDD (2,2-bis(klorofenil)-1,1-dikloroethan) ve DDE (2,2-bis(klorofenil)-1,1-dikloroethilen) ye dönüşmektedirler. Hem DDT hem de bozunma ürünleri kalıcı organik kirletici (KOK) olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalar *Cucurbita pepo ssp. pepo* (Zucchini) bitkisinin *p,p'*-DDE, poliklorlu bifeniller (PCB) ve klordan gibi kalıcı organik kirleticiler ile kirlenmiş topraklardaki kirleticileri belirgin bir şekilde yüksek miktarda biriktirme potansiyelinin olduğunu, aynı familyadan gelen su kabağı ve karpuz türlerinin böyle bir yeteneğinin olmadığını göstermiştir.

EKKMI, evsel atık su arıtma tesislerinin aktif çamurlarından üretilen yeni bir malzemedir. Bu çalışma EKKMI eklenmiş ve eklenmemiş *p,p'*-DDT'li topraklarda yetiştirilen *Cucurbita pepo ssp. pepo* (Raven) ve *Cucurbita pepo ssp. ovifera* (Zephyr) bitki türlerinin DDX birikim miktarlarındaki değişim incelenmiştir. EKKMI maddesinin eklenmesiyle topraktan bitki yapısına geçen yıllanmış *p,p'*-DDE miktarını belirlemek amacıyla saksı ve saha deneyleri yürütülmüştür. 114-471 ng/g aralığında DDX (DDT, DDD ve DDE toplamı) içeren toprağa %0 (kontrol), %1, %10 ve %25 (w/w) oranlarında EKKMI eklendikten sonra *Cucurbita pepo*. (Raven ve Zephyr) türü bitkiler ekilmiştir. Ekilen bitkiler 39 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilmiştir. Toprak ve bitki numunelerindeki DDX miktarları GC/μ-ECD kullanılarak analiz edilmiştir.

%10 EKKMI eklenerek saksılarda yetiştirilen Raven ve Zephyr bitkileri EKKMI eklenmeyen kontrol bitkilerine göre sırasıyla 13 ve 6 kat daha fazla biyokütle üretmişlerdir. Kontrol saksılarında yetiştirilen Raven ve Zephyr bitkilerinin ortalama biyolojik birikim faktörleri 9.63 ve 1.89 iken %25 EKKMI eklenen bitkilerdeki bu değerler sırasıyla 0.26 ve 0.1'e kadar düşmüştür. Genel olarak her iki bitki türünde de EKKMI eklenen bitkilerin *p,p'*-DDE biriktirme miktarları kontrol bitkilerine kıyasla %96 oranında azalmıştır. Bu çalışma ile ilk defa yıllanmış *p,p'*-DDE ile kirli topraklara EKKMI eklenmesi ile Zucchini bitkilerindeki kirletici miktarının ciddi oranlarda azalttığı gösterilmiştir. Kalıcı organik kirleticiler ile kirlenmiş alanlarda EKKMI uygulanması ile daha az kirli meyvelerin elde edilebileceği belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF WEATHERED DDT ACCUMULATION IN CUCURBITACEAE GROWN IN SOIL AMENDED WITH ORGANIC MATTER

SUMMARY

Keywords: DDT, soil, phytoremediation, bioaccumulation

DDT (2,2-bis(chlorophenyl)-1,1,1-trichloroethane) known as organochlorine pesticide in soil can be biotically and abiotically converted to 2,2-bis(chlorophenyl)-1,1-dichloroethane (*p,p'*-DDD) and 2,2-bis(chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene (*p,p'*-DDE) residues. Both *p,p'*-DDT and its metabolites are classified as persistent organic pollutants (POPs). Previous studies have shown that *Cucurbita pepo ssp. pepo* (Zucchini) has a significant and unique potential to accumulate weathered POPs such as *p,p'*-DDE, polychlorinated biphenyls (PCBs), and chlordane from contaminated soil, but that other plants, including closely related squash and melon species, do not have this ability.

EKKMI is a new material produced from activated sludge of domestic wastewater treatment plants. This research focuses on *p,p'*-DDE accumulations in *Cucurbita pepo ssp. pepo* (cv Raven) and *Cucurbita pepo ssp. ovifera* (cv Zephyr) plants grown in both *p,p'*-DDT contaminated soil and DDT contaminated soil amended with EKKMI. Pot and field experiments were conducted to assess the effect of EKKMI amendment on the phytoextraction of weathered *p,p'*-DDE from soil by plant systems. Soil contaminated with 114-471 ng/g DDX (sum of DDT, DDD, and DDE) was amended with EKKMI at 0% (Control), 1%, 10%, and 25% (w/w) levels and *Cucurbita pepo* (cv Raven and Zephyr) was then planted. The plants were harvested after 39-day of growth and *p,p'*-DDE concentrations in soil and plant samples were measured by GC/ μ -ECD.

Raven and Zephyr plants grown in 10% of EKKMI amended pots were produced 13 and 6 times more average biomass than their control plants grown in EKKMI unamended pots. While average bioaccumulation factors for Raven and Zephyr plants grown in control pots were 9.63 and 1.89, the values for Raven and Zephyr were dropped down to 0.26 and 0.1 with 25 % EKKMI amendment. The overall accumulated *p,p'*-DDE levels in the plants grown in EKKMI amended soil were decreased approximately 96% relative to control plants. It is the first time the results have shown that *p,p'*-DDE accumulations in zucchini plants had been dramatically decreased by EKKMI amendments, resulting in application of EKKMI in POPs contaminated sites to have less contaminated fruits.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kalıcı organik kirleticiler (KOK) 20.yüzyılım ikinci yarısından beri kullanılmakta olan ksenobiyotik bileşiklerin bir sınıfıdır. KOK birçok ülkede kullanımı yasaklanmış olan maddelerdir. 2010 yılında ülkemizin de içinde olduğu 100 den fazla ülkenin imzaladığı Stockholm Sözleşmesi ile yüksek çevresel riski bulunan 22 kalıcı organik kirleticinin kullanılması uluslararası düzeyde yasaklanmıştır [1]. Çevresel riskleri yüksek olan bu kimyasalların birçok ortak noktası bulunmaktadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Stockholm Sözleşmesi ile Yasaklanan Kalıcı Organik Kirleticiler ve Kimyasal Özellikleri

KİRLETİCİ ADI	Molekül Formülü	Molekül Ağırlığı g mol^{-1}	Suda Çözünürlüğü $\mu\text{g/L}$ (25°C)	Henry Sabiti $\text{atm m}^3/\text{mol}$ (25°C)	Log K_{ow}
Aldrin	$\text{C}_{12}\text{H}_8\text{Cl}_{16}$	364.91	33.3	3.87×10^{-4}	6.06
Klordan	$\text{C}_{10}\text{H}_6\text{Cl}_8$	409.78	12.99	7.03×10^{-5}	6.22
Dieldrin	$\text{C}_{12}\text{H}_8\text{Cl}_6\text{O}$	380.91	145.5	6.81×10^{-8}	5.20
Endrin	$\text{C}_{12}\text{H}_8\text{Cl}_6\text{O}$	380.92	145.5	5.41×10^{-7}	5.20
Heptaklor	$\text{C}_{10}\text{H}_5\text{Cl}_7$	373.32	95.26	1.76×10^{-4}	5.47
Heksaklorbenzen	C_6Cl_6	284.78	192.2	8.92×10^{-4}	5.73
Mireks	$\text{C}_{10}\text{Cl}_{12}$	545.5	0.48	1.28×10^{-6}	6.89
Toksafen	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Cl}_8$	413.82	0.32	3.82×10^{-5}	8.08
Poliklorbifeniller (PCBs)	$\text{C}_{12}\text{H}_5\text{Cl}_5$	326.43	9.39	9.24×10^{-5}	6.98
DDT	$\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$	354.49	7.31	1.53×10^{-5}	6.91
Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler	$\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_4\text{O}_2$	321.98	1.10	3.53×10^{-5}	6.80
Poliklorlu dibenzofuranlar	$\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_4\text{O}$	305.98	2.33	1.54×10^{-5}	6.53
α - Heksaklorbenzen	$\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$	290.8	4044	2.56×10^{-4}	4.14
β - Heksaklorbenzen	$\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$	290.8	4044	2.56×10^{-4}	4.14
Klordekan	$\text{C}_{10}\text{Cl}_{10}\text{O}$	490.64	19.71	1.76×10^{-10}	5.41
Heksabromobifeniller	$\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Br}_6$	627.58	1830	1.65×10^{-6}	9.10
Lindan (γ -Heksaklorbenzen)	$\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$	290.8	4044	2.56×10^{-4}	4.14
Pentaklorobenzen	C_6HCl_5	250.34	905.5	1.20×10^{-3}	5.17
Endosülfan	$\text{C}_9\text{H}_6\text{Cl}_6\text{O}_3\text{S}$	406.93	1487	9.03×10^{-8}	3.83
Heksabromosiklododekan	$\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{Br}_6$	641.7	0.02	1.72×10^{-6}	7.74

Bu kalıcı organik kirleticilerin log Kow (oktanol-su etkileşim katsayısı) değerleri 3'ten büyük olup bu gibi kirleticilerin topraktaki yarılanma ömürleri uzun yıllar ile ifade edilmektedirler [2]. Kimyasal olarak kararlı ve bozulmaya karşı dirençli olan bu kimyasallardan biri olan DDT üzerinde çalışan Dimond ve Owen, 1967 yılında Maine ormanlarında uyguladıkları kirleticinin bu alandan 1993 yılında aldıkları toprak örneklerinde, 34 yıl geçmesine rağmen halen kirleticinin %51'nin toprakta bulunduğunu tespit etmişlerdir [3]. Buna ek olarak kalıcı organik kirleticiler hidrofobik yapıda kimyasallardır bu sebeple organizmaların lipit yapılarında ve yağ dokularında hızlı bir şekilde birikme eğilimindedirler. Hayvanların dokularındaki bozulma yolları sınırlı olması nedeniyle besin zincirinin tabanından yukarı doğru çıkıldıkça birikim miktarı ve konsantrasyonu artmaktadır [4]. Klorlu pestisitlerin yoğunlaşma faktörleri her bir tropik seviye için 3-7 arasında olduğu belirtilmektedir. Buna bağlı olarak kutup denizlerinde partikül maddelerde ölçülen p,p-DDE miktarı ile gıda zincirinde 5. Tropik seviyedeki kutup ayılarının yağ dokularında ölçülen p,p-DDE (560 ng/g) oranına bakıldığında birikim faktörü (7^5) 17.000 katına kadar çıkabildiği görülmektedir [5].

Yarı uçucu olan kalıcı organik kirleticiler, atmosferde taşınabilme özelliğine sahiptirler. Alçak enlemlerde toprak matrisinden buharlaşarak hareketli hava kütleleriyle birlikte yüksek enlemlere taşınmaktadırlar. Kimyasallar kuzeye doğru hareket ettikçe yoğunlaşarak kutuplara kadar taşınabilirler [6,7]. Kalıcı organik kirleticilerin kalıcılığı, biyolojik birikim potansiyeli ve taşınabilirliği göz önüne alındığında tüm çevresel ortamlarda bulunması ve ölçülebilir limitlerde olması şaşırtıcı bir durum değildir. Türkiye'de yapılan çalışmalarda bu verileri destekler niteliktedir. Ülkemizde 1978 yılında kullanımı sınırlandırılmış ve 1985 yılında tamamen yasaklanmış [8] olmasına rağmen çeşitli bölgelerden toplanan bal [9], sediment [10], midye [11], su [12,13] ve toprak [14] numunelerinde halen DDT ve bozulma ürünlerine rastlanmaktadır.

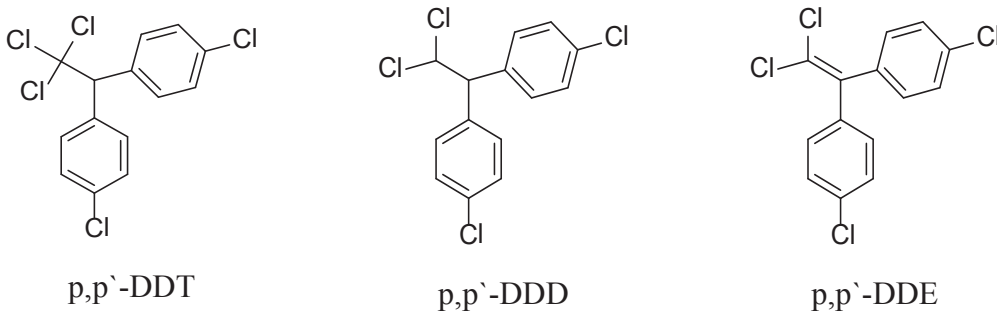
Kalıcı organik kirleticilerden biri olan DDT (Dikloro difenil trikloroethan) ilk olarak Zeidler tarafından 1873 yılında sentezlenmiş [15] olup insektisit özelliği 1939 yılında Müller tarafından keşfedilmiştir [16]. İkinci dünya savaşında böcek kaynaklı hastalıkların kontrollünde kullanılmasıyla birlikte dünyadaki kullanımında ciddi bir

artış gözlemlenmiştir [17]. DDT, 1960 yıllarının ortalarına kadar dünya çapında en yaygın kullanılmış olan pestisitlerden biridir. Dünya genelinde 1950 ile 1993 yılları arasında 2,6 milyon ton DDT'nin kullanıldığı tahmin edilmektedir [18]. Çevre ve Orman Bakanlığının kalıcı organik kirleticilere ilişkin stockholm sözleşmesi için hazırlamış olduğu ulusal uygulama planında DDT diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de 1957 ile 1985 yılları arasında çok yaygın bir şekilde kullanıldığı belirtilirken kullanılan miktar ile ilgili bir kayıt verilmemiştir [8]. DDT tarım ilacı olarak bitkilerde kullanılmasının yanı sıra, sivrisinek ve karasinek ilaçlamasında, hayvancılıkta ve hatta evlerde zararlılarla mücadelesi gibi çok geniş uygulama alanları bulmuştur [16,17]. 1948 yılında Müller'e fizyoloji ve tıp alanında Nobel ödülü kazandıran DDT'ye sivrisinek ve böceklerin zamanla dayanıklılık kazanmaya başlamasının [16] yanı sıra hedef olarak kullanılmayan türlerin de olumsuz etkilendiği fark edilmiştir [19]. ABD' de US EPA tarafından 1972 yılında kullanımı yasaklanmış olan DDT, ilerleyen zamanlarda birçok ülkede yasaklanmış ve en son Stockholm sözleşmesi ile küresel olarak bütün dünyada kullanımı yasaklanan kimyasallardan biri olmuştur [1].

Stockholm sözleşmesi kapsamında KOK olarak tanımlanmış olan DDT uzun yarılanma ömrü, yüksek biyolojik birikim potansiyeli, genotoksik özelliği, küresel taşınım özelliğiyle çevresel ilgi odaklarından olmuştur [2,20]. KOK'lar fizikokimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. DDT suda çözünürlüğü düşük olan (<1mg/l) hidrofobik yapısından dolayı apolar organik çözücülerde yüksek çözünürlüğe sahip bir bileşiktir [16][21]. Bileşiklerin sudaki çözünürlükleri Oktanol-su ayrılım katsayısına (K_{ow}) göre belirlenmektedir. K_{ow} değeri $\frac{C_o}{C_{aq}}$ olarak tanımlanır. Burada C_o organik fazdaki çözülmüş molar denge; C_{aq} sudaki çözünürlüğü temsil etmektedir. Bu denklemde oktanol faz amfilik organik maddenin hidrofobik bölgelerine bağlanan miktarı temsil eder. Örneğin ortamdaki doğal olarak ortaya çıkan toprak kolloidleri gibi kabul edilir [5]. Bu değer genellikle logaritmik skalada verildiğinden kalıcı organik kirleticilerin log K_{ow} değerleri genellikle 3-13 aralığındadır [22] ve DDT için yaklaşık olarak 7'dir [23]. Bozulma ürünleri olan DDD ve DDE'nin ise DDT'ye göre log K_{ow} değerleri (DDE 6.51, DDD 6.02) daha düşüktür [24]. Yüksek log K_{ow} değerleriyle bu kirleticiler alıcının lipit fraksiyonunda

birikerek besin zincirine katılırlar ve biyolojik birikime neden olurlar [25]. Bunlara ek olarak DDT buhar basıncı 1.53×10^{-5} (25°C) olan yarı uçucu bir klorlu organik bileşiktir [26]. Ayrıca yarılanma ömrü ortam şartlarına bağlı olarak 2 ile 40 yıl arasında olduğu ifade edilmektedir. Metabolik bozulma ürünü olan DDE ve DDD'nin yarılanma ömrünün ise çok daha uzun olduğu tahmin edilmektedir [26].

Topraktaki DDT kalıntı kayıplarının dört farklı mekanizmayla gerçekleştiği öne sürülmüştür. Bu mekanizmalar; buharlaşma, su ile akış, bitkilerle giderilme ve kimyasal dönüşüm olarak sıralanabilir [27]. Bunlardan ilk üçü transfer mekanizmaları, sonuncusu ise biyotik ve abiyotik süreçlerin sonucudur. DDT biyotik ve abiyotik olarak bozularak DDD (dikloro difenil dikloroethan) ve DDE (Dikloro difenil dikloroetilen) metabolik türevlerine dönüşmektedir [28]. Toprak yüzeyindeki veya sediment tarafından absorbe edilmiş durumdaki DDT'nin fotooksidasyon ile bozulduğu bilinmektedir [29]. Topraktaki DDT'nin DDE'ye dönüşüm deneylerinde 90 gün güneş ışığına maruz bırakılan topraktaki DDT'nin %91'i DDE'ye dönüşürken bu oran karanlıkta bırakılan toprakta %65 olarak belirlenmiştir [30]. Biyolojik bozulma ise aerobik ve anaerobik şartlar altında bakteri, mantar ve algler gibi toprak mikroorganizmaları vasıtasıyla gerçekleşebilmektedir [31]. Biyolojik bozulması sırasında DDE ve DDD miktarları toprağın yapısına ve mikrobiyal kompozisyona bağlıdır. DDT'nin büyük bir kısmı aerobik ortamda DDE'ye dönüşürken, anaerobik ortamda DDD'ye dönüşmektedir [31]. Toprak ortamındaki DDT ağırlıklı olarak DDE ye dönüşür ve bu oluşan ürün (DDE), DDT ye göre çok daha kararlı ve uzun yarılanma ömrü olan bir bileşiktir [32].



Şekil 1.1. DDT ve Bozunma Ürünlerinin Kimyasal Yapısı

Rizosferde görülen p,p'-DDE mikrobiyal aktivite sonucu veya direk bazı enzimler yardımıyla DDT'nin biyolojik parçalanması sonucu oluşabilir. Zayed ve arkadaşları DDT'nin DDE'ye dönüşümünün 9-18 ay içinde %80 oranında olduğunu rapor etmiştir [33]. Benzer şekilde Andrea ve arkadaşları radyoaktif DDT'yi toprak numunelerine eklediklerinde 48 hafta sonunda toprak numunelerinde DDE ölçmeye başladıklarını belirtmişlerdir [34]. Toprak tipi ve karakterine bağlı olarak parçalanma hızı değişmesine rağmen, DDE tarımsal topraklarda yıllarca kalabilmektedir. Yapılan çalışmaların birçoğu toprakta, suda ve daha birçok ortamda bu kimyasalların halen var olduğunu göstermektedir. Grubumuzun Sakarya bölgesindeki tarımsal alanlarda DDT ve türevlerini araştırdığı bir çalışmada, bölgeden toplanan 33 toprak numunesinin hepsinde 0.23 ng/g to 123 ng/g kuru toprak olarak DDT bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra 120 ng/g'a kadar DDD ve 294 ng/g' a kadar DDE ölçümlenmiştir [14].

DDT ile kirlenmiş toprakların arıtılabilmesi için son yıllarda bilim insanları düşük sıcaklıklarda termal bozulma [35], mikrodalga ile ısıtma [36], yüzey aktif maddelerle yıkama [37], süper kritik sıvı ekstraksiyonu [38], sülfürik asit ile arıtımı [39] ve biyolojik giderim [40] gibi birçok metot üzerinde çalışmaktadırlar. Bu ekstraksiyon ve iyileştirme yollarıyla DDT topraktan ekstrakte edilmiştir. Topraktan arıtımı çok zor olan bu kirleticilerin giderimi için geliştirilen bu kadar yönteme karşın halen daha ucuz, kolay uygulanabilir ve etkili bir yöntem geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir. Bu yönde geniş alanlara uygulanabilirliği ve düşük maliyetleriyle fitoremediyasyon en etkili yöntemlerden biri olmaya adaydır.

Fitoremediyasyon, toprak, yeraltı suyu, hava, sediment ve yüzey suyundaki kirleticilerin arıtımında [41], bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal yeteneklerini kullanan, yerinde uygulanabilen bir arıtım ve iyileştirme metodudur [42]. Bitkiler çevre şartlarına ve gen tiplerine göre organik kirleticileri depolayabilir, sınırlandırabilir, uçucu hale getirebilir ve çeşitli oranlarda dönüştürebilirler (mineralize edebilir) [43]. Çevredeki organik kirletici yükünü giderebilmek için birçok fitoremediyasyon yöntemi tanımlanmıştır. Örnek olarak; fitoekstraksiyon (kirleticilerin bitki tarafından emilerek dokularında biriktirmesi), fitodegradasyon (kirleticilerin kimyasal modifikasyon işleminden geçerek daha zararsız hale

getirilmesi sonrasında depolanması ya da bertaraf edilmesi), fitovolitizasyon (toprak veya su ortamından alınan kirleticinin terleme yoluyla atmosfere bırakılması ya da daha uçucu bileşikler haline dönüştürülmesi) ve fitostabilizasyon (kirleticinin bloke edilerek veya substrat matrisine bağlanarak kirletici maddelerin biyolojik olarak kullanılabilirliğini azaltması) verilebilir [44]. Remedyasyon için seçilen hedef kirleticiye ve bitki sistemine bağlı olarak, bitkiler çeşitli mekanizmalarla ortamdaki kirleticiyi zararsız hale getirebilmektedirler.

Bitkilerde gerçekleşen fizyolojik süreçler insan kaynaklı kimyasalların bitkiler tarafından alımı için temeldir. Kökün 20-40 mm çevresinde bulunan boşluk suyu ve çözünmüş besinler bitki kökleri tarafından emilir. Boşluk suyunda bulunan DDT gibi antropojenik (insan kökenli) kimyasalların çoğunluğu bu kısımdan emilmektedir. Toprak boşluk suyundaki kullanılabilir hidrofobik kirletici oranı doğal ayrışma süreçleri dahil bir dizi faktör tarafından kontrol edilir. Doğal ıslanma ve kuruma çevrimiyle toprak organik maddesine yapışan hidrofobik organik kimyasalların adsorpsiyonu zamanla artmaktadır [45]. Yağış ile birlikte toprak matrisine giren su molekülleri toprak organik maddesinde bulunan hidrofobik kirleticilerin daha kuvvetli bir biçimde organik maddeye bağlanmasına sebep olur. Yeni kirlenmiş topraklara göre bu etkilere maruz kalmış olan kirleticiler daha az toksik, aynı zamanda bitkisel olarak kullanılabilirlik açısından daha zayıf hale gelir. Örneğin Scribner ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada 20 yıl boyunca bir herbisit olan simidazin kullanılmış olan toprakta yetiştirilen şeker pancarının inhibe olmadığı görülmüştür. Aynı tohumlar yeni simidazin eklenmiş toprağa ekildiğinde fitotoksisite belirtileri gözlenmiştir [46].

Literatüre bakıldığında bitkilerin kalıcı organik kirleticilerin giderimi ve stabilizasyonunda kullanılabileceği ile ilgili ilk ipucu, Hülster ve arkadaşlarının salatalık ve iki farklı kabak türü üzerinde dioksin ve furanların birikim miktarları ve yolları üzerinde yaptıkları çalışmada ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada salatalık bitkisinin bu kirleticileri etkin olarak hava yoluyla aldığı belirlenmiştir. Kabak türleri olan zucchini ve pumpkin bitkilerinde ise kirletici birikiminin kök aracılığıyla olduğunu ifade etmekle birlikte salatalığa göre daha fazla kirleticiyi bünyesinde

biriktirdiğini ortaya konulmuştur [47]. Isleyen ve arkadaşlarının aşılı bitkiler üzerinde yaptığı çalışmalarda elde ettikleri verilerde bunu destekler niteliktedir. Bahsi geçen çalışmada kullanılan aşısız kabak ve karpuzlarda DDX miktarı sırasıyla 253 ng/g ve 9 ng/g olarak ölçülürken kabak üzerine karpuz aşılanmış bitkilerde 1220 ng/g olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak biriktirici olan kabak bitkisinin kökü alıcı olmayan karpuz bitkisindeki birikim miktarını yaklaşık 136 katına çıkarmıştır [48]. Yapılan farklı bir çalışmada ise kök aracılığıyla alınan kirleticilerin sadece kök yüzeyine adsorpsiyon ile değil aynı zamanda absorpsiyon ile bitkinin üst kısımlarına da eriştiği gösterilmiştir. Bahsedilen çalışmada klordan ihtiva eden ortamda yetiştirilen bitkiler sonifikasyon işlemine tabi tutulan ve tutulmayan olarak karşılaştırıldığında bitkilerdeki birikim miktarında istatistiksel olarak farklılık olmadığı gözlemlenmiştir [49].

Genellikle kirletici konsantrasyonu bitkinin kök kısmında daha yüksek olup toprak üstü kısımdan bitkinin ucuna doğru gittikçe azalmaktadır. Kirletici konsantrasyonu bitkinin lipofilik yapılarına dağıldığında, yaprak gibi hava ile temas yüzeyi fazla olan dokularda daha düşük olmasına rağmen, bitkideki kirletici dağılımı toplam biyokütleyle göre normalize edildiğinde bitkinin toprak üstü dokuları önemli kirletici birikim kısmı haline gelir. White, bitkinin toplam biyokütlesindeki kök hacminin salatalık, kavun ve kabak (squash ve pumpkin)'ta %1,6 olduğunu çalışmasında ifade etmektedir [50]. Lunney tarafından yapılan bir başka çalışmada DDT ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen kabak (zucchini) bitkilerinde kökün, toplam biyokütlenin %7 sini oluştururken, toprak üstü kısmının ise biyokütlenin %93'ünü kapsadığını belirtmiştir. Buna göre kök dokusunda 2270 ng/g olarak ölçülen toplam DDT'nin 2040 ng'ı kök tarafından, gövde dokusunda 2290 ng/g'ın 35300 ng'ını bitkinin toprak üstü kısmında biriktiği gözlemlenmiştir [51].

Zucchini ve pumpkin'in ikisi de *Cucurbitaceae* (kabakgiller) ailesinin, *cucurbita* cinsinin *Cucubita pepo* türünün üyeleridir. Yapılan çalışmalara göre *Cucurbita pepo* ssp. *pepo* bazı türleri (zucchini, pumpkin, squash) DDT birikiminde önemli bir role sahip oldukları [50–53] ve bu özellikleri sebebiyle topraktan KOK arıtımında fitoremediyasyon bitkisi olarak görev alabilecekleri düşünülmektedir. Bu türlerin toprak üstü kısmının biyokütle büyüklüğü de hesaba katıldığında fitoremediyasyon

için uygun bitkiler olduğu görülmektedir. Lunney ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada zucchini ve pumpkin bitkilerinin toprak üstü kısımlarının yonca, çavdar çimi ve uzun boylu çayır otuna kıyasla %15-40 daha fazla toplam biyokütlesi olduğunu belirlemişlerdir [51]. *Cucurbita* cinsi bitkilerin yaprakları büyük yüzey alanına sahip olduğundan terleme miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Başka bitkilere oranla bu bitkilerdeki yüksek terleme oranı, yüksek oranlarda bitki özsuyu hareketine sebep olabileceği gibi, bitki özsuyu içinde çözünür kirleticilerin taşınım oranını da artabileceği düşünülmektedir. Buna karşın Isleyen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada benzer fizyolojik yapıda olan ve aynı familyadan gelen, alıcı olmayan karpuz bitkisindeki kirletici akışı 0,09 ng/h olarak ifade edilirken, alıcı olan kabak türündeki bu akış 127,1 ng/h olarak hesaplanmıştır [54]. Zucchini ve pumpkin gövdesindeki yüksek miktarlardaki DDT birikimi bu türlerin biyolojik birikim ve taşınım faktörü hakkında bize bilgi vermektedir. Biyolojik birikim faktörü (BBF) topraktaki kirletici miktarının bitkideki kök, gövde, yaprak ve meyve kısımlarına ne kadarının taşındığını ifade etmektedir (bitkideki kirletici miktarı/topraktaki kirletici miktarı). Yapılan çalışmalara bakıldığında zucchini ve pumpkin bitkileri için BBF'nün diğer bitkilere göre fazla olduğu görülmektedir [47,51,52,54]. Bunlara rağmen *cucurbita* yaprak morfolojisi ve yüksek terleme miktarı tam olarak bu bitkilerin alış potansiyellerinin sebebinin tam olarak açıklamaya yeterli değildir.

Kabakgiller (*cucurbitaceae*) ailesinden olan *cucumis* cinsi bitkiler, *cucurbita* cinsi ile yapısal olarak çok benzer olmasına rağmen klorlu organik kirleticileri biriktirme konusunda aynı benzerliği göstermezler. Yapılan bir çalışmada DDE ile kirlenmiş topraklarda yetiştirilen salatalık, kavun, su kabağı ve balkabağı bitkilerinin her biri için 3 farklı alttürü incelenmiştir. Bu çalışmaya göre tüm *Cucurbita* türleri (7,3-2900 ng/g aralığında) *Cucumis* türlerinden (1,2-572 ng/g aralığında) daha fazla DDE biriktirmiştir. Biyolojik birikim faktörlerine (kök/toprak) bakıldığında bir kavun türünün BBF 0.56 iken kabak türleri için bu değer 16'ya kadar çıkabilmektedir. Bununla birlikte *cucurbita* türü bitkiler kendi alttürlerinde de farklılıklar göstermektedir. Bahsi geçen bu çalışmada tüm alttürler arasında BCF 0.47 ile 16 arasında değişmektedir [50]. Buna ek olarak saha koşullarında DDE ile kirlenmiş alanda yetiştirilen kabak (zucchini) ve salatalığın fitoekstraksiyon yeteneklerinin karşılaştırıldığı farklı bir çalışmada, zucchini bitkisinin topraktaki DDE nin %1,3 ünü

biriktirdiği, bu kirletici miktarının %98'i toprak üstü kısımlarında olduğu, salatalık bitkisinin ise topraktaki DDE'nin %0.09'unu ekstrakte ettiği ve bu kirletici miktarının %83'ünün yine toprak üstü kısımlarında biriktiği belirtilmiştir [55].

White tarafından 2010 yılında yayımlanmış olduğu çalışmada *Cucurbita* türlerindeki BCF'leri sırasıyla 16 ve 1.7 olan zucchini ve squash türlerini kullanarak çapraz polenleme ile 3 yıl boyunca DDE birikiminin kalıtımsal olarak değişimini incelemiştir. İlk yıl ürettiği melezlerin (F1) DDE biriktirme potansiyellerinin anaç bitkilerden (zucchini ve squash) farklı olduğunu gözlemlemiştir. Alıcı olmayan tür olarak kullanılan squash'ın polenleri ile döllenmiş olan zucchini bitkisinden elde edilen hibritlerin anaç zucchini bitkisine göre %34-47 daha az DDE biriktirdiği belirtilmiştir. Alıcı tür olan zucchini bitkileriyle polenlenmiş olan squash bitkilerinden elde edilen bitkilerin ise anaç bitkiye oranla %490-370 daha fazla DDE biriktiği gözlenmiştir. Üretilen bu F1 bitkilerinin tekrar anaç bitkilerle polenlenmesi ile üretilen üçüncü jenerasyon (F1 BC) bitkilerinin ise DDE biriktirme potansiyellerinin F1 bitkilerine benzer olduğu görülmüştür [56]. Benzer şekilde hibrit bitkilerle yapılan bir çalışmada alıcı olan ve olmayan türlerin iki tür birbirleriyle döllenmesinde anaç olan zucchini bitkisindeki bitki özsuyundaki kirletici akışı 100 ng/sa olarak hesaplanmıştır. Bu bitkinin alıcı olmayan squash ile döllenmesi ile elde edilen F1 hibritlerindeki miktar ise 8,5 ng/sa, tekrar zucchini ile polenlenen F1 ile bitkisinden elde edilen F1 BC bitkisinde 17.32 ng/sa olarak belirtilmiştir [57]. Isleyen ve arkadaşlarının alıcı olan kabak üzerine aşıladıkları alıcı olmayan karpuz bitkileriyle yaptıkları çalışmada biyolojik birikim faktörleri (BBF), kabak için 16,6, karpuz 4,92, aşılı karpuzun ki 17,1 olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada bitki özsuyundaki kirletici miktarını kabak anacıyla aşılı karpuz bitkisinin 71 µg/l, aşılammış karpuzlarda 0,49 µg/l, aşılammış kabaklarda 141 µg/l olarak ölçmüşlerdir. Bu değişimin yapılan aşılama ile ortaya çıkan bitki fizyolojisindeki değişimden etkilendiğini ve bu durumda bitkideki kök ve bitkisi özsuyu arasındaki ilişkinin bitkideki kirletici birikme miktarında önemli rol oynadığına dikkat çekilmiştir. Bahsi geçen bu ilişki Otani ve Mattina tarafından yayınlan çalışmalarda da tutarlılık göstermektedir [58,59]. Otani ve Seike'nin aşılı bitkilerdeki kök anacının dieldrin ve endrin birikimi üzerinde etkilerini inceledikleri çalışmada, aynı kök anacı üstüne aşılammış farklı salatalık türlerinin toprak üstü dokularında küçük değişimler

görülürken, farklı kök anacı üstüne aşılana tek türün kirletici biriktirme miktarlarında ki değişimin çok daha fazla olduğu görülmüştür [58]. Benzer şekilde Mattina ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada salatalık üzerine kabak aşılı bitkilerin bitki özsuyundaki klordan miktarının kabak üzerine kabak aşılana ve aşılana kabak bitkileriyle benzer miktarda olduğunu gözlenmiştir. Aynı çalışma aynı zamanda salatalık üzerine aşılana karpuz bitkilerinin toprak üstü dokularında ve bitki özsuyundaki klordan birikim miktarının kök anacı olan salatalık bitkisiyle aynı olduğunu göstermiştir [59].

Yapılan çalışmalar zucchini ve pumpkin gibi bazı kabak türlerinin topraktaki PCB ve DDT gibi kalıcı organik kirleticileri önemli miktarda biriktirme yeteneği olduğunu göstermiştir [51,55,60]. Ayrıca bu kabak türlerinin köklerinden diğere türlere göre daha yüksek miktarda düşük moleküllü organik asit salgılandığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [59,61]. Mattina ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada mini rhizotronlar kullanılarak rhizosfer bölgesindeki toprak boşluk suyu toplanarak kirletici ve malonik asit, süksinik asit, malik asit, tartarik asit, sitrik asit gibi düşük moleküler ağırlıklı organik asit miktarları belirlenmiştir. Belirlenen düşük moleküllü organik asitlerin kirletici birikim miktarında minor etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Toprak boşluk suyundaki klordan miktarının rhizosfer bölgesindeki düşük molekül ağırlıklı organik asitlerin karboksil grupları etkisi ile artabileceği belirtilmektedir [59]. Yine de White ve Whitfield ve arkadaşlarının yaptıkları saha çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar topraktaki düşük biyoyararlanım miktarına dikkat çekerek *Cucurbita* türlerinin kalıcı organik kirletici fitoremediyasyon faktörünü kısıtlandığına işaret etmektedirler [50,62]. Toprak matrisindeki DDT'nin biyoyararlanımını, bu sayede bitkilerle alımını artırılmasıyla fitoremediyasyonu daha etkili ve uygulanabilir bir arıtma metodu durumuna getirilebilir. Toprağa eklenen yüzey aktif maddeler, mikorozal mantarlar, aktif karbon gibi ıslah maddeleri ile kirletici alış miktarının artırılabilceği düşünülmektedir.

Yüzey aktif maddeler genellikle bir kısmı hidrofobik, bir kısmı hidrofilik yapıda olan organik moleküllerdir. Hidrofilik kısımları sudaki çözünürlüğünü artırırken hidrofobik kısmı ara yüzlerinde konsantre olma eğilimindedirler. Bu özellikleri toprak matrisindeki DDT ile ilişkilendirilebilir [63]. Düşük konsantrasyonlarda

yüzey aktif madde molekülleri toprakta monomerler olarak mevcuttur. Ara yüzey alanlarının yüzey aktif madde molekülleriyle doygun hale gelmesi gibi, sulu yüzey aktif maddelerin konsantrasyon artışıyla hidrofobik çekirdek ve hidrofilik kabuklarıyla yüzey aktif madde molekülleri misellerin içine kümelenir [63–65].

Kalıcı organik kirletici molekülü emülsiyon damlacıkları oluşturan ve su bazlı çözelti içinde çözülen hidrofobik çekirdeğin içine dahil olur. Misellerin ilk oluşmaya başladığı bu konsantrasyon kritik misel konsantrasyonu (KMK) olarak bilinir ve yüzey aktif maddeye, sıcaklığa, pH ve iyonik kuvvete bağlı olarak değişir [63,65]. Düşük KMK değerlerinde çözünürlükte ufak artışlar gözlenmiştir ve yüksek KMK değerlerinde sudaki çözünürlüğün artışı saf sulu bir sistem içinde yüzey aktif madde konsantrasyonu ile doğru orantılıdır [66]. Misel oluşumu ve DDT'nin çözünmesi için gerekli olan yüzey aktif maddeler 0,1 ile 10 mM arasında değişen düşük KMK değerlerine sahiptir [65,67]. Yüzey aktif madde molekülleri, organik kirleticilerin topraktan ayrışmasına etki eder ve toprağın içerisindeki suda çözünmesini sağlar [63]. Örneğin 15 °C'de 7,5 mM çözünen trikloroetilen, 0,5 mM'lık yüzey aktif madde (sodyum dodesil sülfat) çözeltisinde aynı sıcaklıkta 150 mM çözünmektedir. Yüzey aktif maddelerle kirleticilerin çözündürme işlemi, yüzey aktif maddenin cinsine ve miktarına, kirleticinin hidrofobikliğine, toprak ve yüzey aktif madde etkileşimine ve kirleticinin toprakla temas süresine bağlıdır [68]. Remediyasyon uygulamalarında genellikle anyonik ve noniyonik yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Bu yüzey aktif madde grupları arasında topraktaki mikroorganizmalar üzerinde toksik etkileri ve farklı kirleticileri çözme yeteneği olarak farklılıklar bulunmaktadır. Noniyonik yüzey aktif maddeler bakteriler üzerindeki aktivitesi daha az iken anyonik yüzey aktif maddelerin düşük pH değerlerinde toprak bakterileri üzerinde toksik etki edebileceği düşünülmektedir [63]. Kile ve chiou noniyonik yüzey aktif maddelerin düşük KMK değerlerinde bile DDT'nin çözünürlüğünü arttırdığını, anyonik yüzey aktif maddelerin ise etkisinin olmadığını yaptıkları çalışmada göstermişlerdir [37]. Aynı çalışmada bu yüzey aktif maddelerin, hidrasyon küre ile iyonik grupların apolar bitişik zincirin büyük bir kısmına ulaşabildiği bu sayede DDT ve yüzey aktif maddelerin apolar grupları arasındaki moleküler kuvvetleri azalttığı hipotezini öne sürmüşlerdir [37]. Despande ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise noniyonik yüzey aktif maddelerin

hidrokarbonları çözme kapasitesinin anyonik yüzey aktif maddelerden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir [64]. Lu ve Zhu'nun PAH ile kirlenmiş topraklarda katyonik yüzey aktif maddelerle yaptıkları çalışmada bitkilerdeki kirletici oranının % 34-71 aralığında azalttığı gözlenmiştir [69].

Bunların dışında biochar ve aktif karbon gibi karbon içeriği yüksek olan maddelerin sediment ve toprağın yapısındaki organik kirleticilerin yerinde arıtımı ile ilgili çalışmalar son zamanlarda revaçtadır [70–74]. Organik maddelerin pirolizi ile elde edilen bu maddelerin toprağa eklenmesiyle kalıcı organik kirleticilerin bitkilere geçiş miktarını azalttığı görülmüştür [70,75]. Denyes ve arkadaşlarının PCB ile kirlenmiş topraklara biochar ekleyerek hazırladıkları saksılarda kabak ve toprak solucanı türlerindeki PCB birikim miktarlarını incelemiştir. Bahsedilen çalışmada 136 µg/g PCB içeren topraklarda biochar eklenen ve eklenmeyen toprak solucanları incelendiğinde dokularda %88 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada 136 µg/g ve 3.1 µg/g PCB içeren topraklarda biochar eklenen ve eklenmeyen topraklarda yetiştirilen kabak bitkilerinin kök dokularında yüksek konsantrasyonda yetiştirilenlerde %89, düşük konsantrasyonlarda ise %83 azalma olduğu belirtilmiştir. Aynı bitkilerin gövde dokularında ise köklere göre daha az bir etki göstererek sırasıyla %22 ve %54 azalma gözlemlenmiştir [70]. Benzer olarak Jakop ve arkadaşlarının yaptıkları bir başka çalışmada ise toz ve granül halindeki aktif karbonun toprağa eklenmesi ile toprağın yapısındaki PAH'ların bitkilerde ve toprak solucanlarındaki biyolojik birikim miktarlarına etkisi incelenmiştir. Bitkilerdeki biyolojik birikim miktarları aktif karbon eklenmeyen topraklara kıyasla, granül haldeki aktif karbon eklenenlerde %46, toz aktif karbon eklenenlerde ise %53 oranında azalmıştır. Bahsedilen çalışmada PAH ile kirlili toprağa eklenen granül ve toz halindeki aktif karbonun toprak solucanlarındaki biyolojik birikim faktörünü sırasıyla %43 ve %75 oranında azalttığı gözlenmiştir [75].

Aktif karbon ve biocharın her ikisi de kimyasal yapıları, yüksek gözeneklilik oranı ve geniş yüzey alanları ile yüksek sorpsiyon özelliğine sahip maddelerdir. Birçok çalışma aktif karbonun yüksek sorpsiyon kapasitesinin etkisinin sızıntı suyundaki hidrofobik kirletici miktarını ve taban organizmalarındaki biyoakümülyasyon miktarını azalttığını göstermiştir [73,74,76–79].

Benzer bir çalışmada toprağa eklenen kompost gübrelerin organik kirleticileri tutarak biyolojik yararlanılabilirliklerini azaltma yoluyla zehirli etkilerini azaltabileceği ortaya konulmuştur. Jiang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 8 mg/kg prometrine içeren toprakta 10 günlük yetiştirme periyodu sonunda ekinlerde klorofil içeriğinde azalma ve hasarlı membran lipid dokuları gözlemlenmiştir. Bu grup aynı toprağa ettikleri bitkilere %5'lik kompost haline getirilmiş domuz gübresi eklediklerinde bitkilerde prometrine'nin toksik etkisinin azaldığını belirlemişlerdir [80].

Literatüre bakıldığında toprağa eklenen organik maddelerin desorpsiyon etkisini arttırarak adsorpsiyonunu azaltabildiği görülmektedir. Arıtma çamuru (A.Ç) gibi çözünmüş ve çözünmemiş organik karbon eklenmesi aracılığıyla topraktaki pestisitlerin sorpsiyon ve desorpsiyonları büyük ölçüde etkilenebilir. Celis ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada kesikli denge tekniklerini kullanarak 4 tür arıtma çamurunun (katı, sıvı, kireçlenmiş ve kompost arıtma çamurları) ve bu çamurların çözünmemiş organik madde içeren sularının topraktaki atrazin üzerinde sorpsiyon ve desorpsiyon etkilerini incelemişlerdir. Arıtma çamuru eklenmesiyle topraktaki atrazin sorpsiyonunun kompost A.Ç > katı A.Ç > sıvı A.Ç > kireçlenmiş A.Ç olarak sıralandığı görülmüştür. Sellström ve arkadaşlarının yaptığı farklı bir çalışmada Polibromürlü difenileterler (PBDE) ile kirlenmiş topraklara 16 yıl boyunca düşük (20 ton/hektar) ve yüksek (60 ton/hektar) dozlarda arıtma çamuru uygulanan alanlarda toprak ve solucanlardaki kirletici miktarlarındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Toprakta ölçülen BDE miktarları referans, düşük ve yüksek dozajlı arıtma çamuru uygulanan alanlar için sırasıyla 0.12, 0.58, 0.84 ng/gr olarak ölçülmüştür. Aynı çalışmada toprak solucanlarının yağ dokularında ölçülen kirletici miktarları referans numunelere göre düşük ve yüksek dozajlı arıtma çamuru uygulanan alanlarda sırasıyla 3 ve 5 kat artmıştır [81].

Bu çalışma kapsamında ilk defa özel bir metot uygulanarak evsel atık su arıtma tesisinden alınan arıtma çamurundan EKKMI adı verilen madde üretilmiştir. EKKMI teriminin EKK kısmı Türkçedeki 'ekmek' fiilinden, MI kısmı ise maddenin patent başvuru sahibi Mehmet İşleyen'nin baş harflerinden gelmektedir. Organik madde içeriği yüksek olan bu maddenin, tarımsal alanlarda kullanılabilirliğinin kanıtlan-

bilmesi ile arıtma tesislerinin büyük problemlerinden biri olan arıtma çamuru için yeni bir kullanım alanı açılması hedeflerden biridir.

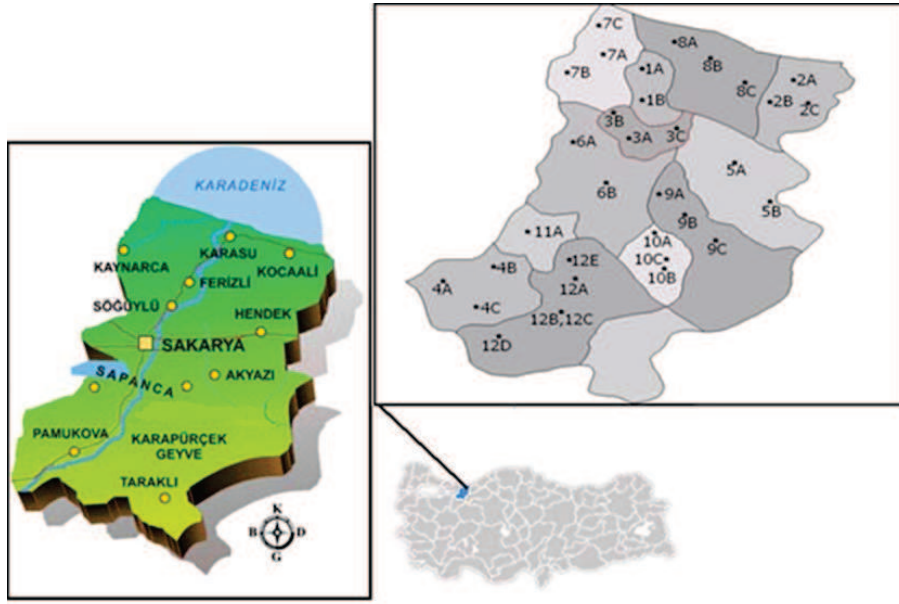
Fitoremediyasyonun uygun bir arıtma seçeneği olabilmesi için kirleticinin bitki içerisindeki hareketinin anlaşılması ve optimize edilmesi en önemli noktalardan biridir. Yapılan önceki çalışmalara bakıldığında bu ilişkinin kök, bitki özsuyu ve gövde ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak yapılan bu çalışmada EKKMI maddesinin ilavesi sonucunda bitkilerdeki büyüme ve DDX alım miktarını incelemek çalışmanın temel amaçlarındanr. Elde edilen sonuçları kök, bitki özsuyu ve gövde ile ilişkilendirerek, literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslamak ve anlamlandırmaya çalışmak çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT

2.1. DDT ile Kirlenmiş Alan

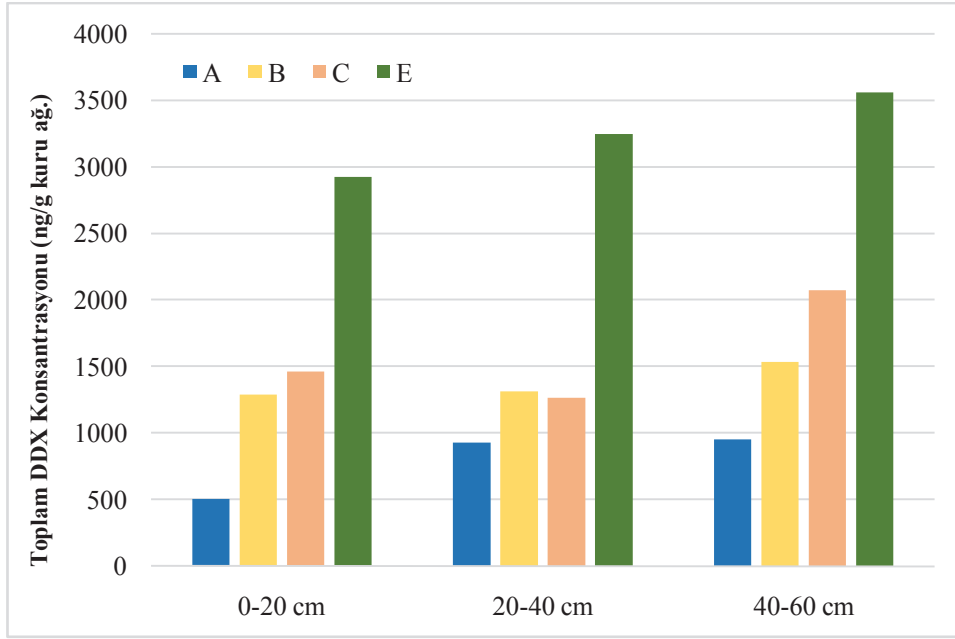
Çalışmamızda verilen p,p-DDT ve metabolik ürünleri olan p,p-DDD ve p,p-DDE konsantrasyonların ng/g kuru toprak olarak ifade edilmektedir. Ayrıca p,p-DDT, p,p-DDD ve p,p-DDE'nin toplamı DDX olarak verilmektedir. İşleyen ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan bir araştırmada, Sakarya'da tarımsal amaçlı kullanılan alanlardan toprak numuneleri toplanarak bu alanlardaki DDT ve metabolik ürünlerinin kalıntıları araştırılmıştır. Bahsi geçen bu çalışmada Türkiye'nin kabak üretiminin %3'lük bir kısmının gerçekleştiği Sakarya bölgesinde tarım arazilerden toplanan toprak numuneleri ile bölgenin DDX kirlilik profilinin çıkarılması amaçlanmıştır. Sakarya genelinde bütün ilçeleri kapsayacak şekilde tarım arazilerinden 33 adet toprak numunesi toplanarak analiz edilmiştir (Şekil 2.1). Yapılan analizler incelendiğinde bütün toprak numunelerinde ölçülen en düşük DDX değeri 1.15 ng/g ile Hendek ilçesinde, en yüksek DDX değeri ise 428 ng/g ile Karasu ilçesinde gözlenmiştir [14].

Yapılan çalışmada yüksek kirlenici konsantrasyonu ile dikkat çeken Karasu ilçesinin farklı noktalarından alınan toprak numuneleri incelendiğinde özellikle bir noktadan alınan numunenin p,p-DDE, p,p-DDD ve p,p-DDT konsantrasyonlarının diğer noktalara göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak bu alanda yapılan detaylı DDX ölçümleri ile bölgedeki kirliliğin bitki yetiştirme amaçlı kullanıma bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. 1987 yılından beri aktif olarak ekim yapılan noktadaki DDX miktarı 428 ng/g olarak ölçülürken, ekim yapılmayan noktalardan alınan toprak numunelerinde kirlenici konsantrasyonu 4,5 ve 1,25 ng/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1. Sakarya İlçelerinden Alınan Numunelerin Lokasyonları

Yaklaşık 30 yıldır bahçe olarak kullanılan bu alanın farklı nokta ve derinliklerden alınan toprak numunelerindeki DDX miktarı ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde 60 cm derinliğe kadar kirletici bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.2). İstatistiki açıdan birbirinden farklı miktarda kirletici ihtiva eden bu noktalardan (A, B, C ve E noktaları) özellikle E noktasının diğerlerine göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür ve bu noktanın 1987 yılından beri kabak ekilen kısım olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak Mattina ve arkadaşlarının klordan ile kirlenmiş fakat uzun yıllardır ekim yapılmayan alanda yaptıkları çalışmada 15-30 cm derinliğindeki kirletici miktarının 0-15 cm aralığına kıyasla çok daha düşük seviyede olduğu görülmüştür [2]. Mattina ve arkadaşlarının çalıştığı alan ile bahsi geçen bu alan arasındaki temel fark, Karasudaki alanda aktif olarak ekim yapılması, bununla birlikte her yıl alanda toprak sürme işlemi gerçekleştirilmesidir. Karasu bölgesinde bulunan bu alan her yıl tarım amaçlı sürüldüğü için devir daim yapan toprağın yüzeyindeki DDX'lerin 60 cm derinliğe kadar inmiş olduğu düşünülmektedir.



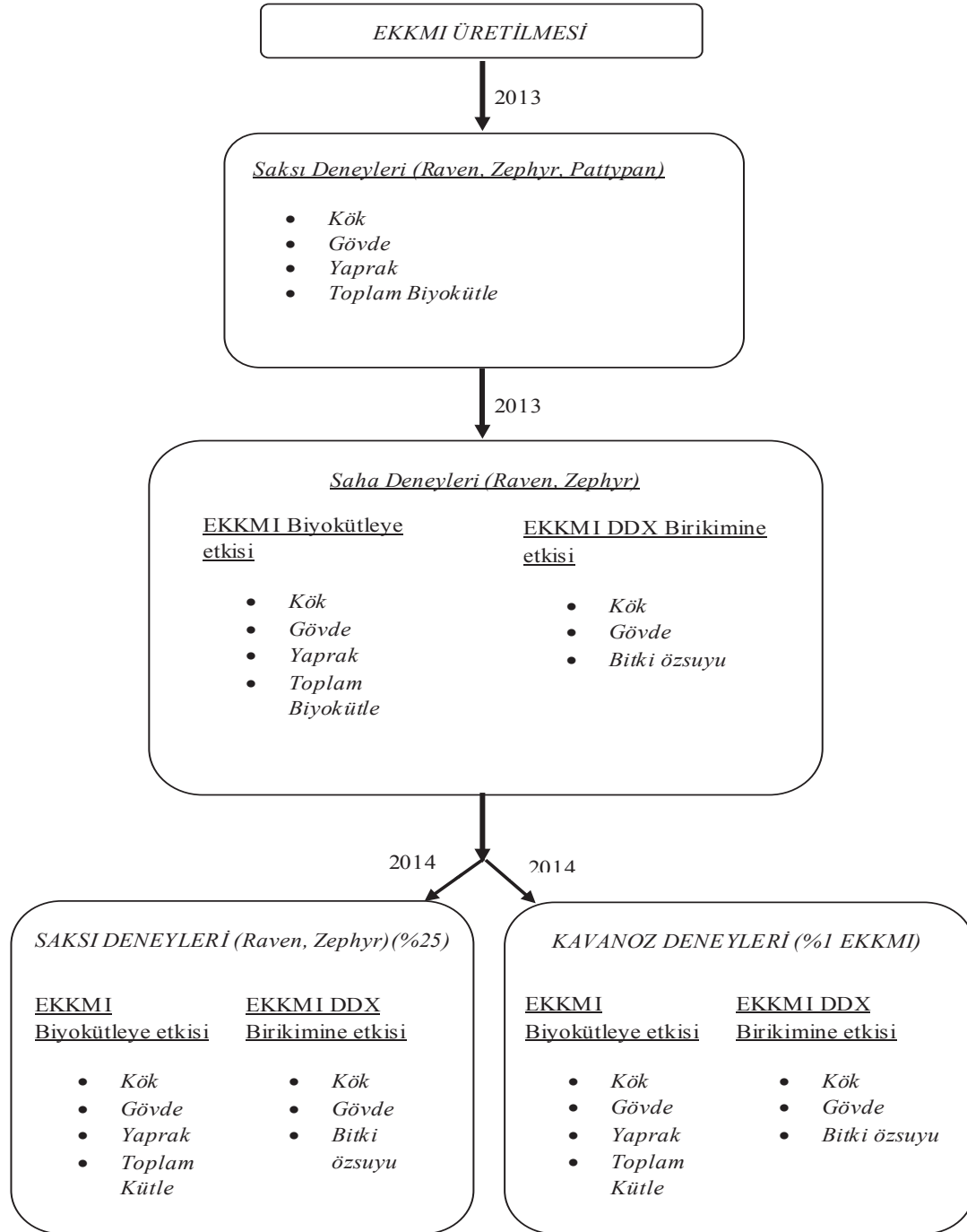
Şekil 2.2. Karasu Bölgesi Tarım Amaçlı Kullanılan Alanın Derinliğe Bağlı DDX Profili

0-20 cm derinliğindeki DDX konsantrasyonu noktalara bağlı olarak istatistiksel farklılıklar gösterirken konsantrasyon miktarları 504 ng/g ile 2925 ng/g aralığında değişmektedir. Bu derinlikteki kirletici miktarları p,p-DDE, p,p-DDD, p,p-DDT olarak ayrı ayrı değerlendirildiğinde E noktası haricinde toprak kirliliği kontrol yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında kalmaktadır (DDE için 1000 ng/g, DDD ve DDT için 2000 ng/gr olarak belirtilmiştir.) [82]. E noktasının 0-20 cm derinliğindeki p,p-DDE, p,p-DDD, p,p-DDT miktarları sırasıyla 1232 ng/g, 217 ng/g 1475 ng/g olarak ölçülmüştür. 2008 yılından beri ayrıntılı bir şekilde kirlilik profili çıkarılmış bu alanda sürdürülen çalışmalar kapsamında yapılan sera ve saha deneylerinin sonuçları uluslararası bilimsel makaleler şeklinde yayınlanmıştır [14,48,54,83]. Bu tez kapsamında saha ve saksı çalışmaları bu alandan alınan topraklar kullanılarak yapılmıştır.

2.2. Deney Setlerinin Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında arıtma çamurlarından özel bir prosesle üretilen ve EKKMI adı verilen maddenin bitkilerin biokütle üretimi ve kirletici birikim potansiyelleri farklı şartlar altında incelenmiştir.

Şekil 2.3'te yapılan çalışmanın genel bir özeti verilmiştir. EKKMI maddesinin üretilmesi ardından ilk yapılan çalışmalar 2013 yılında yapılan saksı deneyleridir. Bu çalışma kapsamında EKKMI nin bitkilerin biyokütleleri üzerine etkisi incelenmiş olup bitkilerin kök, gövde, yaprak ve toplam biyokütleleri üzerindeki artışları gözlemlenmiştir.



Şekil 2.3. Çalışmanın Genel Planı

Saksı deneylerinin ardından sahaya ekilen bitkilerde EKKMI'nin bitkilerin biyokütlelerinin yanı sıra kök, gövde ve bitki özsuyundaki kirletici birikimine etkisi de incelenmiştir. Sahadan alınan sonuçlara bağlı olarak EKKMI'nin DDX birikimine etkisini incelemek için saksılarda ve kavanozlarda ekimler yapılarak incelenmiştir.

2.2.1. Saha çalışmaları

Saha çalışmalarında ilk olarak, kullanılacak DDX ile kirlenmiş olan ekim alanı taş ve otlardan arındırılarak ekime uygun bir hale getirilmiştir. Bitkilerin ekileceği oyuklar 30cmx30cmx20cm boyutlarında hazırlanmış ve noktasal olarak kirletici miktarını belirlemek için her bir oyuktan toprak numunesi alınmıştır. Açılan oyuklar üç grup halinde sınıflandırılmıştır. Birinci gruba 500 gr EKKMI, ikinci gruba 1000 gr EKKMI eklenmiş olup üçüncü gruba herhangi bir ekleme yapılmamıştır. Bu çalışmada kullanılacak olan raven ve zephyr bitki türleri için ve her bir arıtma grubu 5 tekrarlı olacak şekilde toplam 29 adet oyuk ekim için hazır hale gelmiştir.

2.2.2. Saksıların hazırlanması

Yapılacak olan saksı ekimleri için Karasu ilçesindeki kirletici profili çıkarılmış olan alandan alınan yaklaşık 150 kg toprak laboratuara getirilmiştir. Getirilen toprak elenerek taş ve ot gibi maddelerden arındırılmıştır.

Ekim için hazırlanan saksıların her birinden ekim yapılmadan önce başlangıçtaki DDX konsantrasyonlarını belirlemek için toprak numunesi alınmıştır.

Bitkiler saksılara ekilirken DDX içeren toprakların yanı sıra her bir bitki türü için 3-5 tekrarlı olacak şekilde DDX içermeyen topraklardan oluşan kontrol grupları oluşturulmuştur. Kontrol gruplarının oluşturularak bitkilerin aynı şartlar altında DDX içeren ve DDX içermeyen topraklardaki gelişimlerini karşılaştırabilmenin yanı sıra aynı ortamdaki kontaminasyon şartlarını belirleyebilmek ve analizlerde kullanılacak olan DDX içermeyen numuneleri elde etmek amaçlanmıştır.

2013 yılında ilk yapılan deneylerde yüksek derecede alıcı (raven), orta düzey alıcı

(zephyr) ve alıcı olmayan (pattypan) üç farklı bitki türü kullanılmıştır. Her bir bitki türü için 6 tekrarlı olacak şekilde taş ve otlardan temizlenen DDX içeren toprak 7'şer kg olacak şekilde %0 ve %10 EKKMI eklenmesi ile saksılara doldurulmuştur.

2014 yılında yapılan deneylerde raven ve zephyr olmak üzere iki kabak türüyle çalışılmıştır. Laboratuvara getirilip yabancı maddelerden arındırılmış DDX içeren toprağa kütlece %25 oranında EKKMI eklenmiş ve karıştırılmıştır. Karışım ile her biri 2 kg olacak şekilde 20 adet saksı ekim için hazır hale getirilmiştir.

Kavanozlarla yapılan deneylerde 2014 yılı saksılarında olduğu gibi raven ve zephyr kabak türleri kullanılmış olup elenmiş olan DDX'li toprak kütlece %0 ve %1 EKKMI ile karıştırılarak 1 kg'lık kavanozlara 6 tekrarlı olarak doldurulmuştur.

2.3. Bitkiler

Çalışmalarda kirletici biriktirme potansiyeli yüksek tür olarak raven (*Cucurbita pepo* ssp *pepo*), orta düzey kirletici biriktirme potansiyeli olan zephyr (*Cucurbita pepo* ssp *ovifera*) ve kirletici biriktirme özelliği çok az olan pattypan (*Cucurbita pepo* var. *clypeata*) olarak 3 tür kabak kullanılmıştır. Özel olarak üretilmiş olan bu tohumlar Johnny's Selected Seeds firmasından temin edilmiştir. Tohumlar çok gözlü viyollere torf doldurularak hazırlanan çimlendirme ortamına ekilerek laboratuvarında kontrollü şartlar altında çimlendirilmişlerdir (Şekil 2.4). Tablo 2.1'de tez kapsamında yapılan ekimlerde kullanılan arıtma çeşitleri ve kullanılan bitkiler özetlenmiştir.



Şekil 2.4. Çimlendirilen Bitkiler

2013 yılında ilk defa üretilen EKKMI ile saksılarda yapılan deneylerde DDX'li toprağa eklenen %10 EKKMI, % 0 EKKMI ve DDX içermeyen topraklarla hazırlanmış olan kontrol grubu olarak 3 arıtma grubunda raven, zephyr ve pattypan bitki türleriyle çalışılmış olup toplam 48 adet bitki ekimi yapılmıştır. 37 günlük yetiştirme periyodu sonunda bitkiler kök, gövde ve yaprak olarak kısımlara ayrılarak hasat edilmiştir. Bu numunelerde sadece EKKMI bitkisinin bitkilerin biyokütle miktarlarındaki etkisi incelenmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. 2013 Saksılara Ekilen Bitkiler

Tablo 2.1. Çalışma Süresince Kullanılan Bitkiler

	Arıtma Türü	Bitki Türü (tekrar sayısı)			Toplam Bitki Sayısı
		Raven	Zephyr	PattyPan	
2013 saha	500 gr EKKMI	5	5	-	29
	1000 gr EKKMI	4	5	-	
	0 gr EKKMI	5	5	-	
2013 saksı	% 0 EKKMI	6	6	6	48
	% 10 EKKMI	6	6	6	
	Kontrol*	4	4	4	
2014 saksı	%0 EKKMI	5	5	-	26
	%25 EKKMI	5	5	-	
	Kontrol	3	3	-	
2014 kavanoz	%0 EKKMI	6	6	-	36
	%1 EKKMI	6	6	-	
	Kontrol	6	6	-	

*kontrol : DDX içermeyen toprakta ekilen bitkiler

Sahada (2013) raven ve zephyr olarak iki tür kabak bitkisiyle; EKKMI eklenmeyen, 500 gr EKKMI ve 1000 gr EKKMI eklenen olmak üzere 3 grup arıtma çeşidi ve her bir bitki türü ve arıtma türü için 5 tekrarlı olarak toplam 29 adet bitkiyle çalışılmıştır. Fakat sahada yapılan bu ilk deneylerde iklim şartlarına bağlı olarak bitkilerin ölmesi sonucu sahaya sera kurularak bitkilerin iklim koşullarından korunmuştur ve sera içerisine damla sulama sistemi yerleştirilerek bitkilerin düzenli olarak sulaması sağlanmıştır (Şekil 2.6). Kurulan serada, yapılan ilk ekimdeki aynı şartlarda ekilen bitkiler 42 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilerek kök, gövde, yaprak ve bitki özsuğu numuneleri toplanarak analizler için laboratuara getirilmiştir.



Şekil 2.6. Sahaya Kurulan Sera ve Damla Sulama Sistemi

2014 yılında üçer set olarak hazırlanan saksı ve kavanoz deneylerinde raven ve zephyr türleri kullanılmış olup, saksılar için 5 tekrarlı, kavanozlar için ise 6 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Saksılar için hazırlanan kontrol grupları 3 tekrarlı, kavanozlar için ise 6 tekrarlı olarak hazırlanmıştır. Saksı deneylerinde toplam 26, kavanoz deneylerinde toplam 36 adet bitki ekimi yapılmıştır. Saksılara ekilen bitkiler 36 günlük, kavanozlarda yetiştirilenler 39 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilmiştir ve bitkilerde gövde, kök ve bitki özsuğu olmak üzere 3 farklı kısımda DDX konsantrasyonları değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 2.7. Ekilen Bitkiler; A) Saksı (2014), B) Kavanoz (2014)

2.4. Bitkilerin Hasadı ve Numunelerin Toplanması

2.4.1. Bitki özsuğunun toplanması

Saksılarda ve kavanozlarda yetiştirilen bitkiler hasat öncesi iyice sulanarak toprak doymun hale getirilmiştir. Suyun süzülmesi bittikten sonra gövde kısmı toz ve topraktan temizlenip, bitki gövdesi toprağın yaklaşık 4 cm üzerinden kesilerek, saksılar yaklaşık 25 derecelik bir açıyla ters yatırılmıştır (Şekil 2.8). Kesilen kısım saf su ile yıkandıktan sonra şişelerin içine yerleştirilerek, şişenin içerisine yabancı madde girmeyecek şekilde parafilm ile kapatılmıştır. 24 saatlik özsuğu toplama süresinin sonunda toplam hacim ölçülerek bitki özsuğu akış miktarı ml/saat olarak hesaplanmıştır. Ağzuları teflon kapak ile kapatılan şişeler analiz edilene kadar derin dondurucuda saklanmıştır [52,54].



Şekil 2.8. Saksılardan Bitki Özsu Toplama

Sahada yapılan çalışmalarda ise bitkiler kesilip özsu toplamaya başlamadan önce iyice sulanıp toprak doymun hale getirilmiştir. Gövdenin üzerine yapışmış olan toz ve toprak parçaları temizlenerek toprağın 5-10 cm üzerinden kesilmiştir. Kesilen yüzey saf su ile yıkandıktan sonra sap kısmı şişenin içerisine yerleştirilerek ağzı parafilm ile içerisine yabancı madde girmeyecek şekilde kapatılmıştır (Şekil 2.9). 6 saatlik bitki özsu toplama süresinin sonunda toplam hacim ölçülerek bitki özsu akış miktarı ml/saat olarak hesaplanmıştır. Ağızları teflon kapak ile kapatılan şişeler analiz edilene kadar derin dondurucuda saklanmıştır.



Şekil 2.9. Sahadan Bitki Özsu Toplama

2.4.2. Bitki numunelerinin toplanması

Bitki özsu toplamaya uygun olarak kesilen bütün bitkilerin toprak üstü kısmı meyve, yaprak ve gövde olarak üç kısma ayrılarak kütle ölçümleri alınmıştır. Numuneler saf su ile yıkanarak üzerindeki toz ve topraklardan arındırılmıştır. Temizlenen numuneler parçalayıcıdan geçirildikten sonra uygun şekilde paketlenerek

ekstraksiyon öncesi derin dondurucuda uygun şartlarda bekletilmiştir. Bitki özsuyu toplama işlemi bittikten sonra kökler çıkarılarak topraktan arındırılmış ve saf su ile yıkandıktan sonra parçalayıcıdan geçirilip uygun şekilde paketlenerek ekstraksiyon öncesi derin dondurucuda uygun şartlarda bekletilmiştir.

2.5. Numunelerinin Ekstraksiyonu

Ekstraksiyon işlemleri süresince geri kazanımları, analiz doğruluğu ve kontaminasyonları belirleyebilmek amacıyla iç standart (IS), şahit numune, kör numune ve numune tekrarlarıyla çalışılmıştır. DDX li toprakların yanı sıra kirletici içermeyen topraklar ile ekim yaparak kontrol ve kör numuneler elde edilmiştir. Ekstraksiyon işlemleri süresince kaplardan ve laboratuvar ortamından oluşabilecek kontaminasyonları belirlemek için ekstraksiyon setleriyle birlikte sadece kullanılan çözücüler ile ekstraksiyon işlemleri yapılmıştır.

Çalışma süresince yapılan analizler sonucunda kirletici miktarları ng kirletici/ g kuru numune olarak ifade edilmiştir. Bu sebeple bütün numunelerin nem miktarları belirlenmiştir. Bu işlem sırasında aşağıdaki metot kullanılmıştır.

Nem miktarını belirlemek için kullanılacak olan kaplar sabit tartıma getirildikten sonra ağırlıkları (K) kaydedilmiştir. Bu kaplara 5 gr toprak/bitki numuneleri (K+N1) tartılmıştır. 3 tekrarlı olarak tartılan numuneler 105°C'de 24 saat etüvde bekletilmiştir. Bu süre sonunda etüvden alınan numunelerin tekrar tartımı (K+N2) alınmıştır. Bu işlemler sonucunda nem miktarları % olarak hesaplanmıştır.

$$\%NEM = \frac{(K + N1) - (K + N2)}{(K + N1) - K} \times 100 \quad (2.1)$$

2.5.1. Toprak numunelerinin ekstraksiyonu

Sahadan ve saksılardan alınarak laboratuara getirilen toprak numuneleri oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan numuneler 2 mm'lik elekten geçirilerek ot, taş gibi homojen olmayan yapılardan ayrıştırılmıştır.

Toprak numuneleri Isleyen ve arkadaşlarının 2012 yılında yayınladıkları makaledeki yöntem kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan metot kısaca şöyle özetlenebilir.

DDX miktarını belirlemek için her bir toprak numunesinden 3 tekrarlı olarak 40 ml'lik şişelere 3 gr toprak tartılarak, üzerine IS olarak 506,6 ng α -BHC eklenmiştir. IS eklenen numunelere 15 ml hekzan ilave edilerek teflon kapakla sıkıca kapatılarak etüvde 65 °C de 5 saat bekletilmiştir. Etüvden alınan numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra süzülerek 2 ml'lik GC şişelerine alınmıştır. Teflon kapakla kapatılan şişeler analiz edilene kadar buzdolabında bekletilmiştir [48].

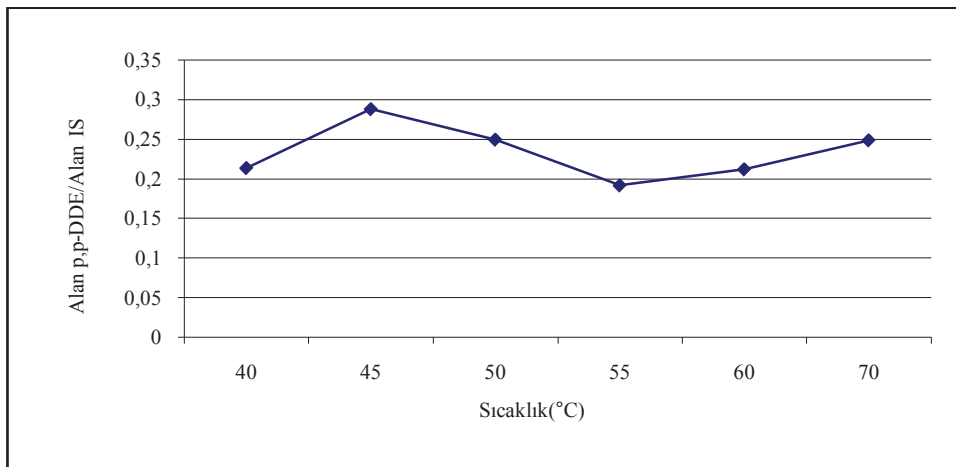
2.5.2. Bitki numunelerinin ekstraksiyonu

Bitki numuneleri (kök, gövde, yaprak ve meyve) hasat işleminden sonra parçalayıcıdan geçirildikten sonra ekstraksiyona hazır hale getirilmiştir. Bu numuneler 40 ml'lik şişelere yaş ağırlık olarak kök için 1 gr, diğer kısımlar için (gövde, yaprak ve meyve) 10 gr tartılmıştır. Tartılan numunelerin üzerine IS olarak 506,6 ng α -BHC eklendikten sonra 10 ml hekzan, 5 ml 2-propanol ilave edilerek ağzları teflon kapak ile sıkıca kapatılmıştır. Hazırlanan numuneler 65 °C de 2,5 saat ısıtım işlemi uygulandıktan sonra etüvden çıkarılarak oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler cam pamuğu yerleştirilmiş olan huni yardımıyla 500 ml'lik ayırma hunilerinin içine süzülmüştür. Numune şişesi içerisine tekrar 10 ml hekzan ve 5 ml 2-propanol konularak çalkalanmış ve ayırma hunisi içerisine eklenmiştir. Ayırma hunisindeki numune doygun Na_2SO_4 çözeltisi ve saf su ile birkaç kez temizlendikten sonra, Hekzan fazı önceden hazırlanmış, içerisinde 2 gr susuz Na_2SO_4 olan numune saklama şişelerine alınarak 24 saat bekletilmiştir. Bu işlem sonunda numuneler 2 ml GC şişelerine süzülerek analiz edilene kadar buzdolabında bekletilmiştir [83].

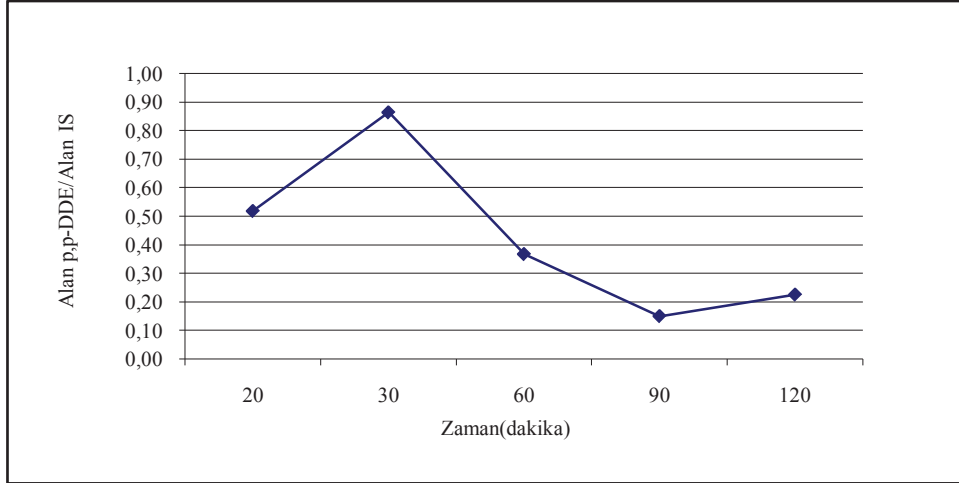
2.6. Bitki Özsuyundan DDX Ekstraksiyonu

Bitki özsularının analizinde düşük numune hacminde yüksek hassasiyet ile sonuç alınabilen [52] katı faz mikro ekstraksiyon (KFME) yöntemi kullanılmıştır. KFME metodu ekstraksiyon süresi, fiber türü, ekstraksiyon sıcaklığı, desorpsiyon süresi ve desorpsiyon sıcaklığı gibi kirleticilerin fibere bağlanma ve fiberden ayrılma faktörlerini etkileyen temel parametreler ayarlanarak optimize edilmiştir.

KFME metodu geliştirilirken Mattina ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada su ortamında DDX ölçümünde iyi sonuçlar verdiği ifade edilen 65 µm PDMS-DVB fiber kullanılmıştır [52]. Metodun optimizasyonu için metanol fazında DDX çözeltisi kullanılarak, 10 µg/l'lik 1ml DDX numuneleri ultra saf su içerisinde hazırlanarak geri kazanımı belirleme amacıyla IS eklenmiştir. Isı kontrollü blok kullanılarak hazırlanan su banyosu yardımıyla 40°C-70°C sıcaklık aralığında denemeler yapılarak maksimum geri kazanım elde edilen alan ölçülmüştür. Yapılan denemeler sonucunda ekstraksiyon sıcaklığı 45°C olarak belirlenmiştir (Şekil 2.10). Belirlenen optimum ekstraksiyon sıcaklığında, 10-120 dk aralığında farklı sıcaklıklarda çalışılarak ekstraksiyon süresi 30 dakika olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.11). Desorpsiyon süresini ve sıcaklığını belirlemek için yapılan tekrarlı çalışmalar sonucunda 300°C'de 5 dk'nın geri kazanım ve ölçüm limitleri açısından uygunluğu tespit edilmiştir.



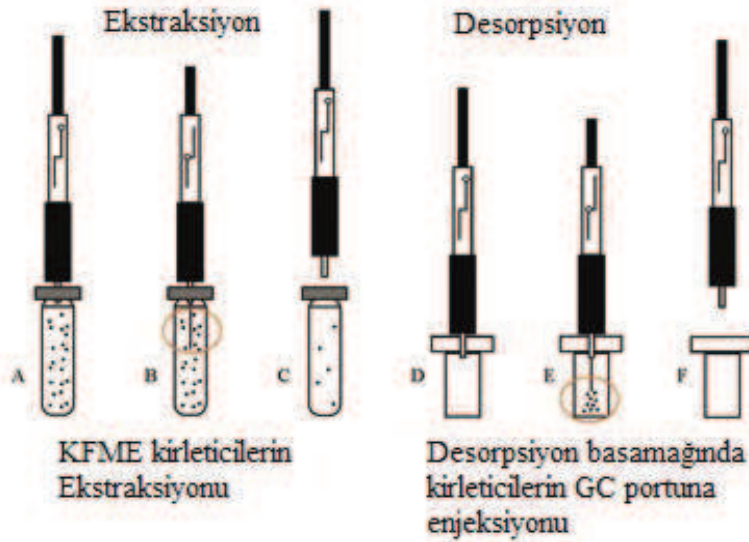
Şekil 2.10. SPME Metodunun Sıcaklığa Bağlı Optimizasyonu



Şekil 2.11. SPME Metodunun Zamana Bağlı Optimizasyonu

Optimize edilen KFME metodu ile GC- μ ECD kalibrasyonu için kirletici içermeyen bitki özsu numunelerine DDX ve IS eklenerek çalışılmıştır. KFME metodu için kalibrasyon eğrileri 990 μ l bitki özsu numunesine, IS ile birlikte 10 μ l kalibrasyon standartları eklenerek elde edilmiştir.

Şekil 2.12. Uygulanan KFME Metodu Basamakları



Şekil 2.12' de şematik olarak verilen optimize edilmiş olan KFME metodu şu şekilde özetlenebilir:

2 ml'lik GC şişesine transfer edilen bitki özsu numuneleri içerisinde 1.41 ng IS

eklenerek teflon sızdırmaz kapak ile kapatılmıştır. Fiber, hazırlanan numunenin içerisine yerleştirildikten (A) sonra 45°C'deki su banyosunda 30 dakika bekletilerek kirleticilerin fibere bağlanması sağlanmıştır (B). Süre sonunda fiber numune şişesinden çıkarılarak (C), 300°C'deki GC enjeksiyon portuna yerleştirilmiştir (D). 5 dakika boyunca enjeksiyon portunda tutulan (E) fiberin üzerindeki kirleticilerin desorpsiyonu tamamlandıktan sonra fiber enjeksiyon portundan uzaklaştırılarak (F) enjeksiyon tamamlanmıştır [54].

Bitki özsuundaki kirletici miktar tayini bitki özsuu fazında hazırlanmış olan 0; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 100; 200 µg/l lik DDX standartları kullanılarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuş ve DDX miktarları µg/L olarak hesaplanmıştır.

2.7. Numunelerin GC-µECD ile Analizi

Ekstraksiyon işlemleri tamamlanmış olan numuneler AGILENT marka 7890A model gaz kromatografisi cihazı, ⁶³Ni mikro elektron yakalayıcı dedektör (µECD), HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) kolon kullanılarak yapılmıştır. 1 µl enjeksiyon hacmi, 280°C enjeksiyon sıcaklığı, 300°C dedektör sıcaklığı ve taşıyıcı gaz olarak helyum 60 ml/dakika akış ile kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı 80 °C'de 2 dakika tutulup, 25 °C /dakika ile 190 °C çıkarılmış beklemeden 5 °C/dakika ile 280 °C çıkarılıp yine beklemeden 25 °C /dakika ile 300 °C'ye çıkarıldıktan sonra 2 dakika bekletilerek analiz tamamlanmıştır. Toplam analiz süresi 27,2 dakika olup α-BHC, 4,4-DDE, 4,4-DDD ve 4,4-DDT yakalanma zamanları sırasıyla 10.1, 16.07, 17.3 ve 18.5 olarak belirlenmiştir.

Kirletici miktarları karışım DDX karışım standardından hazırlanan 8 noktalı kalibrasyon eğrisi (0 µg/L, 31,25 µg/l, 62.5 µg/l, 125 µg/l, 250 µg/l, 500 µg/l, 1000 µg/l, 2000 µg/l) kullanılarak hesaplanmıştır. Toprak ve bitki numunelerindeki DDX miktarları ng/gr kuru ağırlık olarak verilmiştir.

2.8. İstatistiki Analiz

Bitki türleri ve kullanılan organik maddenin etkisinin olup olmadığını istatistiki açıdan belirlemek için STATGRAPHICS CenturionXV.I programı kullanılmıştır. Toprak numuneleri 3 tekrarlı, bitki numuneleri saha için 5, saksılar için 6 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Bu veriler kullanılarak varyans analizi (ANOVA) takip eden student-Newman-Keuls Çoklu karşılaştırma Testi kullanılarak istatistiksel analiz yapılmıştır. İstatistiksel analiz yapılırken değerlendirmeler bitki türlerine göre yapılmıştır. Örneğin EKKMI eklenen ve eklenmeyen bitkiler olarak raven, zephyr ve pattypan bitkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu şekilde değerlendirilen bitkilerin istatistiksel analiz sonuçları tablo ve grafiklerde farklı bitki türleri için küçük ve büyük harfler, bitkilerin kendi türü içindeki grupları belirtmek için ise farklı harfler kullanılmıştır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL BULGULAR

3.1. EKKMI Maddesinin Karakterizasyonu

Çalışma kapsamında etkisi incelenmek istenen, EKKMI olarak adlandırılan organik içeriği yüksek madde atık su arıtma tesislerinin büyük problemlerinden biri olan arıtma çamurundan üretilmiştir. Özellikle evsel atık su arıtma tesislerinin aktif çamuru kullanılarak üretilen malzeme, patent başvurusu inceleme aşamasında olduğundan maddenin üretimiyle ilgili tez kapsamında bilgi verilmeyecektir. EKKMI teriminin EKK kısmı Türkçedeki ‘ekmek’ fiilinden, MI kısmı ise maddenin patent başvurusu sahibi Mehmet İşleyen’nin baş harflerinden gelmektedir.

Üretilen EKKMI maddesinin toprakta kullanılabilirliğini incelemek için ağır metal analizleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra C/N oranını belirlemek için elementel analizi yapılmıştır.

EKKMI, arıtma çamuru kökenli bir madde olduğu için evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelikteki değerlere uygunluğu incelenmiştir. Yönetmelik uyarınca sınır değerleri belirlenen parametreler ve EKKMI de ölçülen değerler Tablo 3.1’ de verilmiştir.

EKKMI maddesinde ölçülen ağır metal değerleri sırasıyla Pb 33, Cd 0.78, Cr 180, Cu 95, Ni 73, Zn 623 mg/kg’dır. Bu değerler evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelikte belirtilen sınır değerlere uygunluk göstermektedir. Ayrıca EKKMI maddesinin çalışmalarda analizleri yapılacak olan DDE, DDD ve DDT kirleticilerinin olup olmadığı da incelenmiştir. EKKMI maddesinin analizi yapılan bu organik kirleticilerinden herhangi birini içermediği görülmüştür.

Tablo 3.1. EKKMI Maddesinin Analiz Sonuçları ve Yönetmelik Parametreleri

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg/kg kuru madde)	EKKMI ölçülen değerler (mg/kg kuru madde)
Kurşun	750	33.04
Kadmiyum	10	0.78
Krom	1000	180.6
Bakır	1000	95.57
Nikel	300	72.94
Çinko	2500	612.6
Civa	10	-

EKKMI maddesinin elementel analizi sonuçlarına göre kütleli olarak %29.9 karbon, %4.74 Hidrojen, %4.98 azot ve %0.81 kükürttten oluşmaktadır.

3.2. 2013 Saksı Deneyleri

Literatüre bakıldığında Lunney ve arkadaşlarının yaptıkları sera çalışmalarında hazırlanan saksılara eklenen 5 farklı organik maddenin biyokütle üzerinde farklı etkileri olduğu görülmüştür. Organik madde eklenmeyen saksılarda yetiştirilen bitkilerle kıyaslandığında vermikülit eklenen bitkiler yaklaşık 2 kat, torf ve granül aktif karbon eklenen bitkiler 1,5 kat daha fazla biokütle üretmiş olup perlit eklenen bitkilerde istatistiksel farklılık görülmemiştir [84]. Bu çalışmaya paralel olarak bizim çalışmamızda da organik madde eklenmesiyle bitki biyokütlelerinde de artışlar gözlemlenmiştir.

Üretilen EKKMI maddesinin biyokütle oranlarına etkisini incelemek için küttelece %10 EKKMI eklenerek ve EKKMI eklenmeden toplamda yedişer kg olan DDX'li toprakla doldurulan saksılarda raven, zephyr ve pattypan türleri yetiştirilmiştir. 38 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilen bitkiler kök, gövde, yaprak ve toplam biyokütle yaş ağırlık olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1. EKKMI Eklenen ve Eklenmeyen Raven Bitkileri

EKKMI eklenmesi ile gözle görülebilir bir şekilde bütün bitkilerde fiziki gelişmeler olmuştur. Şekil 3.1’de EKKMI eklenen ve eklenmeyen raven bitkilerinin hasattan hemen önce çekilen resimleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi EKKMI eklenen bitkiler klorofil açısından zengin toprak üstü dokuları, EKKMI eklenmeyen bitkilere kıyasla çok daha büyük olmaları ve meyve vermeleriyle dikkat çekmektedirler.



Şekil 3.2. EKKMI Eklenen ve Eklenmeyen Zephyr Bitkileri

Benzer biçimde aynı şartlar altında yetiştirilmiş olan Şekil 3.2’de verilen zephyr ve Şekil 3.3’te verilen pattypan bitkilerinin de EKKMI eklenmesiyle, EKKMI eklenmeyen bitkilere göre daha iyi geliştiği ve 37 günlük yetiştirme periyodu sonunda raven bitkilerinde olduğu gibi meyve verdiği görülmektedir.



Şekil 3.3. EKKMI Eklenen ve Eklenmeyen Pattypan Bitkileri

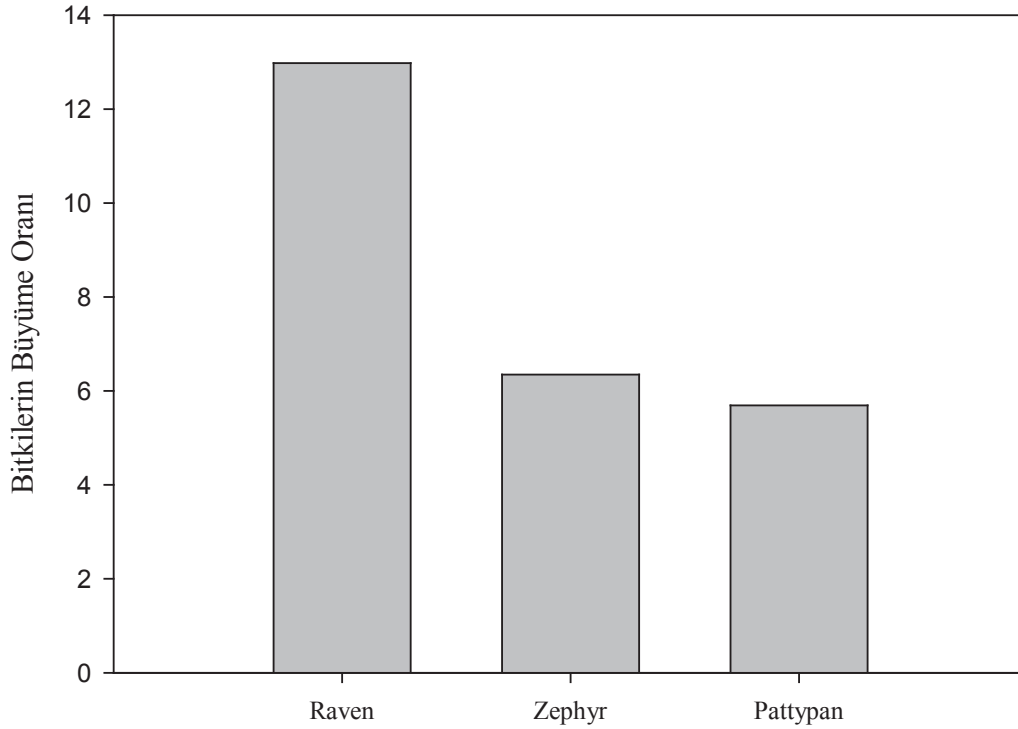
Tablo 3.2’de verilen verilere bakıldığında raven, zephyr ve pattypan türü kabaklarda ölçülen kök biyokütlesi EKKMI eklenmeyenlerde sırasıyla 2.33 gr, 3.93 gr, 9.15 gr, EKKMI eklenen bitkilerde ise 16.66 gr, 9.15 gr, 7.35 gr olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre EKKMI eklenmesiyle Raven bitkisinin köklerinde 7 kat daha fazla biyokütle üretilirken zephyr ve pattypan bitkileri için bu oranlar sırasıyla 2.3 ve 3.2 kat olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde bütün bitki türlerinin kök, gövde, yaprak ve toplam biyokütle miktarlarında anlamlı bir artış söz konusudur.

Tablo 3.2. Saksılarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütleleri

	Ortalama Ağırlık (gr)			
	Yaprak	Gövde	Kök	Toplam
Raven	11.63 (A)	5.49 (A)	2.33 (A)	19.44 (A)
Raven+ EKKMI	163.79 (B)	71.91 (B)	16.66 (B)	252.36 (B)
Zephyr	23.82 (a)	10.25 (a)	3.93 (a)	37.99 (a)
Zephyr+ EKKMI	209.65 (b)	55.59 (b)	9.15 (b)	274.39 (b)
PattyPan	17.16 (A)	9.38 (A)	2.27 (A)	28.80(A)
PattyPan+ EKKMI	110.89 (B)	45.74 (B)	7.35 (B)	163.98 (B)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Büyük harfler raven, küçük harfler Zephyr ve büyük kalın italik harfler pattypan türünün kendi içerisindeki istatistiksel farklılıkları ifade etmektedir.

EKKMI eklenen topraklarda yetiştirilen bitkilerin, kontrol bitkisi olarak yetiştirilen EKKMI eklenmemiş saksılarda yetiştirilen bitkilerin toplam biyokütlesine bölünerek bitkilerin büyüme oranları hesaplanmış olup bu oranlar Şekil 3.4'te verilmiştir. Buradaki sonuçlara bakıldığında EKKMI eklenmesiyle raven bitkisinin 13 kat, zephyr ve pattypan bitkisinin ise 6 kat daha fazla biyokütle ürettiği görülmektedir.



Şekil 3.4. EKKMI Eklenen Bitkilerin Eklenmeyenlere Göre Normalize Edilmiş Bitki Biyokütelleri

Genel olarak çeşitli besinler kullanılarak yetiştirilen bitkilerin daha fazla biyokütle üretmesi sebebiyle organik ve inorganik kirleticilerin toplam giderilen kirletici miktarlarının artacağı ve topraktaki kirletici miktarının gideriminde etkili seviyelere ulaşacağı düşünülmektedir. Örneğin White ve arkadaşlarının inorganik gübre kullanarak ham yağ ile kirlenmiş topraklarda yetiştirdikleri bitkilerin biyokütle oranının arttığını ve topraktaki kirletici miktarının gübre eklenmemiş bitkilerde olduğundan daha fazla bozunmaya uğradığını belirtmişlerdir [85]. Denyes ve arkadaşlarının 136 $\mu\text{g/g}$ toprağa biochar eklemesi yaparak yetiştirdikleri kabak bitkilerinde biyokütlerde artış görürken, aynı topraktaki bitkilerin PCB birikim miktarlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalara paralel olarak ürettiği

olduğumuz EKKMI maddesinin bitkilerin biyokütle miktarlarında ciddi oranlarda artış gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak çalışmanın bir sonraki adımında farklı yetiştirme koşulları altında EKKMI maddesinin biyokütle oranlarına etkisi ile birlikte bitkilerdeki kirletici birikim miktarlarına etkisi incelenmiştir.

3.3. 2014 Saksı Deneyleri

Yapılan saksı deneyleri için kirletici ihtiva ettiği bilinen Karasu bölgesinden alınan topraklar ile hazırlanmış olan saksılara ekilen bitkiler 36 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilmiştir. EKKMI eklenmeyen ve %25 EKKMI eklenen arıtma türleri kullanılarak EKKMI maddesinin raven ve zephyr bitki türlerinin kök, gövde ve bitki özsuundaki DDX birikime etkisi incelenmiştir.

3.3.1. EKKMI maddesinin biyokütle verimine etkileri

Saksılarda her bir arıtım türü için 5 tekrarlı olarak yetiştirilen bitkilerin ortalama kök, gövde ve toplam biyokütelleri gr cinsinden yaş ağırlık olarak verilmiştir. Her bir bitki türü için uygulanan arıtma çeşitlerine varyans analizini (ANOVA) takip eden student-Newman-Keuls Çoklu karşılaştırma Testi kullanılarak EKKMI maddesinin bitki biyokütlesine etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Ortalama toplam bitki ağırlıkları EKKMI eklenen raven türünde 77 gr, eklenmeyenlerde ise 21 gr arasında ölçülmüştür. Alıcı olmayan zephyr türünde ise EKKMI eklenen bitkilerin toplam ağırlıkları 87 gr, eklenmeyenlerde 39 gr olarak hesaplanmıştır. Her iki tür içinde EKKMI eklenen bitkilerin istatistiksel olarak daha fazla biyokütle ürettiği görülmüştür.

Tablo 3.3. Saksılarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütelleri

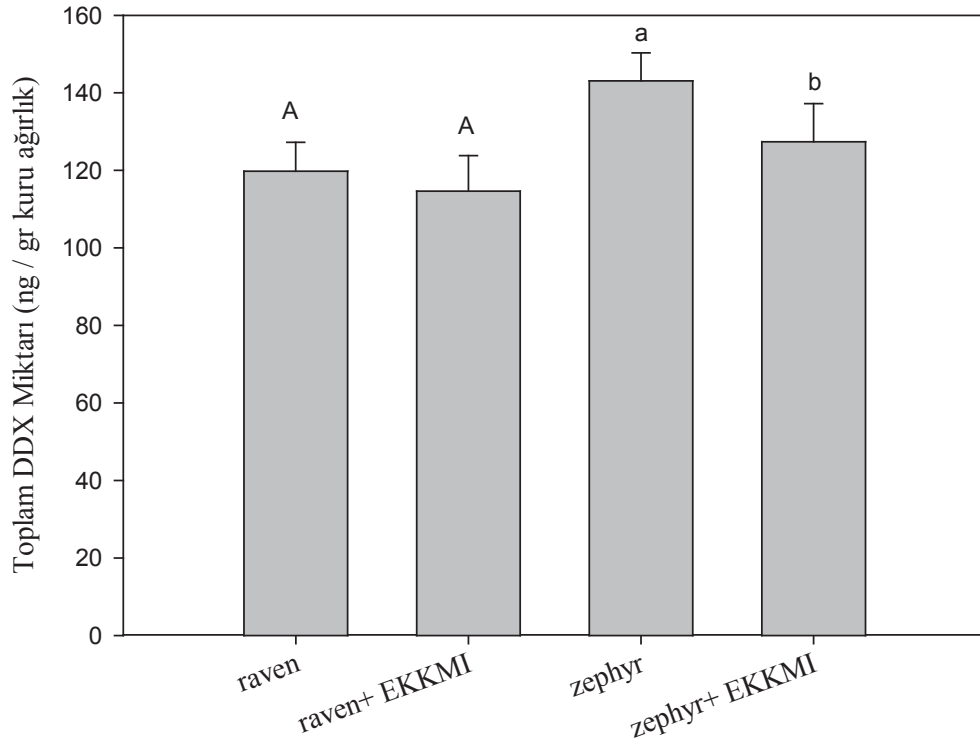
	Ortalama Ağırlık (gr)			
	Gövde	Yaprak	Kök	Toplam
Raven	15.20 (A)	5.13 (A)	0.99 (A)	21.32 (A)
Raven+ EKKMI	50.08 (B)	24.77 (B)	2.53 (A)	77.38 (B)
Zephyr	27.45 (a)	10.09 (a)	1.12 (a)	38.65 (a)
Zephyr+ EKKMI	55.75 (b)	29.02 (b)	1.83 (a)	86.60 (b)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

Bitkilerin kısımlarını ayrı ayrı incelediğimizde, EKKMI eklenen raven türünün gövdeleri ortalama 50 gr, EKKMI eklenmeyenlerin ise 15 gr olarak ölçülmüştür. Aynı bitkilerin yaprakları ise sırasıyla 25 gr ve 5 gr olarak ölçülmüş olup istatistiksel olarak bitkilerin toprak üstü kısımlarındaki gelişmenin EKKMI eklenen bitkilerde yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.3). Bitkilerin köklerine bakıldığında her iki tür içinde EKKMI eklemenin kök kütlesinde etkisi olmadığı görülmüştür. Alıcı tür olan raven’da olduğu gibi alıcı olmayan zephyr türünde de EKKMI eklemenin hem gövde hem de yaprak biyokütlesini arttırdığı belirlenmiştir. Kök/gövde oranlarına bakıldığında raven için yaklaşık 0.05, zephyr için 0.03 olarak belirlenmiş olup bu değerler aynı türler ile çalışmış olan white ve arkadaşlarının belirttiği değerlerle tutarlılık göstermektedirler [56].

3.3.2. Saksı topraklarındaki DDX konsantrasyonları

Ekimden önce her bir saksıdan alınan toprak numunelerinin 5 tekrarlı ekstraksiyon yapılarak ortalama DDX konsantrasyonları ng DDX/gr kuru toprak olarak Şekil 3.5’te verilmiştir. Raven türü bitkiler için EKKMI eklenmeyen saksılardaki ortalama konsantrasyon 120 ng/gr ve EKKMI eklenen saksılardaki ortalama konsantrasyon 115 ng/gr olarak hesaplanmış olup bu iki değer istatistiksel olarak birbirinden farklı değildir. EKKMI eklenen zephyr bitkilerinin yetiştirildiği saksılardaki konsantrasyon 129 ng/gr olup, bu değer EKKMI eklenmeyen saksılardaki ortalama değer olan 143 ng/gr’dan daha azdır.



Şekil 3.5. Saksı Topraklarındaki DDX Miktarı

3.3.3. EKKMI maddesinin DDX birikimine etkisi

Saksılarda EKKMI eklenmeden ve %25 oranında EKKMI eklenerek yapılan deneylerde bitkilerin kök ve gövde DDX (DDT, DDE ve DDD) birikim miktarları Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerdeki Kirletici Miktarları

		ng kirletici / gr kuru ağırlık			
		p,p-DDE	p,p-DDD	p,p-DDT	∑ DDX
Raven	Gövde	815.27	189.94	139.32	1144.52 (A)
	Kök	2874.77	231.67	177.66	3284.10 (A)
Raven+EKKMI	Gövde	23.82	5.43	n.d*	29.25 (B)
	Kök	378.18	48.73	31.86	458.78 (B)
Zephyr	Gövde	153.90	74.24	46.02	274.16 (a)
	Kök	2769.89	257.73	129.08	3156.71 (a)
Zephyr+EKKMI	Gövde	12.28	n.d	n.d	12.28 (b)
	Kök	364.94	38.26	17.34	420.54 (b)

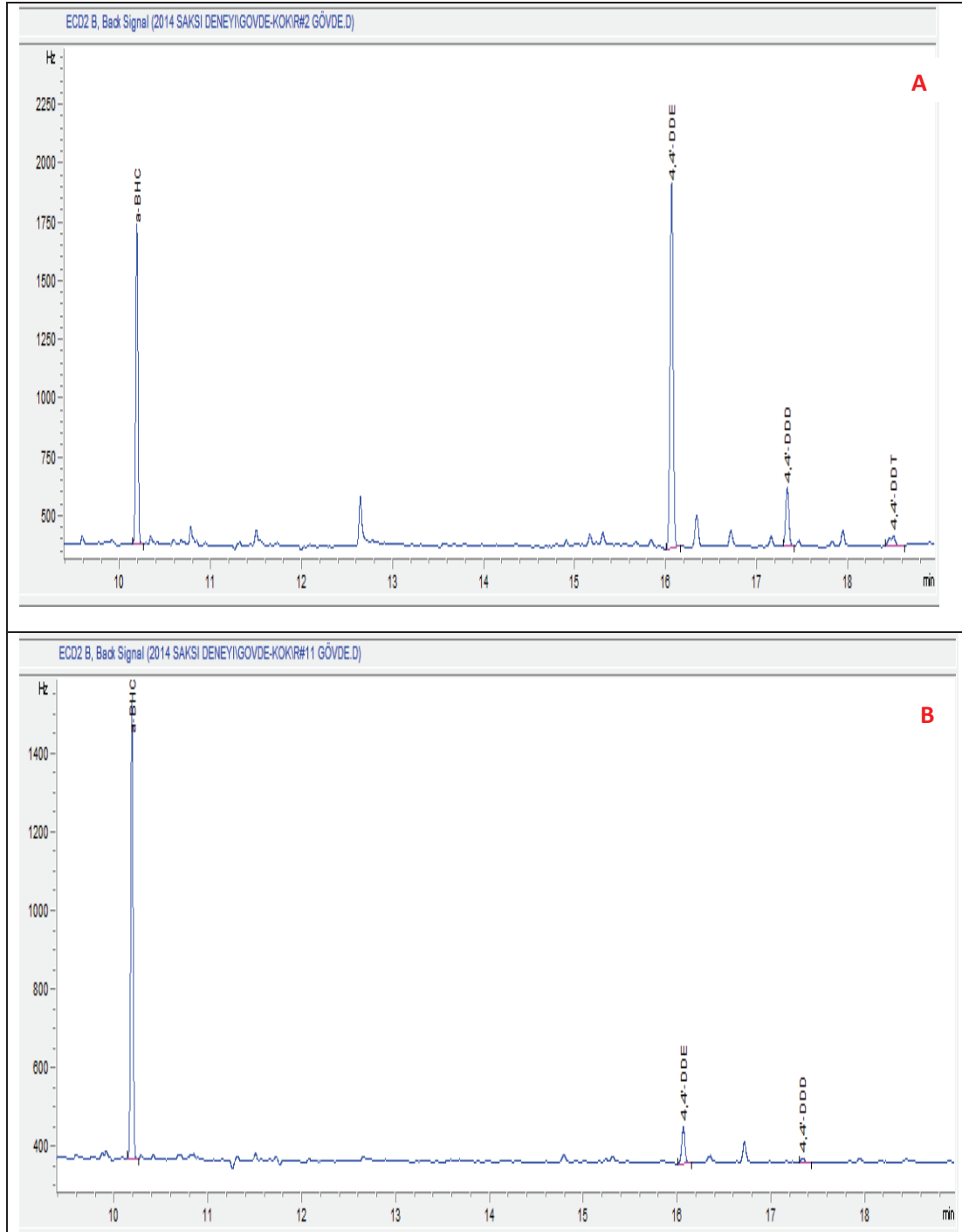
∑ DDX kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Normal yazılan harfler gövdeleri, kalın italik yazılanlar gövdeleri, büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

*n.d. dedeksiyon limitinin altında

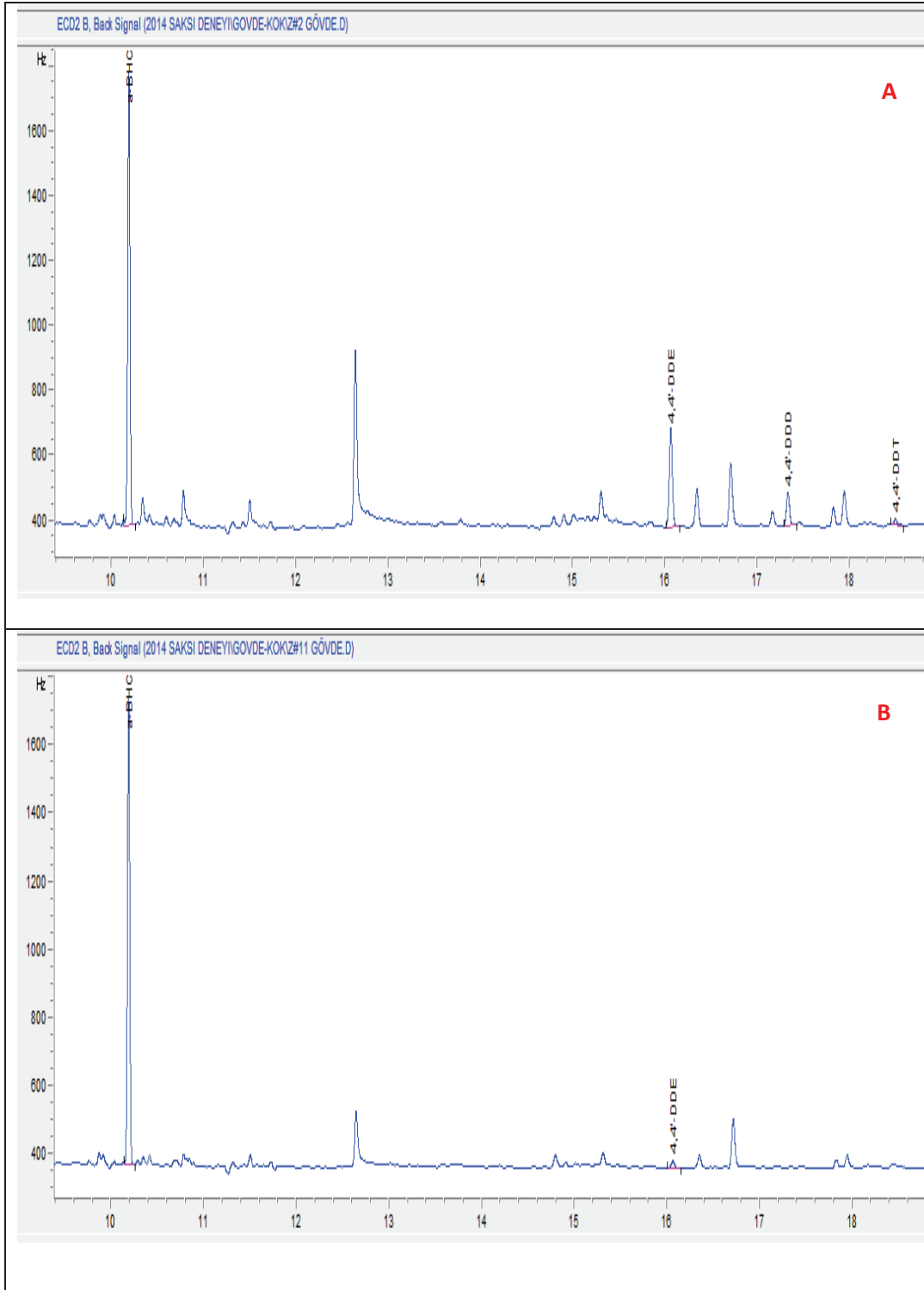
Alıcı tür olan raven bitkilerinin gövde kısmında ölçülen DDE, DDD ve DDT miktarları EKKMI eklenmeyen bitkilerde sırasıyla 815, 190 ve 139 ng/gr kuru ağırlık olarak ölçülmüş olup, EKKMI eklenen bitkilerde DDE 23.81 ng/gr, DDD 5.43 ng/gr ölçülmüştür. EKKMI eklenen bitkilerin gövdelerinde DDT dedeksiyon limitinin altındadır (1 ng/gr >) . Raven türünün kök bölgesine bakıldığında ise kirleticiler EKKMI eklenmeyen bitkilerde sırasıyla 154, 74, 46 ng/gr, EKKMI eklenen bitkilerde ise 378, 49, 32 ng/gr olarak belirlenmiştir. Toplam DDX miktarlarına bakıldığında EKKMI eklenmeyen raven türünün gövdesinde ortalama 1144.52 ng/gr, EKKMI eklenen bitkilerde ise yaklaşık 40 kat azalarak 29.25 ng/gr kuru ağırlık olarak ölçülüp EKKMI'nin bitki gövdesindeki DDX birikimini aşırı derecede azalttığı ilk defa deneysel verilerle ispatlanmıştır.

Şekil 3.6'da verilen kromatogramlarda EKKMI eklenmeyen (A) ve EKKMI eklenen (B) raven bitkilerindeki azalma miktarı açıkça görülmektedir. Kromatogramlar incelendiğinde iç standart olan α -BHC her iki kromatogramda da aynı oranlarda iken DDE ve DDD piklerinin ciddi oranda azaldığı görülmektedir, DDT pikinin ise dedeksiyon limitinin altında kaldığı için kromatogramda gözükmemektedir.

Alıcı olan raven türüne göre çok daha az miktarda kirletici biriktiren Zephyr türünün gövde kısmında ölçülen ortalama toplam DDX miktarları EKKMI eklenmeyen ve eklenen bitkilerde sırasıyla 274 ng/gr ve 12.28 ng/gr'dır. EKKMI eklenmeyen Zephyr bitkilerinin gövdelerinde DDT (46.62 ng/gr) ve bozunma ürünleri DDE (153.9 ng/gr), DDD (74.24 ng/gr) ölçümlenirken, %25 oranında EKKMI eklenen bitkilerde sadece DDE (12.28 ng/gr) ölçülmüş olup DDT ve DDD ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Şekil 3.7'de verilen kromatogramlarda EKKMI eklenmeyen (A) ve EKKMI eklenen(B) zephyr bitkilerinin gövdelerinde ki bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 3.6. Raven bitkilerinin gövde analiz kromatogramları A) EKKMI eklenmeyen B) EKKMI eklenen



Şekil 3.7. Zephyr Bitkilerinin Gövde Analiz Kromatogramları A: EKKMI eklenmeyen B: EKKMI eklenen

Zephyr bitkilerinin kök kısımlarında ölçülen kirletici miktarlarına baktığımızda EKKMI eklenmeyen bitkilerde DDE, DDD ve DDT sırasıyla 2769.89 ng/gr, 257.73 ng/gr, 129.08 ng/gr olarak ölçülmüştür. EKKMI eklenen bitkilerde ise bu değerler sırasıyla 364.94 ng/gr, 38.26 ng/gr, 17.34 ng/gr olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara

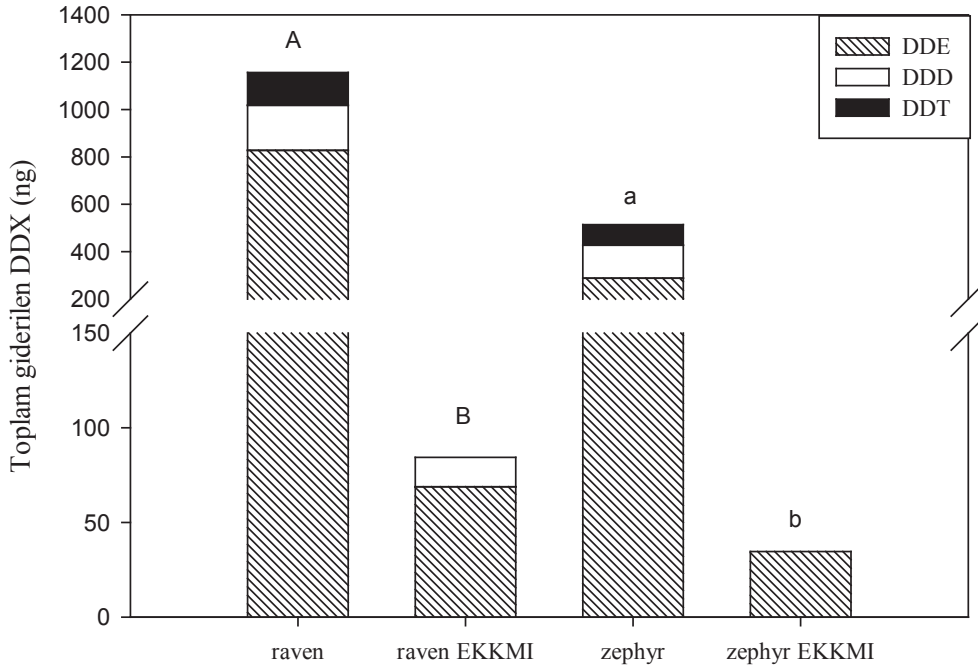
dayanarak istatistiksel olarak farklılık gösteren EKKMI eklenen bitkilerin kök bölgesindeki kirletici miktarının eklenmeyenlere kıyasla ortalama 7.5 kat azaldığı söylenebilir.

Saksı deneylerinde iki kabak türü için EKKMI eklenen bitkilerdeki DDX birikimi, eklenmeyen bitkilerdeki (kontrol bitkileri) birikimle kıyaslandığında gövdede %96, kökte ise %86 oranında azalmıştır.

Kirlenmiş topraklarda yetiştirilen bitkilerin genellikle kök dokularında biriken kirletici miktarı toprak üstü kısımlarına göre daha yüksek olmasına karşın üretilen biyokütle oranına bakıldığında toplam giderilen kirletici miktarı açısından toprak üstü organlar önemli kirletici deposu halini alırlar [50,51]. Bu bağlamda toplam biyokütle oranı göz önüne alınarak denklem 3.1 kullanılarak toplam giderilen DDX miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Giderilen DDX} = \frac{\text{ng kirletici}}{\text{gr kuru ağırlık}} \times \text{toplam biyokütle kuru ağırlık} \quad (3.1)$$

Yetiştirilen bitkilerin toplam ağırlıklarına göre gövde kısmında giderilen toplam DDX miktarı Şekil 3.8’de verilmiştir. Toplam giderilen DDX miktarlarında hesaplanan en yüksek değer 1156 ng ile EKKMI eklenmeyen raven bitkilerinin gövde kısmındadır. Yetiştirilirken %25 oranında EKKMI eklenen raven bitkilerinin gövdesinde ise bu değer 84.37 ng olarak hesaplanmıştır. EKKMI eklenmeyen raven türü bitkilerin gövde kısmında toplam DDX’in %72’si DDE, %16’sı DDD ve %12’si DDT olarak gözlemlenmiştir. EKKMI eklenen bitkilerde DDT ölçüm limitlerinin altında kalırken biriktirilen kirleticinin %82’si DDE, %18’i DDD olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak EKKMI eklenen bitkilerdeki toplam DDX miktarı yaklaşık 14 kat daha azdır.



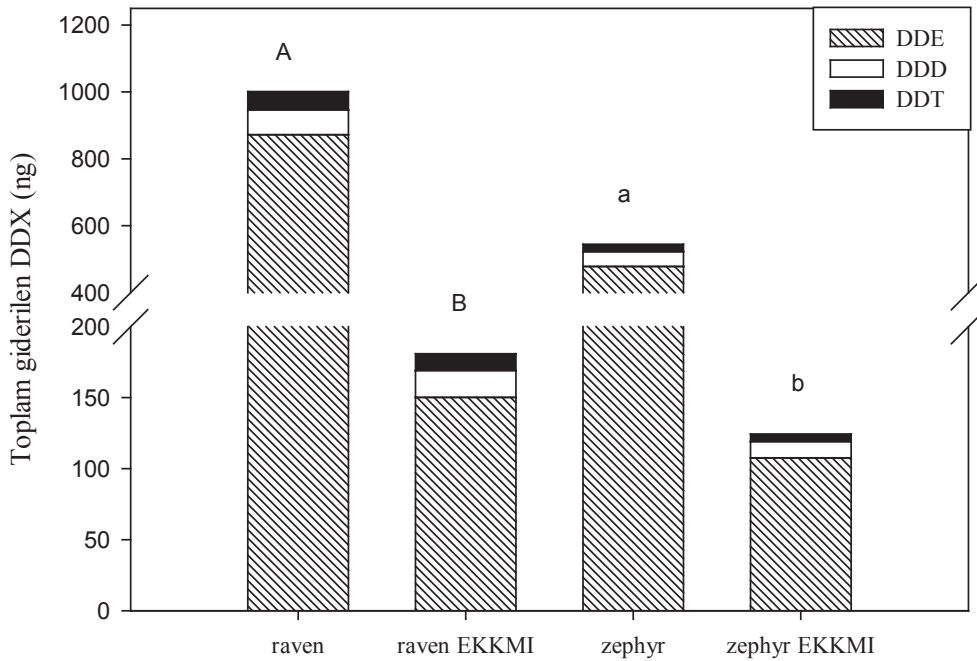
Şekil 3.8. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları

Zephyr türü bitkilerde, EKKMI eklenmeyen bitkilerin gövdelerinde toplam giderilen DDX miktarı 514.29 ng olarak hesaplanmış olup bu miktarın %56'sı DDE, %27'si DDD ve %17'si DDT olarak belirlenmiştir. EKKMI eklenen zephyr bitkilerinin gövdesinde ise DDT türevlerinden sadece DDE belirlenmiş olup 34.62 ng olarak hesaplanmıştır.

Hem raven hem de zephyr türünün gövde kısmında EKKMI maddesinin eklenmesiyle toplam giderilen DDX miktarı istatistiksel olarak 14 kat azalmıştır. Literatüre bakıldığında eklenen organik maddeye, bitki ve kirletici türüne bağlı olarak kirletici biriktirme miktarlarında farklı etkiler olduğu görülmektedir. Örneğin Aslund ve arkadaşlarının kabak bitkilerindeki DDT birikiminde anyonik ve noniyonik yüzey aktif maddelerin etkisini incelediklerinde bitkilerin dokularında biriken kirletici miktarlarında herhangi bir farklılık görmemişlerdir[91]. Farklı bir çalışmada inorganik gübre ve farklı oranlarda kompost karışımlarının kabak bitkisindeki pyrene birikimini incelediklerinde, %30 kompost eklenen bitkilerde eklenmeyenlere göre farklılık görülmezken, inorganik gübre ve %15 kompost karışımı eklenen bitkilerde pyrene miktarının yaklaşık 2 kat arttığı görülmüştür [92].

Denyes ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise biocharın kabak bitkisindeki PCB birikim potansiyellerini incelemişlerdir. Bu çalışmada toprağa kütlece %11 biochar eklenen bitkilerin gövde kısmında %54, kök kısmında ise %89 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir [70].

Bu çalışma kapsamında saksılarda yetiştirilen bitkilerin kök kısmında hesaplanan toplam giderilen DDX miktarları 1001.19 ng ile 124.36 ng arasında değişmektedir. Bitki kökündeki DDX birikimi EKKMI eklenmeyen bitkilerde 1001 ng olarak ölçülürken bu değer EKKMI eklenen bitkilerde 5.5 kat (180.85 ng) azalmıştır. Bu bitkilerin köklerindeki toplam DDX'in %85'i DDE, %9'u DDD ve %6'sı DDT olarak belirlenmiştir (Şekil 3.9).

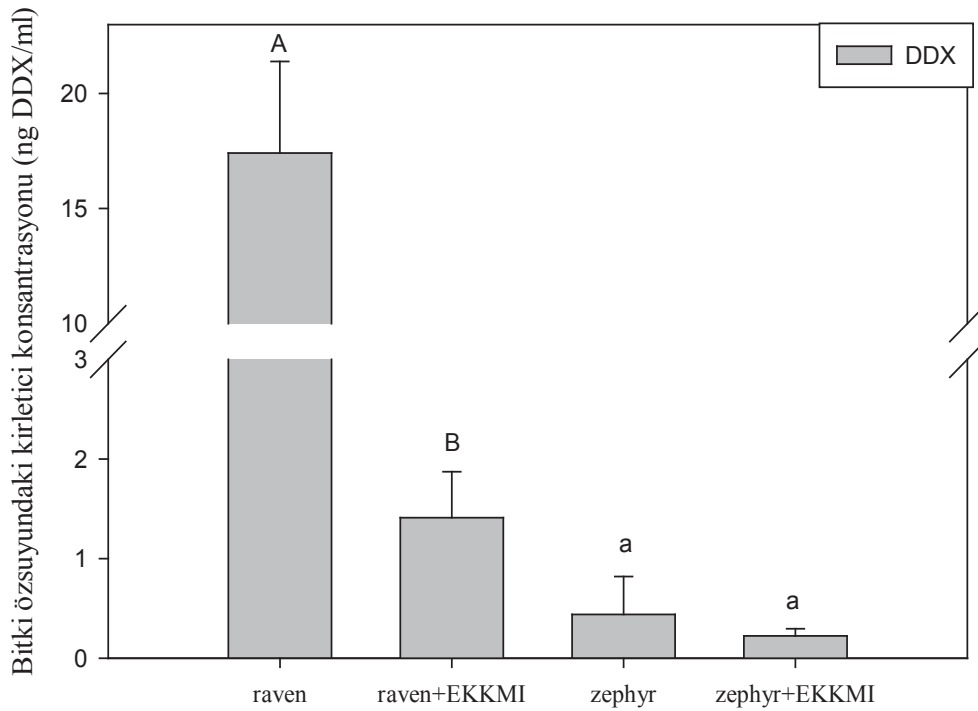


Şekil 3.9. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları

Benzer şekilde zephyr bitkisinin kökündeki DDX miktarındaki azalma EKKMI eklenmesiyle (124.36 ng), EKKMI eklenmeyen bitkilere (544.83 ng) kıyasla 4.4 kat olarak hesaplanmıştır.

Bromilow ve Chamberlain, toprağa eşit dağıldığı kabul edilen kirletici birim konsantrasyonları göz önünde bulundurularak bitki özsuyundaki miktarlarının

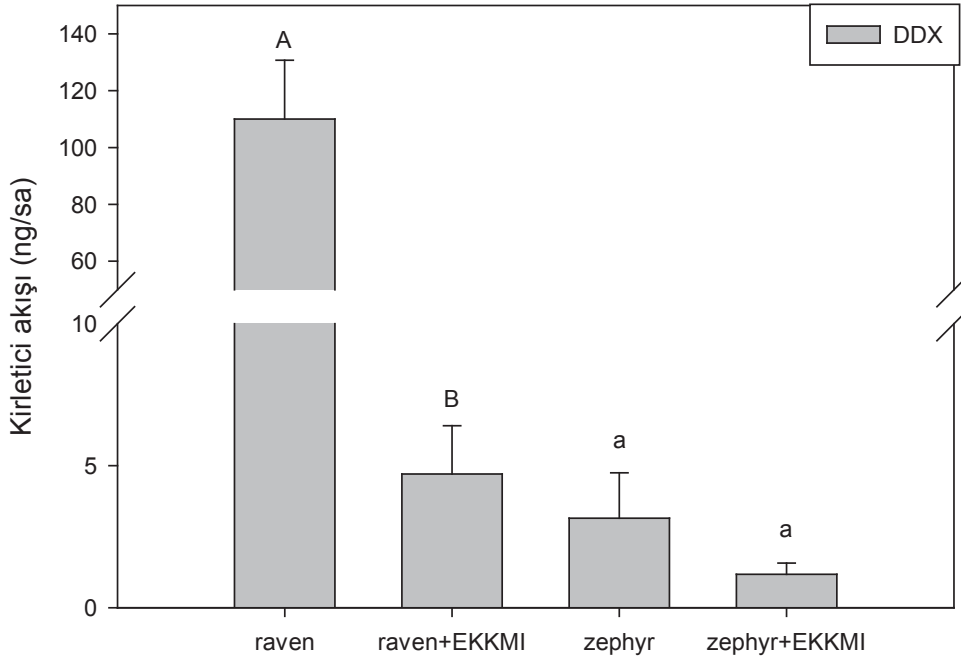
sınırları çizerek, topraktaki %0.5 ve %10 arasında organik madde miktarının bitki özsuyundaki farklı lifolik yapıdaki ($\log K_{ow}$ 1-4 arasında) kirleticiler üzerindeki etkisini modellemişlerdir. Modelden alınan sonuçlara göre organik madde içeriği arttıkça bitki özsuyundaki kirletici miktarları azalması beklenmektedir [93]. Bromilow ve Chamberlain arkadaşlarının yaptıkları modelleme çalışmasına paralel olarak bu çalışmada EKKMI eklenmeyen raven türü bitkilerde toplam DDX miktarı 17.42 ng/ml ölçülürken bu değer EKKMI eklenen bitkilerde 1.41 ng/ml'ye düşmüştür. EKKMI eklenmesiyle bitki özsuyundaki DDX miktarı %91 oranında azalma gösterip istatistiksel farklılık oluşmuştur. EKKMI maddesinin zephyr bitkilerinin bitki özsuyundaki DDX miktarlarına eklenmeyenlere kıyasla istatistiksel bir etkisi olmamıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Toplam DDX miktarları

Bitki özsuyundaki DDX konsantrasyonları farklılık gösterirken toplanan bitki özsuyu hacminin farklı olması da bitkinin üst kısımlarına aktarılan kirleticinin miktarının zamansal değişimini etkileyecektir. Belki de kirletici taşınımını ng/sa cinsinden ifade etmek daha doğru olacaktır. Bitki özsuyundaki taşınım EKKMI eklenmeyen raven bitkilerinde 110 ng/sa iken, eklenen bitkilerde bu değer %95 oranında azalarak 4.71

ng/sa'e düşmüştür. Böylece EKKMI eklenmesiyle bitkinin üst kısımlarına taşınan kirletici miktarında dramatik bir azalma olmuştur. Bu değerler zephyr bitkilerinde EKKMI eklenmeyen bitkilerde 3.15 ng/sa iken EKKMI eklenmesiyle yaklaşık 2.5 kat azalmış olmasına rağmen EKKMI eklenen ve eklenmeyen bitki türlerindeki kirletici taşınımında istatistiksel farklılık gözlenmemiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Kirletici Akış Miktarları

3.3.4. EKKMI maddesinin biyolojik birikim ve translokasyon faktörüne etkileri

Birçok çalışmada, kirletici miktarı en fazla kökte ölçülmüştür ve azalan miktarlarla gövde ve yaprağa doğru devam etmiştir. Kabak dokularında ölçülen kirletici miktarlarının direk olarak kıyaslanması topraktan gelen farklı konsantrasyon etkileri kafa karıştırıcı sonuçlara sebep olabilmektedir. Mattina ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada 0.37 ile 4.6 mg/kg aralığında klordan içeren topraklarda yetiştirilen bitkilerdeki kirletici miktarı topraktaki miktarın artmasıyla lineer olarak arttığı görülmektedir [90]. Bu durumda topraktan gelen sapsmaları engelleyebilmek için biyolojik birikim faktörlerini (BBF) hesaplamak gerekmektedir. BBF bitki kısımlarında ölçülen kirletici miktarının toprakta ölçülen kirletici miktarına bölünerek hesaplanmaktadır (Denklem 3.2). Biyolojik birikim faktörü (kök ve

gövde) farklı bitkilerde veya farklı arıtma türleri uygulanmış bitkilerde direk olarak kıyaslama olanağı sağlayan bir parametredir.

$$BBF = \frac{\text{Bitki Dokusu}_{DDX}}{\text{Toprak}_{DDX}} \quad (3.2)$$

Bu çalışma kapsamında biyolojik birikim faktörleri, topraktan gelen DDX konsantrasyon farklılıklarını ortadan kaldırmak için hesaplanmıştır (Tablo 3.5)

Raven türü bitkilerin gövde kısımlarında, EKKMI eklenmeyen arıtma türünde ortalama BBF 9.63, EKKMI eklenen bitkilerde ise 0.26 olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak EKKMI eklenen raven bitkilerindeki biyolojik birikim miktarı %97 oranında azalmıştır. Aynı bitkilerin kök ve bitki özsuuna baktığımızda gövdelerde olduğu gibi biyolojik birikim faktörlerinde istatistiksel olarak azalma olduğu görülmektedir. EKKMI eklenmeyen bitkilerin köklerindeki oran ortalama 27.81 iken, eklenen bitkilerde bu oran 4.09 olarak hesaplanmış olup biyolojik birikim faktörlerinde %85 oranında azalmıştır. Benzer şekilde EKKMI eklenmeyen raven bitkilerinin bitki özsuundaki biyolojik birikim faktörü ortalama 0.145, EKKMI eklenen bitkilerde ise bu değer %91 azalarak 0.012'ye inmiştir.

Tablo 3.5. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Biyolojik Birikim Faktörleri (BBF) ve Topraktaki DDX Miktarları

	Topraktaki DDX miktarı (ng / gr kuru ağırlık)	BBF		
		GÖVDE	KÖK	BİTKİ ÖZSUYU
Raven	119.80 (A)	9.63 (A)	27.81 (A)	0.145 (A)
Raven+EKKM	114.63 (A)	0.26 (B)	4.09 (B)	0.012 (B)
Zephyr	143.11 (a)	1.89 (a)	21.77 (a)	0.0030 (a)
Zephyr+EKKMI	129.17 (b)	0.10 (b)	3.26 (b)	0.0018 (b)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

Zephyr türü bitkilerde de aynı durum geçerliliğini koruyarak EKKMI eklenen bitkilerin bütün kısımlarında (gövde, kök, bitki özsu) biyolojik birikim faktörlerinde anlamlı azalmalar gözlemlenmiştir. Örneğin EKKMI eklenen zephyr

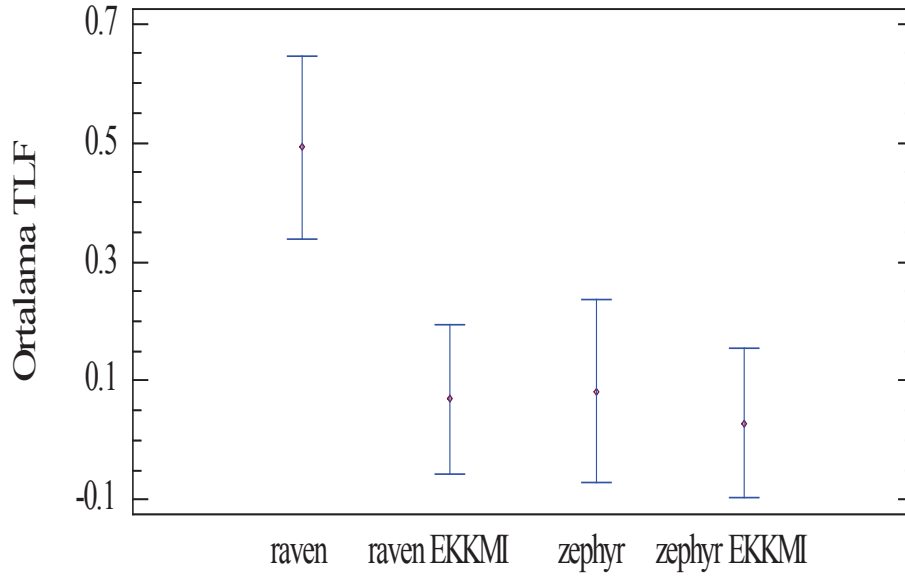
bitkisinin gövde kısmında %94 oranında azalarak 1.89'dan 0.10 değerine düşmüştür. Benzer şekilde aynı bitkilerin kök kısmında EKKMI eklenmeyen bitkilerde 21.77 olarak belirlenen biyolojik birikim faktörü, %85'lik bir azalma ile EKKMI eklenen bitkilerde 3.26 olarak hesaplanmıştır.

Bitkilerin kirlenici birikim potansiyellerinin yüksek yani hiperakümülatör olduğunu karar vermek için iki farklı kritere bakılmaktadır. Bunlardan birincisi, gövdedeki kirlenici konsantrasyonunun diğer bitkilerin gövdelerindeki kirlenici miktarlarından 2 kattan fazla kirlenici bulunması gerekmektedir. İkinci ise gövde de ki biyolojik birikim faktörünün 1'den büyük olması gerekir ($BBF > 1$) [94]. Bu tanım göz önüne alındığında EKKMI eklendiğinde hem güçlü bir alıcı olan raven, hem de zayıf alıcı olan zephyr türünde biyolojik birikim değerleri 1'in altına inmiştir. Bu sonuç EKKMI maddesinin bitkilerdeki kirlenici birikim potansiyelindeki indirgeyici özelliğinin ne derece kuvvetli olduğuna işaret etmektedir.

Bitkilerin fitoekstraksiyon verimliliğini belirlemek için diğer bir önemli değer translokasyon faktörüdür. Translokasyon faktörü kökten, bitkinin toprak üstü dokularına aktarılan kirlenici miktarını belirlemek için kullanılır (Denklem 3.3).

$$TLF = \frac{BBF_{Gövde}}{BBF_{Gövde}} \quad (3.3)$$

Translokasyon faktörlerine (TLF) bakıldığında EKKMI maddesinin kirlenicinin bitkiye geçişini engellediği daha açık bir şekilde görülmektedir. Çalışmada hesaplanan translokasyon faktörleri EKKMI eklenmeyen raven bitkilerinde 0.49, EKKMI eklenen raven bitkilerinde 0.07, EKKMI eklenmeyen zephyr bitkilerinde 0.08, EKKMI eklenen zephyr bitkilerinde ise 0.03 şeklinde sıralanabilir



Şekil 3.12. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Translokasyon Faktörleri

Şekil 3.12’de de görüldüğü gibi EKKMI eklenen raven bitkilerinin translokasyon faktörleri eklenenlere göre %85 oranında daha düşüktür. Bu sonuçlara dayanarak yetiştirilirken köklerine EKKMI eklenen alıcı tür olan raven bitkilerinin kök kısmından gövdeye geçen kirletici miktarı EKKMI etkisiyle kirletici biriktirme potansiyeli çok düşük olan zephyr türüne eşdeğer olacak kadar düşmüştür.

3.4. 2014 Kavanoz Deneyleri

Kavanoz deneylerinin saksılardakilerden farkı, saksıların altında delikler olması ve kavanozlarda olmamasıdır. Kavanozların altında delikler olmaması bitkilerin kök bölgesinin alttan hava alma oranını azaltırken ve sulama suyunun süzülüp uzaklaşmaması bitkilerde farklı bir stres etkisi uygulamıştır. Yapılan kavanoz deneyleri için kirletici ihtiva ettiği bilinen Karasu bölgesinden alınan topraklar ile hazırlanmış olan kavanozlara ekilen bitkiler 39 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilmiştir. EKKMI eklenmeyen ve %1 EKKMI eklenen arıtma türleri kullanılarak EKKMI maddesinin raven ve zephyr türlerinin kök, gövde ve bitki özsuyundaki DDX birikime etkisi incelenmiştir.

3.4.1. EKKMI maddesinin biyokütle verimine etkileri

Kavanozlarda her bir arıtım türü için 6 tekrarlı olarak yetiştirilen bitkilerin ortalama kök, gövde ve toplam biyokütelleri gr cinsinden yaş ağırlık olarak verilmiştir. Her bir bitki türü için uygulanan arıtma çeşitlerine varyans analizini (ANOVA) takip eden student-Newman-Keuls Çoklu karşılaştırma Testi kullanılarak EKKMI maddesinin bitki biyokütlesine etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Tablo 3.6).

Ortalama toplam bitki ağırlıkları EKKMI eklenmeyen ve eklenen bitkilerde sırasıyla raven türü bitkiler için 26.06 gr ve 20.14 gr, zephyr türü bitkiler için 27.60 gr ve 10.22 gr olarak ölçülmüştür. İstatistiksel olarak karşılaştırıldığında, EKKMI eklenen raven türü bitkilerin toplam biyokütle ağırlıklarında %22, zephyr türünde ise %63 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.6. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütelleri

	Ortalama Ağırlık (gr)			
	Yaprak	Gövde	Kök	Toplam
Raven	15.44 (A)	7.95 (A)	2.67 (A)	26.06 (A)
Raven+ EKKMI	12.56 (B)	6.72 (B)	0.86 (B)	20.14 (B)
Zephyr	12.16 (a)	10.10 (a)	5.34 (a)	27.60 (a)
Zephyr+ EKKMI	6.17 (b)	3.67 (b)	0.38(b)	10.22 (b)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Küçük harfler raven türü, büyük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

Bitkilerin toplam ağırlıklarıyla beraber kısım kısım incelediğimizde EKKMI eklenmeyen raven türü bitkilerin ortalama gövde ağırlığı 7.95 gr, kök ağırlığı 2.67 gr olarak ölçülmüş olup gövde toplam biyokütlenin %30'luk, kök ise %10'luk kısmını oluşturmaktadır. Benzer şekilde EKKMI eklenen raven bitkilerinin gövde kısmı toplam biyokütlenin %33'lük bir kısmı ile 6.72 gr, kök kısmı ise %4'lük kısmı yani 0.86 gr olarak belirlenmiştir. Her iki arıtma türü içinde hem gövdeler hem de köklerde istatistiksel olarak EKKMI eklenen bitkilerde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Zephyr türü bitkilerde gövde ağırlıkları EKKMI eklenmeyen ve eklenen bitkilerde sırasıyla 10.10 gr ve 3.67 gr olarak ölçülmüştür. Aynı bitkilerin kök bölgeleri ise sırasıyla 5.34 gr ve 0.38 gr olarak belirlenmiştir. Toplam biyokütle de olduğu gibi gövde ve kök kısımları ayrı ayrı değerlendirildiğinde de istatistiksel olarak kavanozlarda %1 EKKMI eklenerek yetiştirilen bitkilerin biyokütle ağırlıklarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Genel bir çerçeveden bakıldığında kavanozlarda yetiştirilen kirletici biriktirme potansiyeli yüksek ve düşük olan her iki türde de EKKMI ile yetiştirilen bitkilerin biyokütlelerinde istatistiksel olarak anlamlı azalmalar olduğu görülmüştür. Bu durum saksılarda yetiştirilen bitkilerin tam tersi bir durumdur.

3.4.2. Kavanoz topraklarında DDX konsantrasyonları

5 tekrarlı yapılan toprak ekstraksiyonlarının analizleri sonucunda topraktaki DDX konsantrasyonu raven bitkisi ekilen saksılar için 427 – 443 ng/gr, zephyr bitkileri için ise 427–472 ng/gr olarak hesaplanmıştır. Topraktaki DDX konsantrasyonları EKKMI eklenen zephyr bitkileri dışında istatistiksel olarak birbirlerinden farklı değildir.

3.4.3. EKKMI maddesinin DDX birikimine etkisi

Kavanozlarda EKKMI eklenmeden ve %1 oranında EKKMI eklenerek yapılan deneylerde bitkilerin kök ve gövde DDX (DDT, DDE ve DDD) birikim miktarları Tablo 3.7’de verilmiştir.

Raven türünde EKKMI eklenmeyen bitkilerin gövde kısmında DDE, DDD ve DDT sırasıyla 788.81 ng/gr, 662.91 ng/gr, 512.25 ng/gr kuru ağırlık olarak ölçülmüştür. Aynı türün EKKMI eklenerek yetiştirilen bitkilerin gövde kısmında DDE 29.30 ng/gr, DDD 13.92 ng/gr olarak belirlenmiş olup DDT ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Toplam DDX miktarlarına bakıldığında EKKMI eklenen raven bitkilerinin gövde kısmında EKKMI eklenmeyenlere göre %98 oranında azalma olduğu görülmektedir.

Tablo 3.7. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerdeki Kirletici Miktarları

		ng kirletici / gr kuru ağırlık			
		p,p-DDE	p,p-DDD	p,p-DDT	∑ DDX
Raven	Gövde	788.81	662.91	512.25	1963.98 (A)
	Kök	9009.52	2549.71	7306.57	18865.80 (A)
Raven+ EKKMI	Gövde	29.30	13.92	n.d.*	43.22 (B)
	Kök	803.27	305.76	392.65	1501.67 (B)
Zephyr	Gövde	42.81	77.90	58.15	178.85 (a)
	Kök	8531.17	3836.63	3513.51	15881.31 (a)
Zephyr+ EKKMI	Gövde	13.44	n.d.	n.d.	13.44 (b)
	Kök	181.12	78.43	56.15	315.69 (b)

∑ DDX kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Normal yazılan harfler gövdeleri, kalın italik yazılanlar kökleri, büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

*n.d. dedeksiyon limitinin altında

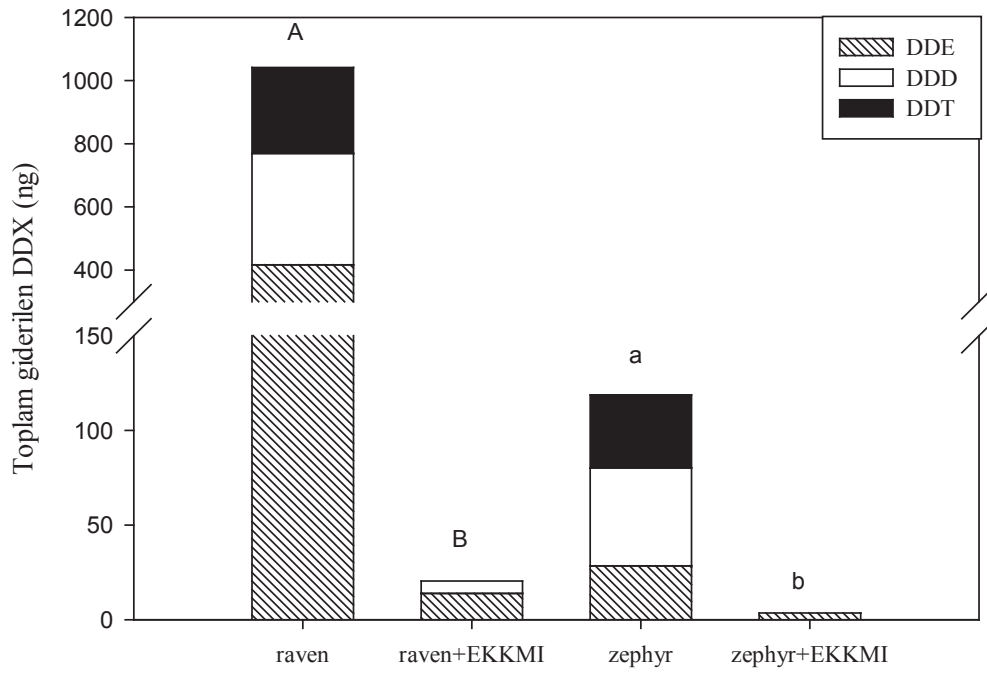
Raven türü bitkilerin kök bölgelerindeki kirletici miktarları incelendiğinde DDE, DDD ve DDT sırasıyla EKKMI eklenmeyen bitkiler için 9009.52 ng/gr, 2549.71 ng/gr, 7306.57 ng/gr, EKKMI eklenen bitkiler için ise 803.27 ng/gr, 305.76 ng/gr, 392.65 ng/gr olduğu görülmektedir. Toplam DDX miktarlarına bakıldığında EKKMI eklenen bitkilerin kök bölgesinde ölçülen kirletici miktarlarında eklenmeyenlere kıyasla %92'lik bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Zephyr türünün EKKMI eklenmeyen bitkilerin gövde kısmında DDE, DDD ve DDT sırasıyla 42.81 ng/gr, 77.90 ng/gr 58.15 ng/gr olarak ölçülmüştür. EKKMI eklenen bitkilerin gövdelerinde ise DDD ve DDT ölçüm limitlerinin altında kalırken DDE 13.44 ng/gr kuru ağırlık olarak belirlenmiştir. Aynı bitkilerin kök bölgesinde ölçülen toplam DDX miktarları EKKMI eklenmeyen ve EKKMI eklenen bitkiler için sırasıyla 1588.31 ng/gr, 315.69 ng/gr 'dır. İstatistiksel olarak incelendiğinde zephyr türü bitkilerin hem kök hem de gövde kısmında EKKMI maddesi eklenmesiyle toplam DDX miktarı %92 oranında azalmıştır.

Bitkilerdeki birim başına düşen kirletici miktarının yanı sıra toplam biyokütle hesaba katılarak bitkilerin toplam DDX giderim miktarları gövde ve kök için ayrı ayrı hesaplanarak Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.

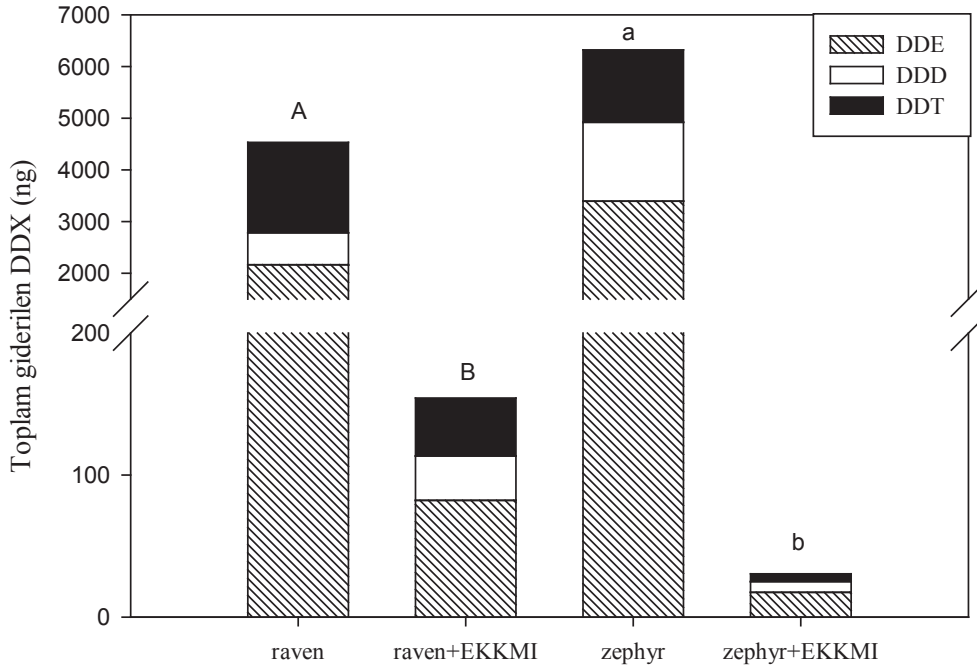
Raven türü bitkilerin gövde kısmında toplam giderilen DDX miktarı EKKMI eklenmeyen bitkilerde 1041.62 ng olarak ölçülmüş olup, bu miktarın %40'ı DDE, %33'ü DDD ve %27'si DDT olduğu belirlenmiştir. EKKMI eklenen raven

bitkilerinin gövdelerinde toplam giderilen DDX miktarının %68 DDE, %32 DDD den oluşmakta olup, 20.38 ng olarak hesaplanmıştır. Bu bitkilerin gövdelerinde DDT miktarı ölçüm limitlerinin altında kaldığı için toplam giderilen miktarda hesap dışı bırakılmıştır. EKKMI eklenen bitkilerin gövdelerinde, EKKMI eklenmeyenlere kıyasla giderilen toplam DDX miktarlarında %98 oranda azalmıştır.



Şekil 3.13. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları

Zephyr bitkilerinin gövde kısımlarında giderilen toplam DDX miktarı EKKMI eklenmeyen bitkilerde 118.69 ng, EKKMI eklenenlerde ise 3.59 ng olarak belirlenmiştir. EKKMI eklenmeyen bitkilerin gövde kısmında giderilen toplam DDX miktarının oransal olarak değerlendirildiğinde %23 DDE, %44 DDD ve %33 DDT olarak bulunmuştur.



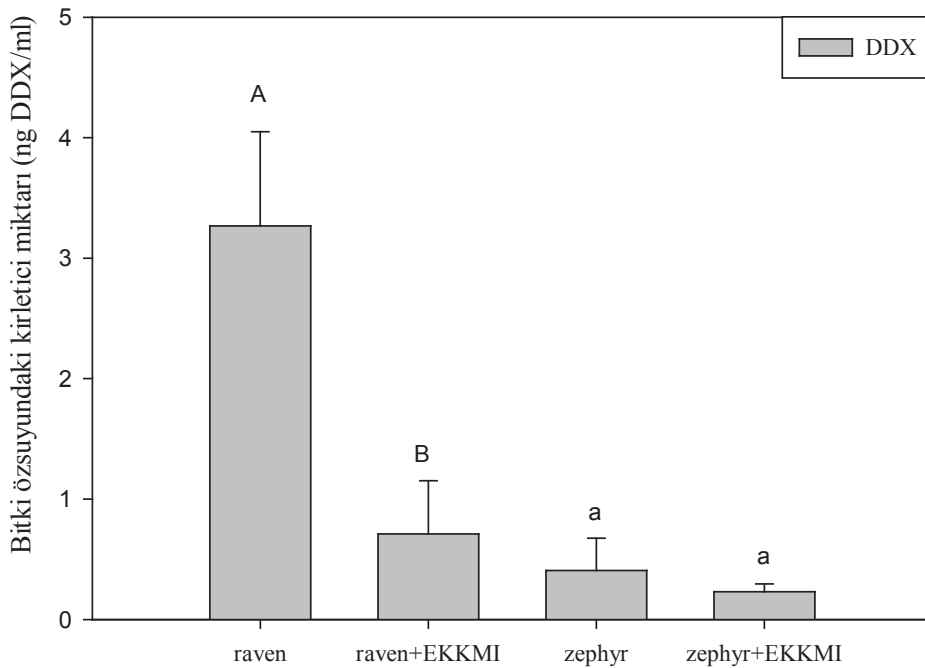
Şekil 3.14. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Kök Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları

EKKMI eklenmeyen raven bitkilerinin kök kısmında 4531.79 ng olarak ölçülen giderilen toplam DDX miktarı %47 DDE, %14 DDD ve %39 DDT'den oluşmaktadır. Aynı türün EKKMI eklenen arıtma çeşidinde giderilen toplam DDX 154.17 ng olup %53'ü DDE, %20'si DDD, %27'si DDT olarak belirlenmiştir. Zephyr türünde EKKMI eklenmeyen ve eklenen bitkilerin kök kısmında giderilen toplam DDX miktarları sırasıyla 6321.55 ng, 30.41 ng olarak belirlenmiş olup her iki arıtma çeşidin de toplam giderilen miktarın %55'i DDE, %25'i DDD ve %20'si DDT olarak hesaplanmıştır. Her iki bitki türünde de EKKMI eklenmesi ile bitki kökündeki DDX miktarı EKKMI eklenmeyen bitkilerle kıyaslandığında azalmış olup, dolayısıyla bitki köküyle toprak ortamından giderilen DDX miktarı da azalmıştır.

Kavanozlarda yetiştirilen bitkilerle saksılarda ki bitkiler kirletici biriktirme miktarları beraber göz önüne alındığında her iki arıtma türünde de kirletici biriktirme miktarları ve EKKMI eklendiğinde görülen azalmaların yakın oranlarda olduğu görülmektedir. Bu iki arıtma grubundaki farklılık görülen nokta bitkilerde ortalama toplam giderilen DDX miktarları ayrıntılı incelendiğinde giderilen DDX'i oluşturan DDE, DDD ve DDT oranlarındaki değişikliklerdir. Saksı ve kavanozlarda yetiştirilen bitkilerde

DDT oranları benzer olmasına karşılık DDD ve DDE oranlarında farklılıklar göze çarpmaktadır. Literatüre bakıldığında topraktaki DDT molekülünün ilk olarak merkezindeki alifatik trikloroetil grubu ağır basan çevresel şartlara göre iki farklı şekilde etkilendiği görülmektedir. Aerobik koşullar altında DDT molekülü dehidroklorinasyon reaksiyonuyla ağırlıklı olarak DDE'ye, anoksik koşullar altında ise indirgeyici dehidroklorinasyon reaksiyonunun baskın olduğu kabul edilir ve ağırlıklı olarak DDD'ye dönüştüğü belirtilmektedir [31]. Bu sonuçlar dikkate alındığında altında delik bulunmayan kavanoz ortamındaki topraklarda anoksik koşullar oluşarak DDT bozunumu DDD yönüne doğru gerçekleşmiştir. Bitkilerdeki kirletici miktarlarının değişmeyip sadece DDX'i oluşturan bileşik oranlarının değişmesi bu durumu destekleyici niteliktedir.

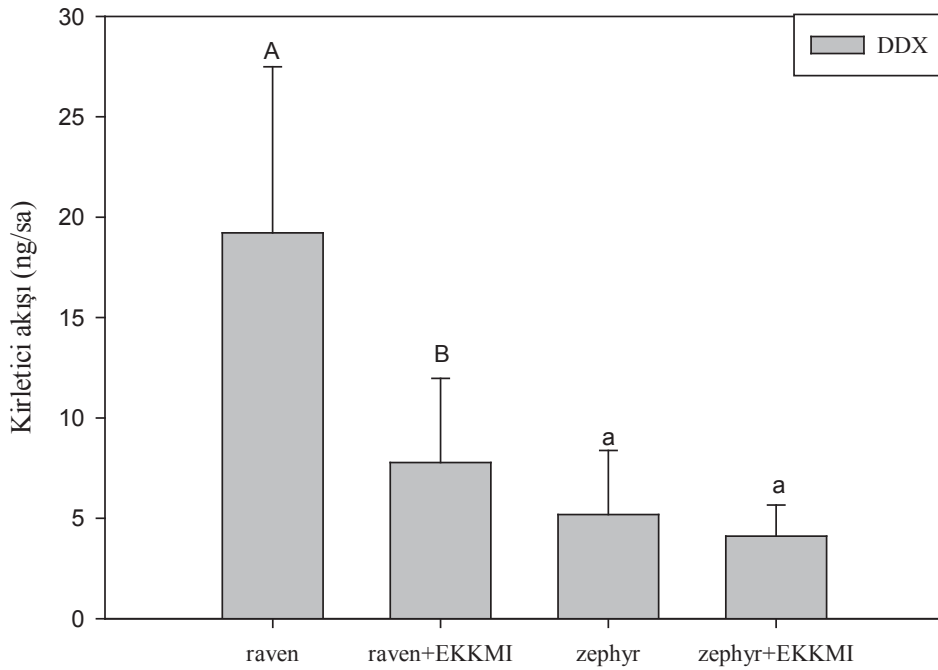
Kavanozlarda yapılan deneylerde kirletici birikim miktarı incelenen bir diğer kısım bitki özsuyudur. Bitki özsuyundaki kirletici miktarı EKKMI eklenmeyen raven bitkilerinde ortalama 3.27 ng/ml, eklenmeyenlerde ise 0.71 ng/ml olarak ölçülmüştür. Bu değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Saksıda Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Toplam DDX Miktarları

Tam tersi olarak Zephyr bitki özsuyundaki DDX konsantrasyonu EKKMI eklenmeyen arıtım için 0.41 ng/ml, eklenenler için ise 0.18 ng/ml ölçülürken, arıtma türleri arasında istatistiksel olarak farklılık görülmemektedir.

Bitkilerin özsuyundaki konsantrasyonlar saatteki ng DDX akışına çevrildiğinde raven için EKKMI eklemeyen bitkilerde ortalama DDX akışı 19.22 ng/sa, EKKMI eklenenlerde ise %60'lık azalma göstererek bu değer 7.78 ng/sa'ye düşmüştür (Şekil 3.16). Böylece birim zamanda bitkinin üst kısımlarına transfer edilen kirletici miktarı eklenen EKKMI sayesinde büyük bir oranda azalarak zephyr bitkileriyle aynı seviye ye ulaşmıştır. Raven'dan daha az alıcı olarak bilinen zephyr bitkisindeki ortalama DDX akışı 5.18 ng/sa olup bu değer EKKMI eklenmesi ile 3 ng/sa'te düşmüş olsa da bu iki değer arasında istatistiksel farkın olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.16. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Kirletici Akış Miktarları

3.4.4. EKKMI maddesinin biyolojik birikim ve translokasyon faktörüne etkileri

Tablo 3.8'de kavanozlarda yetiştirilen bitkiler için biyolojik birikim faktörleri verilmektedir. Biyolojik birikim faktörü EKKMI eklenmeyen raven bitkisinin gövde ve kökü için sırasıyla 36 ve 230 olarak hesaplanmış olup EKKMI eklenmesi ile

biyolojik birikim faktörleri gövde için %98, kök için %93 azalarak 0.55 ve 0.16 değerlerine düşmüştür. Benzer şekilde bitki özsuyundaki biyolojik birikim faktörü EKKMI eklenen bitkilerde eklenmeyen bitkilere oranla %86 daha azdır. Böylece EKKMI eklenmesiyle bitkinin kök, bitki özsuyu ve gövdesinde biriken DDX miktarlarında %95'in üzerinde bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Raven bitkisinde olduğu gibi zephyr'de de EKKMI eklenmesiyle DDX birikimi %95'in üzerinde bir azalma bitki özsuyu, kök ve gövdesi için elde edilmiştir. Örneğin EKKMI eklenen zephyr bitkisinin gövde ve kökündeki biyolojik birikim faktörleri sırasıyla 0.05 ve 3.20 iken bu değerler EKKMI eklenmeyen bitkiler için 3.01 ve 180.43 olarak hesaplanmıştır. Her iki bitki türü içinde EKKMI eklenmesiyle elde edilen BBF eklenmeyen bitkilerden ortalama %95 daha azdır. Peters ve arkadaşları DDE ile kirlenmiş toprak ve organik içeriği yüksek olan kompostta cucurbita pepo ve cucurbita maxima bitkilerini yetiştirerek bu bitkilerin biyolojik birikim miktarlarını incelemiştir. Bizim çalışmamıza paralel olarak kompostta yetiştirilen bitkilerin kök bölgesinde 7-8 kat, gövde bölgesinde 3-7 kat daha az kirletici biriktiğini ifade etmişlerdir [95].

Tablo 3.8. Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Biyolojik Birikim Faktörleri (BBF) ve Topraktaki DDX Miktarı

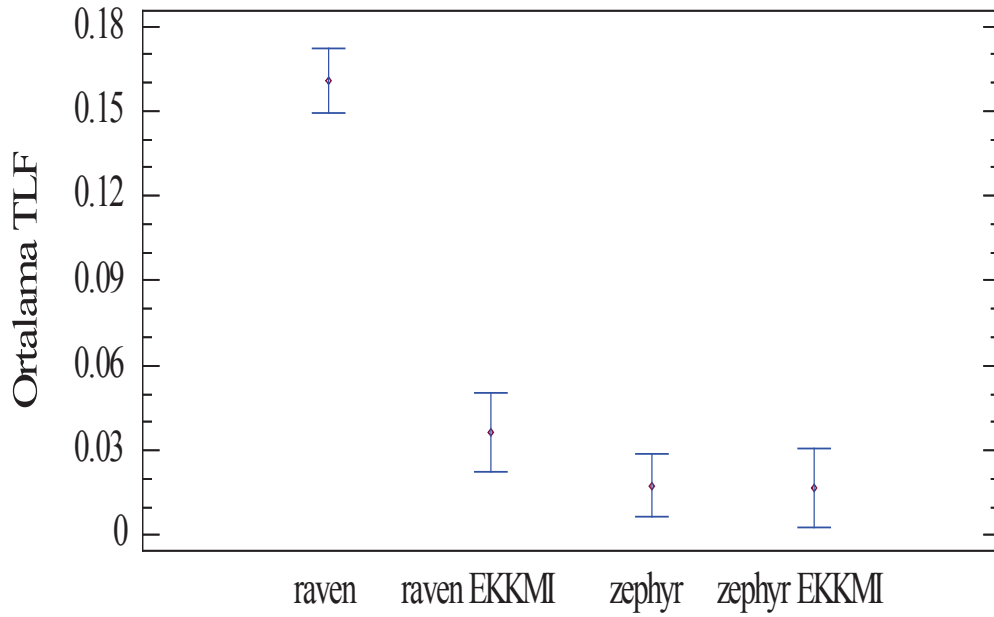
	Topraktaki DDX miktarı (ng / gr kuru ağırlık)	BBF		
		GÖVDE	KÖK	BİTKİ ÖZSUYU
Raven	426.98 (A)	36.09 (A)	230.24 (A)	0.0478 (A)
Raven+ EKKMI	442.53 (A)	0.55 (B)	16.03 (B)	0.0069 (B)
Zephyr	427.22 (a)	3.01 (a)	180.43 (a)	0.0045 (a)
Zephyr+ EKKMI	471.92 (b)	0.05 (b)	3.20 (b)	0.0007 (b)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

Bitkiler hiperakümülatör özelliğini belirlemek amacıyla bakılan değer olan gövdedeki biyolojik birikim faktörleri saksılarda olduğu gibi kavanozlarda yetiştirilen bitkilerde de EKKMI eklenmesiyle sınır değer olan 1'in altına düşmüştür. En iyi akümülatörlerden biri olan raven bitkisi EKKMI eklenmesi ile gövde biyolojik birikim faktörü 1'in altına düşerek akümülatör sınıfında olmayan bitkiler gibi

davranmaya başlamıştır. Bu durum EKKMI'nin bitkilerin ekim safhasında kullanılmasıyla kirletici birikmemiş yani temiz bitkilerin elde edilmesinde olanak sağlayabileceğinin göstergesidir.

Biyolojik birikim faktöründen sonra bir diğer önemli parametre olan kökten bitkinin üst kısımlarına geçen kirletici oranını belirleyen translokasyon faktörleri (TLF) Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17.Kavanozlarda Yetiştirilen Bitkilerin Translokasyon Faktörleri

Şekilde de görüldüğü gibi raven bitkisi için EKKMI eklenen bitkilerdeki TLF değerleri ortalama 0.036, EKKMI eklenmeyenlerde ise 0.161 olarak belirlenmiş olup yaklaşık 5 katlık bir azalma gözlemlenmiştir. Raven türünde görülen bu azalmanın etkisiyle kirletici biriktirme potansiyeli yüksek olan bu bitkiler, kirletici biriktirme potansiyeli düşük olan zephyr türü şekilde hareket etmeye başlamışlardır. Özetle istatistiksel anlamda EKKMI eklenen raven türü bitkiler, EKKMI eklenmeyen ravendan istatistiksel olarak farklılık gösterirken, alıcı olmayan tür olan zephyr bitkileri ile istatistiksel farklılık göstermemektedirler.

Yukarıdaki sonuçlarda da tasvir edildiği gibi DDX'in biyolojik alınabilirliği türe ve topraktaki organik madde miktarına göre değişiklik göstermektedir. Toprağa yapılan

organik madde eklenmesiyle elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermekle birlikte aynı zamanda kirletici birikimindeki azaltma oranları birçok çalışmaya göre daha fazla olduğu görülmüştür [71,84,91]. Saksılarda ve kavanozlarda yetiştirilen bitkilerde EKKMI eklenmesi ile özellikle kirletici biriktirme potansiyeli yüksek olan raven bitkisindeki DDX konsantrasyonları azımsanamayacak oranlarda düşmüştür.

3.5. 2013 Saha Deneyleri

Karasu bölgesinde DDX ile kirlenmiş alana ekilen bitkiler 42 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilmiştir. Raven ve zephyr olmak üzere iki farklı kabak türündeki DDX birikimine EKKMI maddesinin etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda EKKMI eklenmeyen (0 gr EKKMI), 500 gr ve 1000 gr EKKMI madde eklenmesiyle yetiştirilen bitkilerde toplam biyokütle, kök, gövde ve bitki özsuundaki DDX miktarları belirlenerek bitkilerin toplam kirletici giderim miktarları araştırılmıştır.

3.5.1. EKKMI maddesinin biyokütle verimine etkileri

DDX ile kirlenmiş alanda her bir arıtım türü için 5 tekrarlı olarak yetiştirilen bitkilerin ortalama kök, gövde biyokütelleri ve toplam biyokütelleri gr cinsinden yaş ağırlık olarak verilmiştir. Her bir bitki türü için uygulanan arıtma çeşitlerine varyans analizini (ANOVA) takip eden student-Newman-Keuls Çoklu karşılaştırma Testi kullanılarak EKKMI maddesinin bitki biyokütlesine etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Raven türü bitkilerde ölçülen ortalama bitki ağırlıkları 195-423 gr aralığında değişmektedirler. 0 gr EKKMI, 500 gr EKKMI ve 1000 gr EKKMI eklenen gruplardaki ortalama yaş gövde ağırlığı sırasıyla 62 gr, 153 gr, 46 gr olarak ölçülmüş olup istatistiksel olarak 500 gr EKKMI eklenen bitkilerdeki biyokütle oranı diğerlerine göre yaklaşık 3 kat fazladır. 500 gr EKKMI eklenen bitkilerin yaprak, gövde, kök ve toplam ağırlıkları EKKMI eklenmeyen bitkilere göre istatistiksel olarak daha büyüktür. 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerin biyokütle oranlarına bakıldığında ise EKKMI eklenmeyen bitkilerle istatistiksel bir farklılık

göstermezken, 500 gr EKKMI eklenen bitkilere göre daha az biyokütle üretmişlerdir (Tablo 3.9). Benzer şekilde Baronti ve arkadaşlarının biochar ile yaptıkları saha deneylerinde buğday bitkilerine eklenen biocharın EKKMI maddesinde olduğu gibi toprak üstü dokuların biyokütle oranlarında arttırıcı etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.9. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Biyokütelleri

	Ortalama Ağırlık (gr)			
	Yaprak	Gövde	Kök	Toplam
Raven	149,83 (a)	61,97 (a)	1.55 (a)	213.40 (a)
Raven+ 500 gr EKKMI	266.47 (b)	152,85 (b)	3.36 (b)	422.80 (b)
Raven+1000 gr EKKMI	146,92 (a)	46,21 (a)	1.72 (ab)	195.00 (a)
Zephyr	82,20 (A)	40,59 (A)	0.74 (A)	123.40 (A)
Zephyr+500 gr EKKMI	189,21 (B)	125,73 (B)	1.49 (B)	316.40 (B)
Zephyr+1000 gr EKKMI	193,35 (B)	73,46 (AB)	1.34 (B)	268.20 (AB)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Küçük harfler raven türü, büyük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

Kirletici biriktirme potansiyeli düşük olan Zephyr bitkilerine bakıldığında ortalama yaş bitki ağırlığı 123 gr- 316 gr aralığında değişmekte olup, EKKMI eklenen ve eklenmeyen gruplar arasında istatistiksel farklılık gözlemlenmiştir. Zephyr türünün ortalama yaprak değerleri 0 gr EKKMI, 500 gr EKKMI ve 1000 gr EKKMI için sırasıyla 82 gr, 189 gr, 193 gr olarak ölçülmüştür. 500 gr ve 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerde ortalama yaprak ağırlığı EKKMI eklenmeyen bitkilere göre istatistiksel olarak daha büyüktür. Aynı bitkilerin kök biyokütellerine bakıldığında benzer artış görülmektedir. Ortalama gövde ve toplam bitki ağırlığına bakıldığında 500 gr EKKMI eklenen bitkilerin en yüksek, EKKMI eklenmeyen bitkilerin en düşük, 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerin ise diğer iki gruba göre orta dereceli biyokütleye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Sahada Yetiştirilen Bitkiler

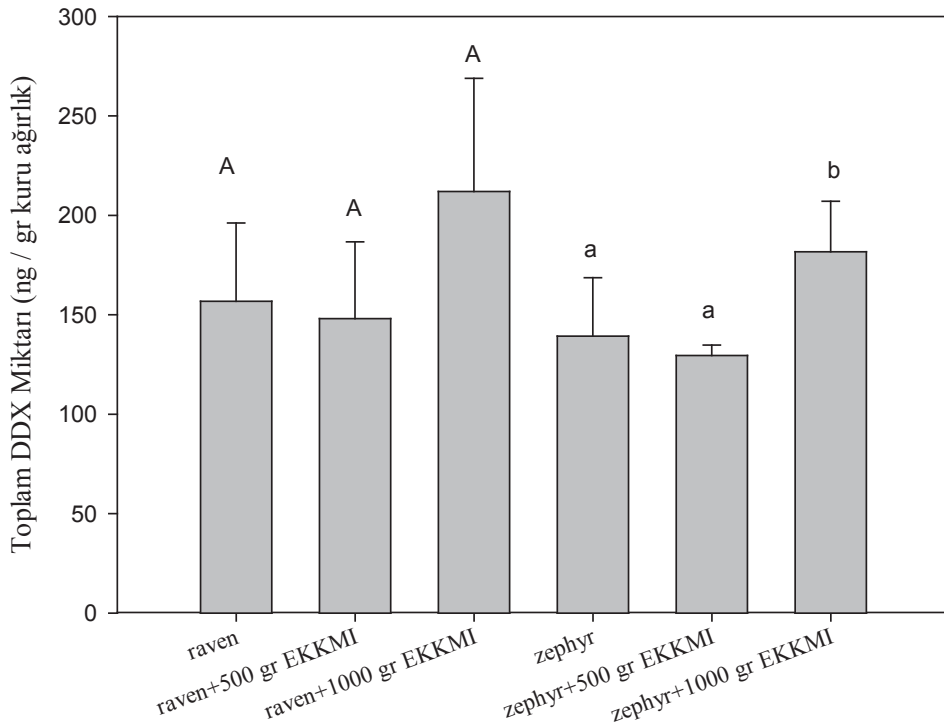
Toprak ıslah maddesi kullanılarak yapılan benzer çalışmalardan biri olan Sarangi ve arkadaşlarının yaptıkları saha deneylerinde organik içeriği bakımında zengin uçucu kül kullanarak yaptıkları çalışmada eklenen madde miktarına bağlı olarak pirinç bitkisinin toplam biyokütlesinde ve toprak üstü dokularında istatistiksel olarak sırasıyla %17 ve %25'lik artış olduğunu gözlemlemişlerdir [86].

Sahada yapılan çalışmalarda her ne kadar EKKMI bitkisinin eklenmesi ile bitkilerin biyokütle miktarlarında artışlar olmuş olsa da eklenen madde miktarına bağlı olarak bu oranlarda değişiklikler gözlemlenmiştir. Kuvvetli alıcı olan raven ve zayıf alıcı olan zephyr türlerinin 1000 gr EKKMI eklenmesiyle farklı tepkiler verdiği saptanmıştır. 1000 gr EKKMI eklenen raven bitkileri eklenmeyen bitkilerle aynı oranda büyürken, zephyr bitkileri 500 gr EKKMI eklenen bitkilerle aynı büyüklüğe ulaşmışlardır. Bu durumun eklenen EKKMI maddesinin azot oranlarıyla alakalı olabileceği düşünülmektedir. Azot canlılarda enerji transferi, proteinlerin, enzimlerin ve metabolik proseslerde önemli bir yer almaktadır. Bitkilerin fotosentez kabiliyetinde önemli yer teşkil eden klorofilin bir parçasıdır. Topraktaki azot oranına bağlı olarak bitkilerin biyokütleleri artış göstermektedir fakat bu oran belirli bir miktarın üzerine çıktığında topraktaki fosfor gibi diğer elementlerin alımını sınırlandırmaktadır [87,88] ve bu oranlar toprağın yapısına ve bitki türüne bağlı

olarak değişebilmektedir. Bizim alışmamızdaki sonuçlara benzer Şekilde White ve arkadaşlarının biyolojik yüzey aktif madde ekleyerek yaptıkları çalışmada alıcı kabak türlerinin biyoktellerinde herhangi bir değişiklik görmezken, alıcı olmayan kabak türlerinin biyoktellerinde %60 oranında arttığını belirtilmiştir [89].

3.5.2. Saha topraklarındaki DDX konsantrasyonları

Her bir arıtım türünün planlandığı ekim alanından toprak numuneleri alınarak topraktaki DDX konsantrasyonları 5 tekrarlı olarak analiz edildikten sonra ortalama değerleri ng DDX/ gr kuru toprak cinsinden Şekil 3.19’te verilmiştir.



Şekil 3.19. Saha Topraklarındaki DDX Miktarı

Grafik incelendiğinde raven için topraktaki DDX konsantrasyonu 148 ng/gr – 212 ng/gr, zephyr için 130 ng/gr – 189 ng/gr arasında değiştiği görülmektedir. Topraktaki DDX konsantrasyonu raven ve zephyr bitkilerinin arıtım türleri için 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerin toprakları hariç istatistiksel olarak birbirinden farklı değildir.

3.5.3. EKKMI maddesinin DDX birikimine etkisi

Sahada yapılan deneylerde üç farklı arıtma biçimi uygulanmış olan bitkilerin kök ve gövde dokularında ölçülen DDX (DDT, DDE ve DDD) birikim miktarları 3.10'da verilmiştir. Bitkilerin gövde kısımlarındaki DDE birikim miktarları 0 gr EKKMI, 500 gr EKKMI, 1000 gr EKKMI eklenen raven türünde sırasıyla 579 ng/gr, 378 ng/gr, 490 ng/gr kuru ağırlık, Zephyr için ise 57 ng/gr, 25 ng/gr ve 30 ng/gr kuru ağırlık olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.10. Sahada Yetiştirilen Bitkilerdeki Kirletici Miktarları

		ng kirletici / gr kuru ağırlık			
		p,p-DDE	p,p-DDD	p,p-DDT	∑ DDX
Raven	Gövde	579.36	31.68	274.52	885.56 (A)
	Kök	3334.12	66.01	963.01	4363.14 (A)
Raven+ 500 gr EKKMI	Gövde	377.96	38.88	95.14	511.98 (AB)
	Kök	2035.21	47.24	484.46	2566.90 (B)
Raven+ 1000 gr EKKMI	Gövde	490.12	52.93	106.10	649.15 (B)
	Kök	2019.07	73.64	564.18	2656.88 (B)
Zephyr	Gövde	56.62	18.05	27.45	102.12 (a)
	Kök	2561.06	33.40	912.06	3506.52 (a)
Zephyr+500 gr EKKMI	Gövde	25.24	6.85	6.66	38.75 (b)
	Kök	1086.73	20.27	492.15	1599.15 (b)
Zephyr+ 1000 gr EKKMI	Gövde	30.18	8.94	7.32	46.44 (b)
	Kök	2176.86	50.85	1085.51	3313.22 (a)

∑ DDX kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Normal yazılan harfler gövdeleri, kalın italik yazılanlar gövdeleri, büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

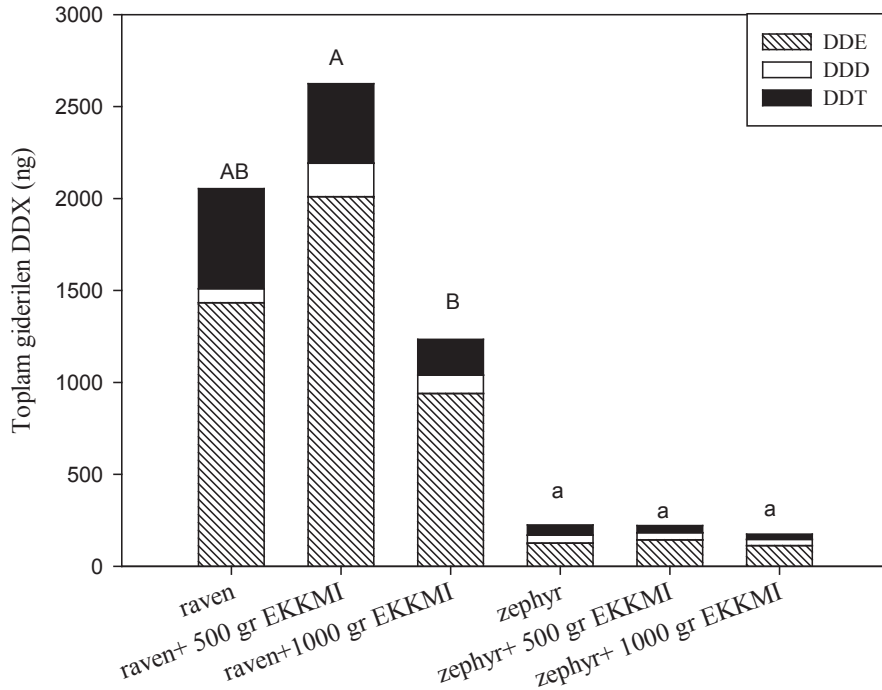
Bu bitkilerin gövde kısımlarında ölçülen DDT miktarları 0 gr EKKMI, 500 gr EKKMI, 1000 gr EKKMI eklenen raven türünde sırasıyla 274 ng/gr, 95 ng/gr, 106 ng/gr kuru ağırlık, Zephyr için ise 27 ng/gr, 7 ng/gr ve 7 ng/gr kuru ağırlık olarak ölçülmüştür. Her iki tür içinde EKKMI eklenen bitkilerin gövde kısımlarındaki DDE ve DDT miktarlarında istatistiksel olarak azalma olduğu görülmüştür.

Yetiştirilen bitkilerin kök bölgelerinde ölçülen kirletici miktarlarına bakıldığında raven türü için ortalama toplam DDX(DDE+DDD+DDT) miktarı 2566-4363 ng/gr, Zephyr için ise 1599-3506 ng/gr kuru ağırlık aralığında ölçülmüştür. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde, madde miktarından bağımsız olarak, EKKMI eklenen alıcı tür olan raven bitkilerinin kök bölgesindeki toplam DDX miktarı, eklenmeyen

bitkilere göre yaklaşık 1.7 kat azaldığı gözlemlenmiştir. Alıcı olmayan zephyr türü bitkilerde ise 500 gr EKKMI eklenen bitki köklerinde eklenmeyenlere göre yarı yarıya azalma gözlemlenirken, 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerde eklenmeyenlere göre istatistiksel bir farklılık göstermemiştir.

Benzer şekilde Lunney ve arkadaşlarının toprağa eklenen organik maddelerin DDT ve türevlerinin kabaklardaki birikim miktarlarını inceledikleri bir çalışmada, kök bölgesindeki DDT birikiminin organik madde eklenmesi ile azaldığını belirtmişlerdir[84]. EKKMI maddesinde olduğu gibi karbon içeriği açısından zengin olan aktif karbon ve biochar üzerine Denyes ve arkadaşlarının yaptıkları saha çalışmalarında benzer şekilde bitkilerin kök bölgelerindeki PCB miktarlarının %70 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada gövde dokularındaki kirlenici birikimlerine bakıldığında bizim çalışmalarımızdan farklı olarak bitki gövdesindeki PCB birikimde farklılık görülmemiştir [71].

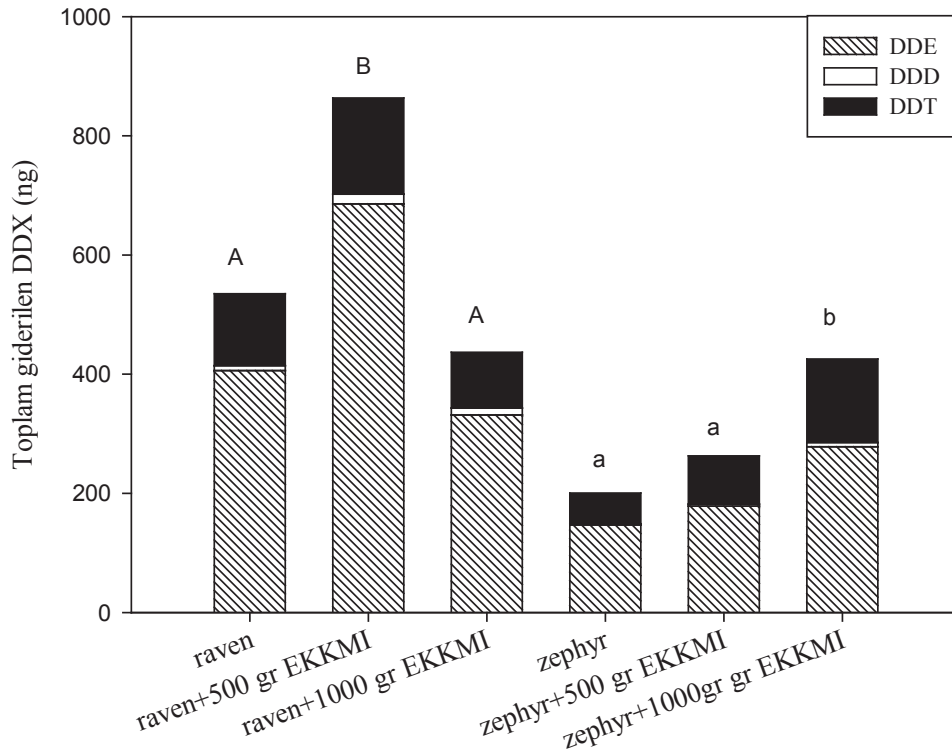
Yetiştirilen bitkilerin toplam ağırlıklarına bağlı olarak hesaplanan toplam giderilen DDX miktarları Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Gövde Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları

Raven türü bitkilerin gövde kısımlarında ölçülen toplam DDX miktarı 512 ng/gr - 885 ng/gr aralığında ölçülürken, kök kısmında bu değer 2567 ng/gr – 4363 ng/gr kuru ağırlık olarak ölçülmüştür. Bu değerler toplam biyokütleyle göre normalize edildiğinde giderilen toplam DDX miktarları gövde için 1349 ng - 2309 ng, kökte ise 436 ng - 863 ng olarak hesaplanmıştır.

Lunney ve arkadaşları'ları tarafından yapılan bir çalışmada DDT ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen kabak (zucchini) bitkilerinde kökün, toplam biyokütlenin %7 sini oluştururken, toprak üstü kısmının ise biyokütlenin %93'ünü kapsadığını belirtmiştir. Buna göre kök dokusunda 2270 ng/g olarak ölçülen toplam DDT'nin 2040 ng'ı kök tarafından, gövde dokusunda 4260 ng/g'ın 35300 ng 'mı bitkinin toprak üstü kısmında biriktiği gözlemlenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda da benzer şekilde bitkilerin toprak üstü kısımlarında kök bölgesine nazaran daha fazla kirletici giderildiği belirlenmiştir.



Şekil 3.21. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Kök Kısımındaki Toplam DDX Giderim Miktarları

EKKMI eklenmeyen, 500 gr ve 1000 gr EKKMI eklenen arıtma gruplarını bitkinin gövdesi bazında incelediğimizde, 500 gr EKKMI eklenen ve en yüksek oranda biyokütle üreten raven bitkileri istatistiksel olarak EKKMI eklenmeyen bitkilerden %26 ve 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerden ise %57 daha fazla DDX gidermişlerdir. Bütün arıtma çeşitleri için giderilen toplam DDX miktarının ortalama %70'i DDE, %6'sı DDD ve %24'ü DDT'den oluşmaktadır.

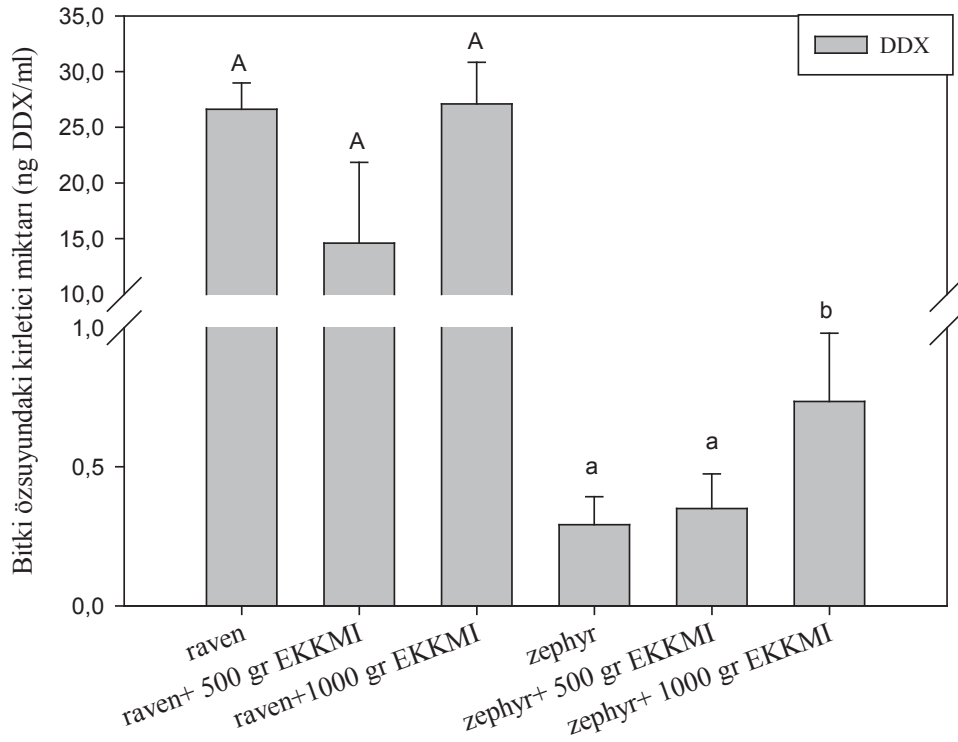
Raven türüne göre çok daha düşük seviyede kirletici biriktirme potansiyeline sahip olan Zephyr türünün gövde verilerine baktığımızda ise biyokütle oranlarındaki istatistiksel farklılıklara rağmen toplam giderilen miktarda istatistiksel farklılık görülmemiştir. Bu türün düşük derece de biriktirme miktarları, toplam kirletici giderim miktarlarında değişmemesine neden olmuştur. Raven türüne göre 10 kat daha az biriktirme potansiyeline sahip olan bu türün giderdiği toplam DDX'in raven türüne benzer şekilde %62'si DDE, %18' DDD ve %20 si DDT'den oluşmaktadır.

Aynı bitkilerin kök bölgesindeki toplam giderim miktarlarını incelediğimizde EKKMI eklenmeyen, 500 gr EKKMI eklenen ve 1000 gr EKKMI eklenen arıtma gruplarında raven türü için hesaplanan toplam giderilen DDX miktarları sırasıyla 535 ng, 863 ng, 436 ng olarak hesaplanmıştır. 500 gr EKKMI eklenen bitkilerin giderdiği miktar diğer iki gruba göre istatistiksel olarak yaklaşık %49 daha fazladır. Zephyr türünün köklerindeki toplam giderim miktarlarına bakıldığında EKKMI eklenmeyen ve 500 gr EKKMI eklenen bitkilerin köklerindeki giderilen DDX miktarı istatistiksel farklılık göstermezken, 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerin kökleri istatistiksel olarak ortalama %45 daha fazla DDX giderdiği görülmektedir. Hem uygulanan arıtma bazında hem de bitki türleri açısından giderilen toplam DDX'in %72'si DDE, %2'si DDD ve %26'sı DDT olarak ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında kabak bitkilerinden ilk defa sahadan bitki özsuyu toplama işlemi gerçekleştirilmiş olup, saha şartlarında yetiştirilmiş bitkilerden elde edilen bu numunelerde kirletici birikim miktarları ve bitki özsuysundaki kirletici akış miktarları hesaplanmıştır.

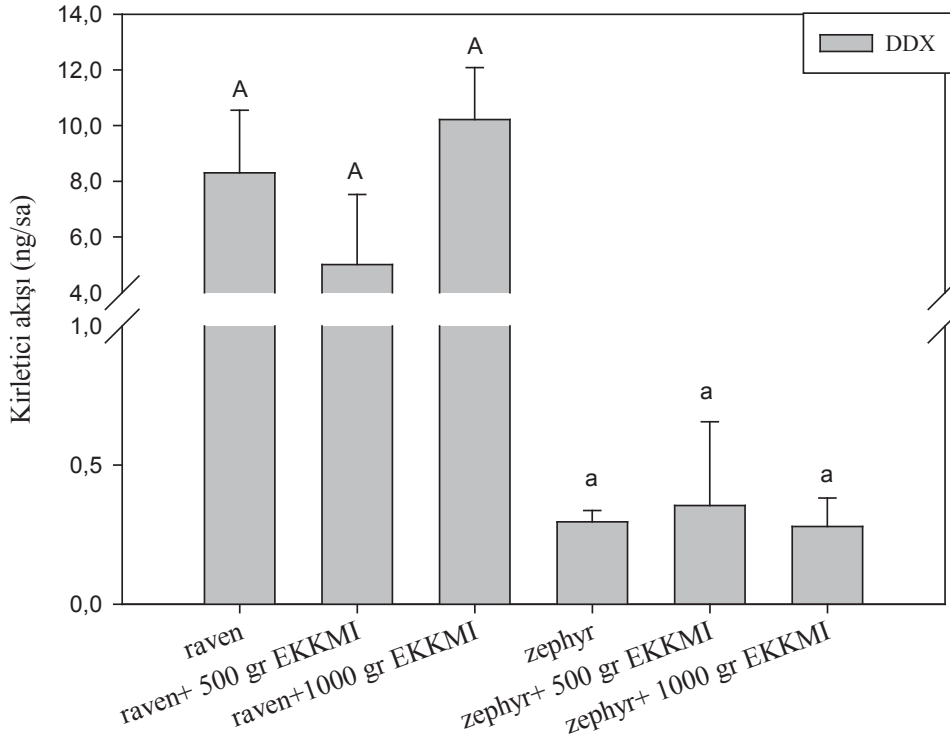
Bitki özsuysunda ölçülen toplam DDX miktarları raven türünde 15 ng/ml – 27 ng/ml,

Zephyr türünde 0.29 ng/ml – 0.73 ng/ ml aralığında ölçülmüştür. Eklenen EKKMI miktarının birim hacim başına düşen kirletici miktarını raven türü için istatistiksel olarak etkilemediği Şekil 3.22’de görülmektedir. Zephyr türünün bitki özsuundaki kirletici miktarına baktığımızda ise 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerde yaklaşık 3 katlık bir artış görülürken, 500 gr EKKMI eklenen ve EKKMI eklenmeyen türler arasında istatistiksel bir farklılık gözlenmemiştir.



Şekil 3.22. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuundaki Toplam DDX miktarları

Bitki özsuunda ölçülen kirletici miktarı ve bitki özsuu akış hızına bağlı olarak hesaplanan kirletici akış miktarları EKKMI eklenmeyen, 500 gr EKKMI eklenen ve 1000 gr EKKMI eklenen raven türü bitkiler için sırasıyla 8.31 ng/sa, 5.01 ng/sa, 10.22 ng/sa, Zephyr türü için 0.30 ng/sa, 0.35 ng/sa, 0.28ng/sa'tır. Hem raven hem de Zephyr türü için EKKMI eklemenin saatlik kirletici akışına istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmamıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Bitki Özsuyundaki Kirlenici Akış Miktarları

3.5.4. EKKMI maddesinin biyolojik birikim ve translokasyon faktörüne etkileri

Tablo 3.11’de farklı arıtma türleri için iki tür kabağın topraktaki toplam DDX miktarları ve BBF’leri verilmiştir. Alıcı tür olan raven’ın bütün kısımları için (gövde, kök, bitki özsuyu) gözlemlenen en yüksek değer EKKMI eklenmeyen arıtma türünde gözlemlenmiştir. Raven bitkisine göre daha az alıcı olan Zephyr türü içinde aynı durum söz konusudur.

İstatistiksel olarak incelendiğinde 500 gr EKKMI eklenen raven bitkilerinde hesaplanan biyolojik birikim faktörlerinde EKKMI eklenmeyenlere göre kök ve gövdede %36, bitki özsuyunda %49 oranında azalma olduğu görülmüştür. 1000 gr EKKMI eklenen raven bitkilerinde ise eklenmeyen bitkilere göre gövdede %49, kökte %55 ve bitki özsuyunda %54 oranında istatistiksel olarak anlamlı azalma gerçekleşmiştir. EKKMI eklemenin Zephyr bitkisinin biyolojik birikim faktörleri

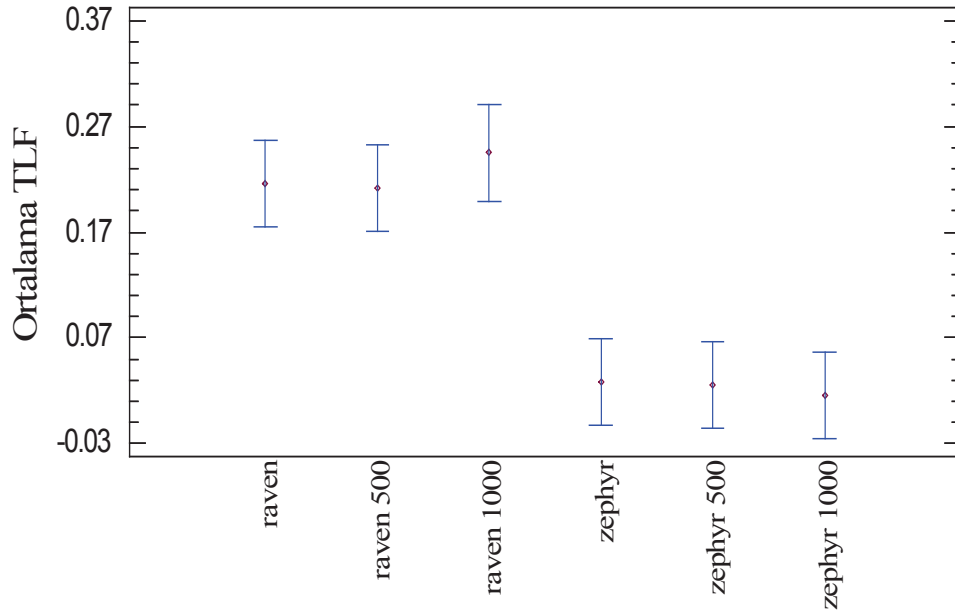
üzerindeki etkisine bakıldığında 500 gr EKKMI ve 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerde eklenmeyen bitkilere göre kök ve gövdelerde ortalama %50 azalma olduğu görülmüştür.

Tablo 3.11. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Biyolojik Birikim Faktörleri (BBF) ve Topraktaki DDX Miktarları

	Topraktaki DDX miktarı (ng / gr kuru ağırlık)	BBF		
		GÖVDE	KÖK	BİTKİ ÖZSUYU
Raven	156.75 (A)	6.20 (A)	28.45 (A)	0.226 (A)
Raven+ 500 gr EKKMI	148.06 (A)	3.94 (B)	18.05 (B)	0.117 (B)
Raven+1000 gr EKKMI	212.02 (A)	3.16 (B)	12.80 (B)	0.105 (B)
Zephyr	139.21 (a)	0.73 (a)	26.61(a)	0.0021 (a)
Zephyr+500 gr EKKMI	129.52 (a)	0.31 (b)	12.31(b)	0.0027 (ab)
Zephyr+1000 gr EKKMI	181.64 (b)	0.26 (b)	18.02 (b)	0.0043 (b)

Her kolondaki parantez içinde ortalamalardan sonra verilen farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir (ANOVA ile çoklu karşılaştırma metodu). Büyük harfler raven türü, küçük harfler Zephyr türü içerisindeki farklılıkları göstermektedir.

Benzer bir çalışma olan Jakop ve arkadaşları toz ve granül haldeki aktif karbon kullanarak PAH ile kirlenmiş topraklarda yaptıkları saha deneylerinde farklı bitkilerdeki biyolojik birikim değerlerinin bu çalışmada olduğu gibi azaldığı görülmektedir. Örneğin bahsi geçen PAH ile kirlenmiş alanda yetiştirdikleri çimlerin gövde kısmında BBF granül aktif karbonda %81, toz aktif karbonda ise %55 azaldığı belirtilmektedir [75].



Şekil 3.24. Sahada Yetiştirilen Bitkilerin Translokasyon Faktörleri

Sahada yetiştirilen bitkilerin translokasyon faktörleri hesaplandığında raven türü bitkiler için hesaplanan değerler 0.21-0.24 aralığında, zephyr için 0.01-0.03 aralığındadır. İstatistiki açıdan incelendiğinde EKKMI eklemenin saha koşullarında yetiştirilen bitkilerdeki kökten gövdeye geçen kirletici miktarını etkilemediği görülmektedir (Şekil 3.24).

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında evsel atıksu arıtma çamurundan üretilen ve EKKMI adı verilen organik içeriği yüksek olan maddenin üç farklı kabak türü (*Cucurbita pepo* ssp *pepo* (raven), *Cucurbita pepo* ssp *ovifera* (zephyr), *Cucurbita pepo* var. *Clypeata* (pattypan) ile birlikte gübre olarak kullanılabilirliği ve iki farklı kabak türünün (raven ve zephyr) DDX birikim miktarlarına etkisi incelenmiştir.

Yapılan ilk deneylerde EKKMI maddesinin bitkilerin biyokütle oranlarında ve klorofil miktarlarında belirgin bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Lunney ve arkadaşlarının organik madde eklenmesiyle yaptıkları saksı çalışmalarında bitkilerin organik madde eklenmeyenlere göre daha fazla biyokütle ürettiği ve yaprak yüzey alanlarının daha geniş olduğu belirtilmiştir [91]. Denyes ve arkadaşlarının biochar kullanarak yaptıkları farklı bir çalışmada, aynı oranda biochar eklenen saksıların 136 µg/g PCB içeren toprakta yetiştirilen bitkilerin biyokütlelerinde artış görürken, 3.1µg/g PCB içeren topraklarda bir farklılık görülmediği ifade edilmiştir [70]. Bu çalışma kapsamında kullanılan EKKMI maddesi bahsi geçen çalışmalarda kullanılan organik maddelere nazaran oldukça etkili sonuçlar vermiş olup 13 kata kadar daha fazla biokütle elde edilmesini sağlamıştır. Bu etkinin EKKMI maddesindeki azot miktarından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Bitkilerin gelişiminde önemli rol oynayan azot elementi, bitkinin kök teşekkülünde ve büyümesinde rol oynamasının yanı sıra çabuk olgunlaşmasında da etkilidir. Benzer şekilde bizim çalışmamızda da EKKMI eklenen bitkilerin sağlıklı ve hızlı bir şekilde gelişip meyve verdikleri gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında üretilen EKKMI maddesinin organik gübre olarak kullanılmasının yolu açılmış olup, aynı zamanda günümüzde arıtma tesislerinin en büyük problemlerinden biri olan atık su arıtma çamurlarının kullanımı için yeni bir alan ortaya çıkarılmıştır. Yinede hali hazırda EKKMI maddesinin gübre olarak

kullanılması için saha çalışmaları ve optimum dozaj çalışmaları yapılması gerekmektedir.

DDT ve bozunma ürünleri olan DDD ve DDE stokholm sözleşmesi ile yasaklanmış 22 kalıcı organik kirleticiler grubundan bileşiklerdir. Bu kirleticiler 1957-1985 yılları arasında ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılmış olup, yapılan çalışmalarda halen çeşitli bölgelerden toplanan bal [9], sediment [10], midye [11], su [12,13] ve toprak [14] numunelerinde DDT ve bozunma ürünlerine rastlanmaktadır. $\log K_{ow}$ değerleri 5'ten büyük olan bu kirleticilerin toprak yapısındaki yarılanma ömrü 10 yıllar ile ifade edilmektedir [2]. Topraktan arıtımı çok zor olan bu kirleticilerin giderimi için geliştirilen birçok yöntem üzerine çalışılmasına karşın halen daha ucuz, kolay uygulanabilir ve etkili bir yöntem geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir [35-40]. Yapılan çalışmalar arasında geniş alanlara uygulanabilirliği ve düşük maliyetleriyle fitoremediyasyon en etkili yöntemlerden biri olarak gözükmektedir. Fitoremediyasyon bitkilerin kirletici biriktirme potansiyelleri kullanılarak toprağın yapısından bu bileşikleri uzaklaştırmaya yönelik bir yöntemdir.

Yapılan çalışmalarda kabak bitkisinin bazı türlerini, kalıcı organik kirleticileri biriktirme potansiyeli bakımından hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır [47]. Yapılan birbirinden bağımsız araştırmalarda kabak bitkilerinin kirletici biriktirme yeteneklerinin diğer bitkilere göre yüksek olduğu kanıtlanmıştır [48,50,51,58,90]. Bu bitkilerin kirletici biriktirme miktarlarının diğer bitkilere göre yüksek olduğu çalışmalarla desteklenmiş olmasına karşılık bunu nasıl yaptıklarıyla ilgili henüz tam bir sonuca varılamamıştır. Kabak bitkilerinin organoklorlu bileşikleri alışı ve taşınımı ile ilgili bazı teoriler öne sürülmüştür.

Bu teorilerden biri kirletici alışı miktarı ile kök yapısı, kökten salgılanan düşük moleküllü organik asitler ve bitki özsuyunun ilişkilendirilmesidir. White ile Mattina ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda kabak türlerinin köklerinden salgılanan düşük molekül ağırlıklı organik asitlerin diğer türlerin köklerinden salgılanan organik asitlerden daha yüksek oranda olduğunu belirlemişlerdir [59,61]. Mattina ve arkadaşlarının yaptıkları aynı çalışmada kirletici biriktirme potansiyeli yüksek olan bitkileri düşük bitkilerle aşıladıklarında kökün genetik yapısına göre bitki özsuyunun

içeriğinin değiştiğini keşfetmişlerdir [59]. Isleyen ve arkadaşlarının aşılı karpuzlarla yaptıkları çalışmada bunları destekler niteliktedir [48,54]. Bahsi geçen bu çalışmada, toprak boşluk suyundaki kirletici miktarları istatistiksel olarak farklılık göstermezken, kabak kökü üzerine aşılana karpuz bitkilerinin aşılammış bitkilere kıyasla 140 kat daha fazla kirletici bitki özsuyunda taşıdığı belirtilmiştir [54].

Bu araştırmalar ışığında yapılan bu tez çalışmasında üretilen EKKMI maddesi toprak ıslah maddesi olarak bitkilerin kök kısmına eklendiğinde bitkilerin kök, gövde ve bitki özsuyundaki DDX birikim miktarlarındaki değişimler incelenmiştir.

Saha çalışmalarına baktığımızda eklenen EKKMI miktarının bitkiler üzerinde farklı etkileri olduğunu görülmüştür. Sahada 500 gr ve 1000 gr EKKMI uygulanan bitkilerin bitki özsularında kirletici miktar ve akışında farklılık görülmezken, 500 gr EKKMI eklenen bitkilerin daha fazla biyokütle üretmesiyle birlikte bu grupta giderilen toplam DDX miktarı diğer arıtma gruplarına göre daha yüksek çıkmıştır. Sahada dikkat çeken bir diğer konuda 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerin biyokütle oranları istatistiksel olarak 500 gr EKKMI eklenenlerden daha küçük olmasıdır. Bu durum toprağa uygulanan EKKMI miktarının belirli oranların üzerinde fitotoksik etki yapabileceği düşüncesini uyandırmaktadır. Bu noktanın aydınlatılabilmesi için gelecek çalışmalarda sahada farklı EKKMI miktarları kullanılarak optimum miktarın bulunması gerekmektedir.

Sahada yetiştirilen raven bitkilerinin biyolojik birikim faktörlerinde 500 gr EKKMI eklenenlerde kök ve gövdede %36, bitki özsuyunda %49 oranında azalma olduğu görülmüştür. 1000 gr EKKMI eklenenlerde ise bu oranlar gövdede %49, kökte %55 ve bitki özsuyunda %54 olarak hesaplanmıştır. EKKMI eklemenin Zephyr bitkisinin biyolojik birikim faktörleri üzerindeki etkisine bakıldığında 500 gr EKKMI ve 1000 gr EKKMI eklenen bitkilerde eklenmeyen bitkilere göre kök ve gövdelerde ortalama %50 azalma olduğu görülmüştür.

Sahaya göre daha kontrollü olan saksı ve kavanoz çalışmalarına bakıldığında azalma oranlarının sahada hesaplanan oranlardan çok daha fazla olduğu belirlenmiştir. Eklenen EKKMI maddesi saksı ve kavanozlarda biyokütle oranlarında farklı etkiler

göstermiş olsa da, bitkinin kök, gövde ve bitki özsuyunda ölçülen kirletici miktarı, toplam giderilen DDX miktarı, biyolojik birikim faktörleri ve translokasyon faktörleri aynı şekilde etkilenmişlerdir. Örneğin saksılarda yetiştirilen raven bitkilerinin gövde kısmında kirletici konsantrasyonu EKKMI eklenmesi ile %97 azalarak 1144.52 ng/gr'dan 29.25 ng/gr'a düşerken benzer şekilde kavanozlarda kirletici miktarları aynı oranda azalarak 1963.98 ng/gr'dan 43.22 ng/gr gerilemiştir.

Yapılan saha, saksı ve kavanoz deneylerinde yetiştirilen bitkilerin hepsinde benzer biçimde bu maddenin bitkilerdeki DDX birikiminde yüksek oranlarda indirgeyici özelliği olduğu görülmüştür. Örneğin saksılarda yetiştirilen raven bitkilerinin gövde kısmında hesaplanan biyolojik birikim faktörleri EKKMI eklenmesi ile 9.63'ten 0.26' ya düşerek %97 oranında bir azalma gerçekleşmiş olup kavanozlardaki bitkilerde de aynı oranları görmekteyiz. Biyolojik birikim faktörünün 1'in altına düşmesi o bitkinin hiperakümülatör özelliğini kaybettiği anlamına gelmektedir[94]. Bu sonuçlara dayanarak EKKMI kullanımıyla, kalıcı organik kirleticiler ile kirlenmiş alandan daha temiz bitkilerin(meyvelerin) elde edilebileceğini ilk defa ispatlamış olup, ayrıca kullanılacak EKKMI'nin dozu ile ilgili daha detaylı çalışmaların önünü açacaktır.

Literatüre bakıldığında toprağa organik madde ekleyerek bitkilerin kirletici birikimlerine etkisinin incelendiği çalışmalar görülmektedir. Jakop ve arkadaşları toz ve granül haldeki aktif karbon kullanarak PAH ile kirlenmiş topraklarda yaptıkları saha deneylerinde çimlerin gövde kısmında biyolojik birikim faktörlerinin granül aktif karbonda %81, toz aktif karbonda ise %55 azaldığı raporlamışlardır [75]. Lunnay ve arkadaşlarının yaptıkları farklı bir çalışmada farklı organik maddelerle yaptıkları deneylerde granül aktif karbon haricinde kullanılan diğer maddelerin(vermikülit, torf, hazır saksı toprağı ve perlit) gövdedeki kirletici miktarı, biyolojik birikim faktörü ve translokasyon faktöründe etkisi olmadığını görmüşlerdir[91]. Bir diğer örnek Denyes ve arkadaşlarının PCB ile kirlenmiş toprakta yaptıkları saksı deneylerinde biocharın kabak bitkisindeki PCB birikim miktarındaki etkisini inceledikleri çalışmadır. İki farklı PCB konsantrasyonu (136 µg/g ve 3.1µg/g) ile çalışan bu grup saksılara kütlece %0, %0.2, % 0.7, % 2.8, %11.1 oranlarında biochar ekleyerek bitkilerin kök ve gövdelerindeki PCB

miktarlarını ölçmüşlerdir. Yapılan bu çalışma da düşük miktarlarda eklenen biocharın bitki gövdelerindeki PCB birikimine etkisi olmazken %11'lik biochar eklemesinin %54'lük bir oranda azalma olduğu rapor edilmiştir[70]. Bu çalışmalarla kıyaslandığında EKKMI maddesinin kabak bitkilerinin kirletici biriktirme potansiyeli üzerindeki etkisi diğer birçok organik maddeye göre biochar ve aktif karbonun etkisiyle benzer özellikler göstermiştir.

Son yıllarda aktif karbon ve biocharın, küresel karbon emisyonlarının artması ve tarımsal alanlardaki toprak kalitesinin bozulmasına karşılık, toprak ıslah maddesi olarak kullanımı artmıştır. Biochar, organik maddelerin oksijensiz ortamda pirolizi ile üretilen karbon içeriği yüksek bir ürün, aktif karbon ise biocharın reaktif yüzey alanının optimize edilmesi ile üretilen farklı bir üründür [96]. Granül aktif karbonun organik kirleticilerin bitkilerdeki birikimini azalttığı bilinen bir gerçektir [97,98], aynı şekilde aktif karbon kadar olmasa da biocharında toprağa eklenme miktarına bağlı olarak bu etkiyi gösterdiği yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [71,75]. Buna rağmen bu maddelerin üretimi için özel şartlar olması gerekmektedir ve üretimleri pahalıdır. Bununla birlikte elde edilen deney sonuçlarına göre üretilen EKKMI maddesinin bitkilerdeki kalıcı organik kirletici birikme miktarını azalttığı gibi üretiminin daha kolay ve maliyetinin daha az olması toprak ıslahında kullanılan bu maddelere dışı bir rakip olabileceği sonucunu doğurmaktadır.

Çalışmanın temel amaçlarında biri olan kök bitki özsuyu ilişkisi incelendiğinde yapılan bütün deneylerde kök ve bitki özsuyu biyolojik birikim faktörleri arasında yakından bir ilişki olduğu görülmektedir. Hesaplanan biyolojik birikim faktörlerinin kök ve bitki öz suyunda aynı oranlarda azalarak paralellik göstermesi bitkilerdeki kirletici birikim miktarlarının kökün bir fonksiyonu olduğu ve toprak üstü kısımlara taşınımının bitki özsuyu yardımıyla olduğuna işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] PORTA, M., ZUMETA, E., Implementing the Stockholm treaty on persistent organic pollutants, *Occup. Environ. Med.*, 651–652, 2002.
- [2] MATTINA, M. J. I., IANNUCCI-BERGER, W., DYKAS, L., PARDUS, J., Impact of Long-Term Weathering, Mobility, and Land Use on Chlordane Residues in Soil, *Environ. Sci. Technol.*, 33(14):, 2425–2431, 1999.
- [3] DIMOND, J. B., OWEN, R. B., Long-term residue of DDT compounds in forest soils in Maine, *Environ. Pollut.*, 92:, 227–230, 1996.
- [4] DDT Ecological and Health Risks [Online]. Available: <http://www.epa.gov/Region09/superfund/pvshelf/>, Erişim Tarihi : 21.08.2014.
- [5] MUIR, D., BRAUNE, B., DEMARCH, B., NORSTROM, R., WAGEMANN, R., LOCKHART, L., HARGRAVE, B., BRIGHT, D., ADDISON, R., PAYNE, J., REIMER, K., Spatial and temporal trends and effects of contaminants in the Canadian Arctic marine ecosystem: a review, *Sci. Total Environ.*, 230(1-3):, 83–144, 1999.
- [6] MACKAY, D., WANIA, F., Transport of contaminants to the Arctic: partitioning, processes and models, *Sci. Total Environ.*, 160-161:, 25–38, 1995.
- [7] OTTAR, B., The transfer of airborne pollutants to the Arctic region, *Atmos. Environ.*, 15(8):, 1439–1445, 1981.
- [8] ACARA, A., Türkiye'nin kalıcı Organik kirletici maddelere (POP'ler) ilişkin Stockholm Sözleşmesi için taslak ulusal uygulama planı, 2006.
- [9] YAVUZ, H., GULER, G. O., AKTUMSEK, A., CAKMAK, Y. S., OZPARLAK, H., Determination of some organochlorine pesticide residues in honeys from Konya, Turkey, *Environ. Monit. Assess.*, 168:277–283, 2010.
- [10] FILIZ, N., KUCUKSEZGIN, F., Composition and distribution of organochlorine pesticide residues in surface sediments from gediz and bakircay rivers (eastern aegean), *Fresenius Environ. Bull.*, 17(6):744–754, 2008.

- [11] KURT, P. B., OZKOC, H. B., A survey to determine levels of chlorinated pesticides and pcbs in mussels and seawater from the mid-black sea coast of turkey, *Mar. Pollut. Bull.*, 48(11-12):, 1076–1083, 2004.
- [12] AYAS, Z., BARLAS, N. E., KOLANKAYA, D., Determination of organochlorine pesticide residues in various environments and organisms in goksu delta, Turkey., *Aquat. Toxicol.*, 39(2):, 171–181, 1997.
- [13] TURGUT, C., The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surface water in kucuk menderes river in turkey, *Environ. Int.*, 29(1):, 29–32, 2003.
- [14] ISLEYEN, M., SEVIM, P., USLAN, M., DDX Profiles in Agricultural Fields Used for Cucurbit Production in Sakarya, Turkey, *Soil Sediment Contam. An Int. J.*, 22(6):, 689–700, 2013.
- [15] MATOLCSY, G., NADASY, M., V. A., *Pesticide Chemistry*, Elsevier Science Publishing Company, New York, NY, United States., 1988.
- [16] MCEWEN, F.L., G. R. S., *The Use and Significance of Pesticides in the Environment*, John Wiley & Sons Inc, Toronto, ON, Canada, 1979.
- [17] LAWLESS, E. W., *The Rise and Fall of DDT*, *Technol. Soc. Shock*, 269–287, 1977.
- [18] VOLDNER, E. C., *Global usage of selected persistent organochlorines*, *Science of the Total Environment*, 201–210, 1995.
- [19] STEINER, L.F., ARNOLD, C.H., AND S. A. S., *Laboratory and Field Tests of DDT for Control of the Coddling Moth*, *J. Econ. Entomol.*, 37:, 144, 1944.
- [20] WANIA, F., MACKAY, D., Peer reviewed: tracking the distribution of persistent organic pollutants., *Environ. Sci. Technol.*, 30:, 390A–6A, 1996.
- [21] SMITH, A. G., *Handbook of Pesticide Toxicology, Volume 2, Classes of Pesticides.*, Hayes, W.J. & E.R. Laws (Eds.), 1991.
- [22] WANIA, F., MACKAY, D., *The evolution of mass balance models of persistent organic pollutant fate in the environment*, *Environ. Pollut.*, 100(1-3):, 223–240, 1999.
- [23] BROOKE, D., NIELSEN, I., DE BRUIJN, J., HERMENS, J., *An interlaboratory evaluation of the stir-flask method for the determination of octanol-water partition coefficients (log Pow)*, *Chemosphere*, 21(1-2):, 119–133, 1990.

- [24] JAMES PONTOLILLO AND ROBERT P. EGANHOUSE, The Search for Reliable Aqueous Solubility (S_w) and Octanol-Water Partition Coefficient (K_{ow}) Data for Hydrophobic Organic Compounds: DDT and DDE as a Case Study, 2001.
- [25] KUMAR, K. S., KANNAN, K., Distribution and elimination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls, and p, p'-DDE in tissues of bald eagles from the upper peninsula of, ... *Sci. Technol.*, 2002.
- [26] GERBERDING, J. L., Toxicological profile for DDT, DDE, and DDD, 2002.
- [27] FISHBEIN, L., Mutagens and potential mutagens in the biosphere I. DDT and its metabolites, polychlorinated biphenyls, chlorodioxins, polycyclic aromatic hydrocarbons, haloethers, *Sci. Total Environ.*, 2(4):, 305–340, 1974.
- [28] AISLABIE, J., LLOYD-JONES, G., A review of bacterial-degradation of pesticides, *Aust. J. Soil Res.*, 33:, 925, 1995.
- [29] MILLER, G. C., ZEPP, R. G., Photoreactivity of aquatic pollutants sorbed on suspended sediments, *Environ. Sci. Technol.*, 13(7):, 860–863, 1979.
- [30] RACKE, K., SKIDMORE, M., HAMILTON, D., UNSWORTH, J., MIYAMOTO, J., COHEN, S., Pesticide fate in tropical soils, *Pestic. Sci.*, 55(2):, 219–220, 1999.
- [31] AISLABIE, J. M., RICHARDS, N. K., BOUL, H. L., Microbial degradation of DDT and its residues—A review, *New Zeal. J. Agric. Res.*, 40(2):, 269–282, 1997.
- [32] AGENCY, U. S. E. P., RESPONSE, E., Ecological Soil Screening Levels for DDT and Metabolites, 2007.
- [33] ZAYED, S. M. A. D., MOSTAFA, I. Y., ELARAB, A. E., Chemical and biological release of C-14 bound residues from soil treated with C-14 p,p'-DDT, *J. Environ. Sci. Heal. Part B-Pesticides Food Contam. Agric. Wastes*, 29(1):, 169–175, 1994.
- [34] ANDREA, M. M., LUCHINI, L. C., MELLO, M. H. S. H., TOMITA, R. Y., MESQUITA, T. B., MUSUMECI, M. R., Dissipation and degradation of DDT, DDE, and Parathion in brazilian soils, *J. Environ. Sci. Heal.*, 29:, 121–132, 1994.
- [35] NORRIS, G., AL-DHAHIR, Z., BIRNSTINGL, J., PLANT, S. J., CUI, S., MAYELL, P., A case study of the management and remediation of soil contaminated with polychlorinated biphenyls, *Eng. Geol.*, 53(2):, 177–185, 1999.
- [36] KAWALA, Z., ATAMAŃCZUK, T., Microwave-Enhanced Thermal Decontamination of Soil, *Environ. Sci. Technol.*, 32(17):, 2602–2607, 1998.

- [37] KILE, D. E., CHIOU, C. T., Water solubility enhancements of DDT and trichlorobenzene by some surfactants below and above the critical micelle concentration, *Environ. Sci. Technol.*, 23(7):, 832–838, 1989.
- [38] CASTELO-GRANDE, T., AUGUSTO, P. A., BARBOSA, D., Removal of pesticides from soil by supercritical extraction—a preliminary study, *Chem. Eng. J.*, 111(2-3):, 167–171, 2005.
- [39] SINGH, D. K., AGARWAL, H. C., Chemical release and nature of soil-bound DDT residues, *J. Agric. Food Chem.*, 40(9):, 1713–1716, 1992.
- [40] SINGH, B. K., KUHAD, R. C., SINGH, A., TRIPATHI, K. K., GHOSH, P. K., Microbial degradation of the pesticide lindane (γ -hexachlorocyclohexane), *Adv. Appl. Microbiol.*, 47:, 269–98, 2000.
- [41] RUSSELL, K., The use and effectiveness of Phytoremediation to treat persistent organic pollutants, *Environ. Careers Organ. (for US EPA)*, (August):, 2005.
- [42] BURKEN, J. G., SCHNOOR, J. L., Phytoremediation: Plant Uptake of Atrazine and Role of Root Exudates, *J. Environ. Eng.*, 122(11):, 958–963, 1996.
- [43] CAMPOS, V. M., MERINO, I., CASADO, R., PACIOS, L. F., GÓMEZ, L., Review. Phytoremediation of organic pollutants, *Spanish J. Agric. Res.*, 6:, 38–47, 2008.
- [44] ETIM, E. E., Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review, *Int. J. Environ. Bioenergy*, 2(3):, 120–136, 2012.
- [45] WHITE, J. C., KELSEY, J. W., HATZINGER, P. B., ALEXANDER, M., Factors affecting sequestration and bioavailability of phenanthrene in soils, *Environ. Toxicol. Chem.*, 16(10):, 2040–2045, 1997.
- [46] SCRIBNER, S. L., BENZING, T. R., SUN, S., BOYD, S. A., Desorption and bioavailability of aged simazine residues in soil from a continuous corn field, *J. Environ. Qual.*, 21(1):, 115–120, 1992.
- [47] HULSTER, A., MULLER, J. F., MARSCHNER, H., HUELSTER, A., MUELLER, J. F., Soil-Plant Transfer of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans to Vegetables of the Cucumber Family (Cucurbitaceae), *Environ. Sci. Technol.*, 28(6):, 1110–5, 1994.
- [48] ISLEYEN, M., SEVIM, P., WHITE, J. C., Accumulation of Weathered p,p'-DDTs in Grafted Watermelon, *J. Agric. Food Chem.*, 60(4):, 1113–1121, 2012.
- [49] INCORVIA MATTINA, M. J., IANNUCCI-BERGER, W., DYKAS, L., Chlordane uptake and its translocation in food crops, *J. Agric. Food Chem.*, 48:, 1909–1915, 2000.

- [50] WHITE, J. C., Differential bioavailability of field-weathered p,p'-DDE to plants of the Cucurbita and Cucumis genera., *Chemosphere*, 49(2):, 143–52, 2002.
- [51] LUNNEY, A. I., ZEEB, B. A., REIMER, K. J., Uptake of Weathered DDT in Vascular Plants: Potential for Phytoremediation, *Environ. Sci. Technol.*, 38(22):, 6147–6154, 2004.
- [52] MATTINA, M. I., ISLEYEN, M., EITZER, B. D., IANNUCCI-BERGER, W., WHITE, J. C., Uptake by cucurbitaceae of soil-borne contaminants depends upon plant genotype and pollutant properties, *Environ. Sci. Technol.*, 40:, 1814–1821, 2006.
- [53] WHITE, J. C., WANG, X., GENT, M. P. N., IANNUCCI-BERGER, W., EITZER, B. D., SCHULTES, N. P., ARIENZO, M., Subspecies-Level Variation in the Phytoextraction of Weathered p,p'-DDE by Cucurbita pepo, *Environ. Sci. Technol.*, 37(19):, 4368–4373, 2003.
- [54] ISLEYEN, M., SEVIM, P., Accumulation of Weathered P,P'-DDE in Xylem Sap Of Grafted Watermelon, *Int. J. Phytoremediation*, 14(4):, 403–414, 2012.
- [55] WANG, X., WHITE, J. C., GENT, M. P. N., IANNUCCI-BERGER, W., EITZER, B. D., MATTINA, M. I., Phytoextraction of weathered p,p'-DDE by zucchini (*Cucurbita pepo*) and cucumber (*Cucumis sativus*) under different cultivation conditions., *Int. J. Phytoremediation*, 6(4):, 363–85, 2004.
- [56] WHITE, J., Inheritance of p, p'-DDE phytoextraction ability in hybridized Cucurbita pepo cultivars, *Environ. Sci. Technol.*, 44(13):, 5165–5169, 2010.
- [57] ISLEYEN, M., SEVIM, P., WHITE, J. C., Accumulation of weathered p,p'-DDTs in hybridized Cucurbita pepo cultivars, *Environ. Toxicol. Chem.*, 31:, 1699–1704, 2012.
- [58] OTANI, T., SEIKE, N., Comparative effects of rootstock and scion on dieldrin and endrin uptake by grafted cucumber (*Cucumis sativus*), *J. Pestic. Sci.*, 31(3):, 316–321, 2006.
- [59] MATTINA, M. I., BERGER, W. A., EITZER, B. D., Factors affecting the phytoaccumulation of weathered, soil-borne organic contaminants: analyses at the ex Planta and in Planta sides of the plant root, *Plant Soil*, 291(1-2):, 143–154, 2007.
- [60] WHITE, J. C., Plant-facilitated mobilization and translocation of weathered 2,2-bis(p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene (p,p'-DDE) from an agricultural soil., *Environ. Toxicol. Chem.*, 20(9):, 2047–52, 2001.

- [61] WHITE, J. C., MATTINA, M. I., LEE, W. Y., EITZER, B. D., IANNUCCI-BERGER, W., Role of organic acids in enhancing the desorption and uptake of weathered p,p-DDE by *Cucurbita pepo*, *Environ. Pollut.*, 124(1):, 71–80, 2003.
- [62] ÅSLUND, M. W., ZEEB, B., In situ phytoextraction of polychlorinated biphenyl—(PCB) contaminated soil, *Sci. Total ...*, 374(1):, 1–12, 2007.
- [63] VOLKERING, F., BREURE, A., RULKENS, W., Microbiological aspects of surfactant use for biological soil remediation, *Biodegradation*, 8(6):, 401–17, 1997.
- [64] DESHPANDE, S., SHIAU, B. J., WADE, D., SABATINI, D. A., HARWELL, J. H., Surfactant selection for enhancing ex situ soil washing, *Water Res.*, 33(2):, 351–360, 1999.
- [65] MULLIGAN, C. N., Environmental applications for biosurfactants., *Environ. Pollut.*, 133(2):, 183–98, 2005.
- [66] ALMGREN, M., GRIESER, F., THOMAS, J., Dynamic and static aspects of solubilization of neutral arenes in ionic micellar solutions, *J. Am. ...*, 101(2):, 279–291, 1979.
- [67] WEST, C., HARWELL, J., Surfactants and subsurface remediation, *Environ. Sci. Technol.*, 26(12):, 2324–2330, 1992.
- [68] GUHA, S., JAFFÉ, P., Bioavailability of hydrophobic compounds partitioned into the micellar phase of nonionic surfactants, *Environ. Sci. Technol.*, 30(4):, 1382–1391, 1996.
- [69] LU, L., ZHU, L., Reducing plant uptake of PAHs by cationic surfactant-enhanced soil retention., *Environ. Pollut.*, 157(6):, 1794–9, 2009.
- [70] DENYES, M. J., LANGLOIS, V. S., RUTTER, A., ZEEB, B. A., The use of biochar to reduce soil PCB bioavailability to *Cucurbita pepo* and *Eisenia fetida*., *Sci. Total Environ.*, 437:, 76–82, 2012.
- [71] DENYES, M. J., RUTTER, A., ZEEB, B. A., In situ application of activated carbon and biochar to PCB-contaminated soil and the effects of mixing regime., *Environ. Pollut.*, 182:, 201–8, 2013.
- [72] BEESLEY, L., MORENO-JIMÉNEZ, E., A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils, *Environ. ...*, 159(12):, 3269–82, 2011.
- [73] GHOSH, U., LUTHY, R., In-situ sorbent amendments: a new direction in contaminated sediment management, ... *Sci. Technol.*, 1163–1168, 2011.

- [74] KUPRYIANCHYK, D., RAKOWSKA, M., In situ treatment with activated carbon reduces bioaccumulation in aquatic food chains, ... *Sci. Technol.*, 47(9):, 4563–71, 2013.
- [75] JAKOB, L., HARTNIK, T., HENRIKSEN, T., ELMQUIST, M., BRANDLI, R. C., HALE, S. E., CORNELISSEN, G., PAH-sequestration capacity of granular and powder activated carbon amendments in soil, and their effects on earthworms and plants., *Chemosphere*, 88(6):, 699–705, 2012.
- [76] CORNELISSEN, G., KRUSÅ, M. E., BREEDVELD, G. D., EEK, E., OEN, A. M. P., ARP, H. P. H., RAYMOND, C., SAMUELSSON, G., HEDMAN, J. E., STOKLAND, Ø., GUNNARSSON, J. S., Remediation of contaminated marine sediment using thin-layer capping with activated carbon--a field experiment in Trondheim harbor, Norway., *Environ. Sci. Technol.*, 45(14):, 6110–6, 2011.
- [77] CHO, Y.-M., GHOSH, U., KENNEDY, A. J., GROSSMAN, A., RAY, G., TOMASZEWSKI, J. E., SMITHENRY, D. W., BRIDGES, T. S., LUTHY, R. G., Field application of activated carbon amendment for in-situ stabilization of polychlorinated biphenyls in marine sediment., *Environ. Sci. Technol.*, 43(10):, 3815–23, 2009.
- [78] BECKINGHAM, B., GHOSH, U., Field-scale reduction of PCB bioavailability with activated carbon amendment to river sediments., *Environ. Sci. Technol.*, 45(24):, 10567–74, 2011.
- [79] DENYES, M. J., RUTTER, A., ZEEB, B. A, In situ application of activated carbon and biochar to PCB-contaminated soil and the effects of mixing regime., *Environ. Pollut.*, 182(2011):, 201–8, 2013.
- [80] JIANG, L., MA, L., SUI, Y., HAN, S. Q., WU, Z. Y., FENG, Y. X., YANG, H., Effect of manure compost on the herbicide prometryne bioavailability to wheat plants., *J. Hazard. Mater.*, 184(1-3):, 337–44, 2010.
- [81] SELLSTROM, U., DE WIT, C. A., LUNDGREN, N., TYSKLIND, M., Effect of sewage-sludge application on concentrations of higher-brominated diphenyl ethers in soils and earthworms, *Environ. Sci. Technol.*, 39(23):, 9064–9070, 2005.
- [82] Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik.
- [83] ISLEYEN, M., SEVİM, P., WHITE, J., Accumulation of weathered p, p'-DDTs in hybridized Cucurbita pepo cultivars, *Environ. Toxicol. ...*, 31(8):, 1699–1704, 2012.
- [84] LUNNEY, A. I., RUTTER, A., ZEEB, B. A, Effect of organic matter additions on uptake of weathered DDT by Cucurbita pepo ssp. pepo cv. Howden., *Int. J. Phytoremediation*, 12(4):, 404–17, 2010.

- [85] WHITE, P. M., WOLF, D. C., THOMA, G. J., REYNOLDS, C. M., Influence of Organic and Inorganic Soil Amendments on Plant Growth in Crude Oil-Contaminated Soil, *Int. J. Phytoremediation*, 5(4):, 381–397, 2003.
- [86] SARANGI, P. K., MAHAKUR, D., MISHRA, P. C., Soil biochemical activity and growth response of rice *Oryza sativa* in flyash amended soil, *Biodegradation*, 76:, 199–205, 2001.
- [87] MATTHIJS, J. H., MEULEN, F., Impact of grazing and atmospheric nitrogen deposition on the vegetation of dry coastal dune grasslands, *J. Veg. Sci.*, 9:, 445–452, 1996.
- [88] DOUGHERTY, K. M., MENDELSSOHN, I. A., MONTEFERRANTE, F. J., Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Additions on Plant Biomass and Soil Nutrient Content of a Swale Barrier Strand Community in Louisiana, *Ann. Bot.*, 66(3):, 265–271, 1990.
- [89] WHITE, J. C., PARRISH, Z. D., GENT, M. P. N., IANNUCCI-BERGER, W., EITZER, B. D., ISLEYEN, M., MATTINA, M. I., Soil amendments, plant age, and intercropping impact p,p'-DDE bioavailability to *Cucurbita pepo*., *J. Environ. Qual.*, 35(4):, 992–1000, 2006.
- [90] MATTINA, M. I. J. I., EITZER, B. D., IANNUCCI-BERGER, W., LEE, W.-Y., WHITE, J. C., Plant uptake and translocation of highly weathered, soil-bound technical chlordane residues: Data from field and rhizotron studies, *Environ. ...*, 23(11):, 2756–2762, 2004.
- [91] WHITFIELD ASLUND, M. L., LUNNEY, A. I., RUTTER, A., ZEEB, B. A., Effects of amendments on the uptake and distribution of DDT in *Cucurbita pepo* ssp *pepo* plants., *Environ. Pollut.*, 158(2):, 508–13, 2010.
- [92] KOBAYASHI, T., NAVARRO, R. R., TATSUMI, K., IMURA, Y., Influence of compost amendment on pyrene availability from artificially spiked soil to two subspecies of *Cucurbita pepo*., *Sci. Total Environ.*, 404(1):, 1–9, 2008.
- [93] BROMILOW, R.H., AND CHAMBERLAIN, K., Plant contamination: modeling and simulation of organic chemical processes., *Principles governing uptake and transport of chemicals*, J.C. Trapp, S., McFarlane (ed), Lewis Publishers, 37–68, 1995.
- [94] MCGRATH, S. P., ZHAO, F.-J., Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils, *Curr. Opin. Biotechnol.*, 14(3):, 277–282, 2003.
- [95] PETERS, R., KELSEY, J. W., WHITE, J. C., Differences in p,p'-DDE bioaccumulation from compost and soil by the plants *Cucurbita pepo* and *Cucurbita maxima* and the earthworms *Eisenia fetida* and *Lumbricus terrestris*., *Environ. Pollut.*, 148(2):, 539–45, 2007.

- [96] VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A C., VAN DER VELDE, M., DÍAFAS, I., *Biochar Application to Soils*, 2010.
- [97] STREK, H. J., WEBER, J. B., SHEA, P. J., MROZEK, E., OVERCASH, M. R., Reduction of polychlorinated biphenyl toxicity and uptake of carbon-14 activity by plants through the use of activated carbon, *J. Agric. Food Chem.*, 29(2):, 288–293, 1981.
- [98] LAMOREAUX, R., CORBIN, V., JOHL, B., Adsorption and deactivation of norflurazon by activated charcoal, *Weed Technol.*, 3(2):, 297–302, 1989.

ÖZGEÇMİŞ

Pınar Sevim, 10.07.1986' da Kırklareli'nde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kırklareli'nin Vize ilçesinde tamamladı. 2004 yılında Vize Lisesinden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2008 yılında bitirdi. 2008 yılında Gebze İleri teknoloji Enstitüsünde başladığı yüksek lisansını 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptıktan sonra 2011 yılında mezun oldu. 2008-2012 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yürütülen 108O244 ve 109Y341 nolu TÜBİTAK araştırma projelerinde bursiyer olarak çalıştı. Şu anda Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde Uzman olarak görev yapmaktadır.