

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEBZE ÜRETİMİNDE KULLANILAN PESTİSİTLERİN
ÇEVRESEL AKİBETLERİNİN ÇOK-ORTAMLI TAŞINIM
MODELLERİ İLE İNCELENMESİ

ELİF PINAR KULA

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEBZE ÜRETİMİNDE KULLANILAN PESTİSİTLERİN
ÇEVRESEL AKİBETLERİNİN ÇOK-ORTAMLI TAŞINIM
MODELLERİ İLE İNCELENMESİ

ELİF PINAR KULA

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Aykan KARADEMİR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Mahmut Kemal KORUCU
Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğim ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

-
beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler no'lu proje kapsamında maddi destek alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Elif Pınar KULA

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Elif Pınar KULA

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tarımsal üretim artışına bağlı olarak artan pestisit kullanımı çevresel ortamlar ve sağlık alanında risklere yol açmaktadır. Pestisitlerin çevrede, biyotada ve insanlar üzerinde oluşturduğu riskleri değerlendirmek, olası riskleri öngörmek ve önleme çalışmaları oluşturulması için bu kimyasalların çevresel ortamlarda akıbetinin anlaşılması önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, literatür araştırması sonucu yaş sebzelerde kalıntı değerlerinin yüksek olduğu tespit edilen pestisitlerin çok ortamlı çevresel modeller ve dinamik bitki alım modeli ile değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimi ve deneyimi ile bana yol gösteren, destekleyen ve bu süreçte ilerlememi sağlayan danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen aileme, sevgili eşime, bu süreçte gösterdiği sabrı için sevgili İpek'e teşekkür ederim.

Haziran 2024

Elif Pınar KULA

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Türkiye’de ve Dünyada Pestisit Kullanımı.....	3
2.2. Türkiye’de Yapılmış Pestisit Kalıntıları Çalışmaları	5
2.2.1. Meyvelerde Pestisit Tespitine Yönelik Çalışmalar.....	6
2.2.2. Yaş Sebzelerde Pestisit Tespitine Yönelik Çalışmalar	7
2.2.3. Genel Değerlendirme	9
2.3. Pestisitlerin Çevrede Akıbeti	9
2.4. Pestisitlerin Sağlık Etkileri	13
2.5. Yasal Mevzuat	16
3. ÇOK ORTAMLI ÇEVRESEL MODELLERİN PESTİSİTLERİN ÇEVRESEL MARUZİYET RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANIMI	18
3.1. Çok Ortamli Çevresel Akıbet Modelleri.....	18
3.1.1. Çok Ortamli Çevresel Modellerde Fugasite Yaklaşımı	19
3.1.2. Equilibrium Criterion (EQC) Model.....	22
3.2. Bitki Alım Modelleri.....	25
3.2.1. Genel Bakış.....	25
3.2.2. DynamiCROP Modeli.....	28
4. YÖNTEM	36
4.1. Modelde Kullanılacak Yaş Sebzelerin Belirlenmesi	36
4.2. Model Değerlendirmelerinde Kullanılacak Pestisitlerin Belirlenmesi	36
4.2.1. Acetamiprid, Chlorpyrifos ve Pyridaben	39
4.3. Pestisitlerin Çevresel Akıbet Modelleri ile Değerlendirilmesi	41
4.4. Pestisitlerin Bitkiye Alımının DynamiCROP Modeli ile Değerlendirilmesi.....	42
4.4.1. Kuramsal Senaryolar.....	43
4.4.2. Gerçeğe Yakın Koşullar için Oluşturulmuş Senaryolar	44
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
5.1. Çevresel Akıbet Modellemesi.....	45
5.1.1. Kimyasal Uzay Diyagramı.....	45
5.1.2. EQC Model Simülasyonları.....	47
5.2. Bitkiye Alım Modellemesi.....	53
5.2.1. Kuramsal Senaryo: Temel Simülasyon.....	53
5.2.2. Kuramsal Senaryo: Çevresel Şartların Etkisinin Değerlendirilmesi.....	57
5.2.3. Kuramsal Simülasyon: İşletme Şartlarının Değerlendirilmesi	59
5.2.4. Gerçekçi Senaryo: Yasal Mevzuatta Belirlenen Şekilde Yapılan Pestisit Uygulamaları	63

5.2.5. Gerçekçi Senaryo: Birden Fazla Pestisit Uygulamasının Etkisi.....	78
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR.....	88
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	107



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Türkiye'de Yıllara Göre Pestisit Kullanım Miktarı (Ton).....	4
Şekil 2.2.	2023 Yılında Kullanılan Pestisitlerin Oransal Dağılımı	5
Şekil 3.1.	Kompartmanlar Arası D Değerleri (D_{ij} : i kompartmanından j kompartmanına transfer D değeri).....	21
Şekil 3.2.	Bitki Alım Yolları	26
Şekil 3.3.	İki kompartmanlı sistemde kütle değişimi.....	30
Şekil 3.4.	Çevre – mahsul sistemi	32
Şekil 3.5.	Domates meyvesi büyüme eğrisi ($M_0 = 0,15$ kg, $M_{maks} = 2,54$, $k=0,11$).....	33
Şekil 4.1.	Acetamiprid iki boyutlu şeması	39
Şekil 4.2.	Chlorpyrifos iki boyutlu şeması.....	40
Şekil 4.3.	Pyridaben iki boyutlu şeması.....	41
Şekil 5.1.	Kimyasal uzay diyagramı	45
Şekil 5.2.	EQC model acetamiprid uygulaması	50
Şekil 5.3.	EQC model chlorpyrifos uygulaması	51
Şekil 5.4.	EQC model pyridaben uygulaması.....	52
Şekil 5.5.	EQC modelde pestisitlerin kompartmanlarda kütle dağılımı	52
Şekil 5.6.	Kompartmanlarda kütle değişimi	59
Şekil 5.7.	Meyve kompartmanında kimyasal kütlelerine diğer kompartmanların katkısı.....	60
Şekil 5.8.	Organik Karbon Miktarının Model Sonuçlarına Etkisi – Acetamiprid	58
Şekil 5.9.	Pestisit uygulama yönteminin hasat zamanı kalıntı miktarına etkisi.....	59
Şekil 5.10.	Farklı büyüme dönemlerinde acetamiprid uygulaması.....	61
Şekil 5.11.	Farklı büyüme dönemlerinde chlorpyrifos uygulaması.....	62
Şekil 5.12.	Farklı büyüme dönemlerinde pyridaben uygulaması	62
Şekil 5.13.	Domates bitkisinde kimyasal kütleleri değişim	68
Şekil 5.14.	Meyve kompartmanında kimyasal kütlelerine diğer kompartmanların katkısı (domates).....	69
Şekil 5.15.	Biber bitkisinde kimyasal kütleleri değişimi.....	73
Şekil 5.16.	Meyve kompartmanında kimyasal kütlelerine diğer kompartmanların katkısı (biber).....	74
Şekil 5.17.	Hıyar bitkisinde kimyasal kütleleri değişimi.....	76
Şekil 5.18.	Meyve kompartmanında kimyasal kütlelerine diğer kompartmanların katkısı (hıyar).....	77
Şekil 5.19.	Çoklu acetamiprid uygulaması- meyve kompartmanında kimyasal kütleleri.....	79
Şekil 5.20.	Çoklu chlorpyrifos uygulaması- meyve kompartmanında kimyasal kütleleri.....	80
Şekil 5.21.	Çoklu pyridaben uygulaması- meyve kompartmanında kimyasal kütleleri.....	81

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. EQC Model Kompartmanları Fiziksel Özellikleri	23
Tablo 4.1. Türkiye'de taze sebzelere odaklanan pestisit kalıntı analizi çalışmaları	36
Tablo 4.3. DynamiCrop simülasyonları.....	43
Tablo 5.1. Kompartmanlarda kimyasal kütlesi.....	47
Tablo 5.3. Sistemde toplam kalıcılık	48
Tablo 5.4. Kompartmanlarda yarı ömür	49
Tablo 5.5. Pestisitlerin ortamlar arası taşınım oranları	53
Tablo 5.6. Hasat Zamanında Kimyasal Kütlesi	54
Tablo 5.7. Kompartmanlarda Kalıcılık	54
Tablo 5.8. Hıyar ve Biber Ürünleri Girdi Parametreleri.....	64
Tablo 5.9. Yasal mevzuat kapsamında pestisit uygulaması	64
Tablo 5.10. Kompartmanlarda kalıcılık (domates).....	66
Tablo 5.11. Kompartmanlarda kalıcılık (biber)	71
Tablo 5.12. Kompartmanlarda kalıcılık (hıyar)	75
Tablo A.1. Pestisitlere ait MRL değerleri ve hasat öncesi bekleme süresi	101
Tablo A.2. Pestisitlere ait fiziko-kimyasal özellikler.....	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Konsatrasyon, (mol/m ³)
D	: D değeri, (mol/Pa gün)
f	: Fugasite, (Pa)
h _F	: Hasat fraksiyonu
k	: Üstel büyüme sabiti
k _{adv}	: Advektif taşınım katsayısı
k _{deg}	: Degredasyon katsayısı
k _{dif}	: Difüzyon taşınım katsayısı
K _{OC}	: Organik karbon paylaşım oranı
K _{OA}	: Oktanol-hava paylaşım oranı
K _{OW}	: Oktanol-su paylaşım oranı
K _{QA}	: Hava-su paylaşım oranı
m	: Metre
M	: Kütle (kg)
m ²	: Metrekare
MW	: Molelül ağırlığı, (g/mol)
i _F	: Alım fraksiyonu
t _{1/2}	: Yarı ömür, (gün)
Q	: Akı, (m ³ /gün)
V :	Hacim (m ³)
Z	: Fugasite kapasitesi, (mol/m ³ Pa)
λ	: Eliminasyon

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BCF	: Biyokonsantrasyon Faktörü
CAS	: Chemical Abstracts Service
EQC	: Equilibrium Criterion Model
DDT	: Diklorodifeniltriokloroetan
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FAOSTAT	: Global Food and Agriculture Statistics of FAO
HCB	: Hexachlorobenzene
LAS	: Linear Alkylbenzene Sulfonates
MRL	: Maximum Residue Limit (Maksimum Kalıntı Limiti)
RASFF	: Gıda ve Yemler İçin Hızlı Alarm Sistemi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

SEBZE ÜRETİMİNDE KULLANILAN PESTİSİTLERİN ÇEVRESEL AKİBETLERİNİN ÇOK-ORTAMLI TAŞINIM MODELLERİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de yaş sebzelerde sıklıkla kalıntısına rastlanan pestisitlerin çevresel akıbetini çevresel modeller ve dinamik bitki alım modeli ile değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, Türkiye’de yaş sebzelerde, pestisit kalıntısı değeri maksimum kalıntı limitini aştığı tespit edilen kimyasallar literatür araştırması ile belirlenmiştir. Pestisitlerin fiziko-kimyasal özellikleri literatürden elde edilerek model uygulamalarında girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Pestisitlerin çevresel ortamlarda akıbeti Equilibrium Criterion (EQC) Model kullanılarak incelenmiştir ve karşılaştırılmıştır. Pestisitlerin bitkilerde kalıntı miktarları ve çevresel sistem içerisindeki kompartmanlarda kütlesi DynamiCROP dinamik bitki alım modeli ile değerlendirilmiştir. Çevresel ortam özellikleri ve işletme parametrelerinin pestisit kalıntısı ve kimyasal kütlesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik Bitki Alımı, DynamiCROP, Pestisit Kalıntısı.

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FATE OF PESTICIDES USED IN VEGETABLE PRODUCTION BY MULTI-MEDIA TRANSPORT MODELS

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the environmental fate of pesticides, which are often found in fresh vegetables in Turkey, using environmental models and dynamic plant intake model. In this context, the chemicals found to exceed the maximum residue limit of pesticide residue value in fresh vegetables in Turkey have been determined by literature research. The physico-chemical properties of pesticides were obtained from the literature and used as input parameters in model applications. The fate of pesticides in environmental media has been studied and compared using the Equilibrium Criterion (EQC) Model. The amount of residues of pesticides in plants and the mass of pesticides in compartments within the environmental system were evaluated using the DynamiCROP dynamic plant intake model. The effects of environmental environment characteristics and operating parameters on pesticide residue and chemical mass were studied.

Keywords: Dynamic Plant Uptake, DynamiCROP, Pesticide Residue.

1. GİRİŞ

Türkiye, yaş sebze üretiminde dünyanın önde gelen ülkelerindendir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) 2021 verilerine göre Türkiye, toplam yaş sebze üretiminde Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri'nin ardından 4. sıradadır (FAO, 2023a). Dünyada en çok üretilen yaş sebze olan domates özelinde ise Türkiye, Çin ve Hindistan'dan sonra 3. büyük üretici konumundadır. FAO'nun 2021 yılına ait toplam sebze ihracatı verileri incelendiğinde, Türkiye'nin ihracat miktarı büyüklüğünde dünyada 8. sırada (2,34 milyon ton), ihracat değeri büyüklüğünde ise 12. sırada (1.9 milyar dolar) olduğu görülmektedir (FAO, 2023b).

Tarımsal üretimin önemli bir parçası olan bitki koruma süreçlerinde temel prensip doğal çevreye zarar vermeden, zirai ürünleri hastalıklar, tarım zararlıları ve yabani ot yoğunluğundan korumaktır. Doğan ve Karpuzcu, 2019 tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de pestisit kullanımı 1.66 kg/ha olduğu belirtilmektedir. Diğer ülkelerle karşılaştırıldığında bu miktar ortalamanın altında kalsa da Türkiye'de pestisit kullanımının tarım faaliyetlerinin yoğun olarak sürdürüldüğü Akdeniz Bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir (Delen ve diğ., 2005; Doğan, 2019).

Pestisit kullanımının tarımda verimi ve üretim miktarını arttırmak gibi avantajları bulunmaktadır. Buna karşılık pestisitlerin çevrede kirlilik oluşturmaları ve tarım ürünlerinde pestisit kalıntılarına rastlanması, hem sağlık açısından hem de ekonomik açıdan olumsuzluk oluşturmaktadır. Avrupa Birliği, birlik dışındaki ülkelere ithal ettiği yem, hayvansal gıda, süt ve süt ürünleri, bal, bitkisel ürünler, şifalı bitkiler gibi tüm gıda ve hayvan yemi ürünlerinin denetimi amacıyla Gıda ve Yemler İçin Hızlı Alarm Sistemi (RASFF) portalını kullanmaktadır (RASFF Window, 2023). Türkiye, AB'ye ihracat yapan diğer ülkelere kıyasla en fazla bildirim yapılan ülke konumundadır (European Commission, 2022). Pestisit kalıntıları ile ilgili bildirimler anlık olarak RASFF Window sitesinden sorgulanabilmektedir (RASFF Window, 2023). 01.01.2023 ve 01.01.2024 tarihleri arasında Türkiye'de üretilen ve AB'ye ihraç edilen yaş sebze ve meyvelerde pestisit kalıntısına rastlandığı belirtilen 166 adet bildirim olduğu görülmektedir (RASFF Window, 2023). Kalıntı içeren ürünlerin Türkiye'ye iade edilmesi ekonomik açıdan olumsuz etki yaratmaktadır (Çınar ve diğ., 2017).

Bu çalışmada Türkiye’de üretilen yaş sebzelerde sıklıkla maksimum kalıntı sınır değerlerini geçen pestisitlerin tespit edilmesi, belirlenen pestisitlerin fiziko-kimyasal özelliklerinin elde edilerek model uygulamaları ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Yaygın kullanımda olan ve yüksek dozlarda uygulanan pestisitlerin çevresel risklerinin çok ortamlı akıbet modelleri ile incelenmesi ve domates ürününde bulunan pestisit miktarlarının uygulama sonrası zamanla değişiminin dinamik bir bitki alımı modeli incelenmesi amaçlanmıştır.

Bölüm 2’de dünya genelinde ve Türkiye’de pestisitlerin kullanım eğilimleri hakkında bilgi verilmiştir. Türkiye’de yapılmış olan ve pestisit kalıntılarının incelendiği çalışmalar derlenmiştir. Domates, biber ve hıyar ürünlerinde maksimum kalıntı limit değerinin aşıldığı pestisitler tespit edilmiştir. Pestisitlerin uygulanması sonrasında, kimyasalların çevresel ortamlarda akıbeti hakkında genel bilgilere değinilmiştir. Pestisit uygulaması sonrası ortaya çıkabilecek olası sağlık etkilerinden bahsedilmiştir. Son olarak Türkiye’de pestisitlerin uygulanması ve denetlenmesi için oluşturulmuş yasal mevzuat hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 3’te çok ortamlı akıbet modelleri açıklanmıştır. Fugasite yaklaşımı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Pestisitlerin çevresel akıbetlerini değerlendirme amacıyla kullanılan EQC model açıklanmıştır. Bitki alım modelleri hakkında genel bilgiler verilerek model uygulamasında kullanılan DynamiCROP modeli detaylandırılmıştır.

Bölüm 4’te literatür bilgilerinden yararlanılarak model simülasyonlarında kullanılacak pestisitler ve yaş sebzeler belirlenmiştir. EQC model değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerden açıklanmıştır. DynamiCROP modelinde uygulanacak simülasyonlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm 5’te belirlenen parametrelere uygun şekilde gerçekleştirilen EQC model uygulamasının sonucuna değinilmiştir. DynamiCROP modelinde uygulanan senaryoların sonucunda elde edilen sonuçlar detaylı olarak açıklanmış ve karşılaştırılmıştır.

Bölüm 6’da ise sonuçların özeti ve öneriler ifade edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Türkiye’de ve Dünyada Pestisit Kullanımı

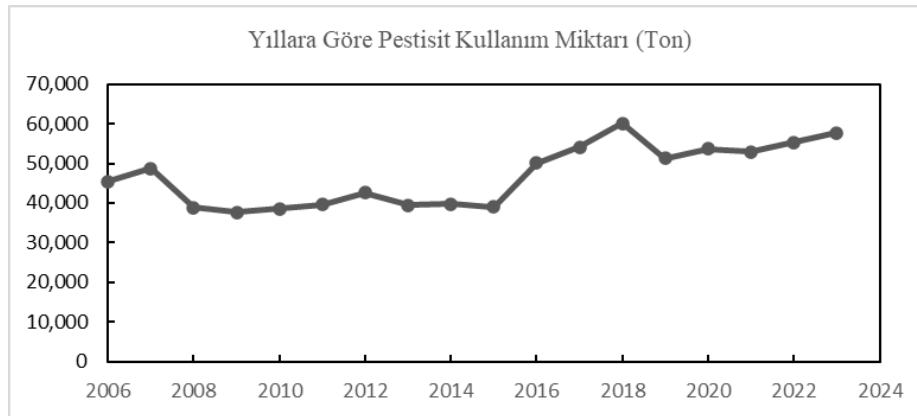
Pestisitler; tarımsal üretim, hasat süreci, depolanma ve taşınma sırasında ürünlere zarar verebilecek böcekler, mikroorganizma, yabancı otlar veya diğer zararlıların neden olabileceği ürün kayıplarını önlemek amacıyla kullanılan sentetik veya organik kimyasallardır (Akdoğan ve diğ., 2012; Sharma ve diğ., 2019). Pestisitlerin hızlı etki etmesi, hedef organizma için toksik olması, kolay uygulanabilir olması, yaban hayatı ve insanlar için güvenilir olması, yanıcı ve patlayıcı etki göstermemesi ve beklenen zamanda toksik olmayan maddelere dönüşmesi beklenmektedir (Akdoğan, 2012; Güler ve Çobanoğlu, 1997). Pestisitlerin sınıflandırılması; etkili oldukları zararlı grubuna göre, kimyasal formülasyonuna göre, fiziksel formuna göre, uygulandıkları gelişim evresine göre ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır (Güler, 1997). Pestisit kullanımı, hastalıklar, zararlılar ve yabancı otlara karşı yapılan tüm zirai mücadelenin yaklaşık %95 kadarını oluşturmaktadır (Tiryaki, Canhilal, ve diğ., 2010). Verimli tarım uygulamaları ve fazla ürün üretilmesine ihtiyaç duyulmasıyla pestisitlere olan talep gittikçe artmıştır. Pestisit kullanılmadan yapılan tarım uygulamalarında hastalık ve zararlılara bağlı ürün kayıpları %78’i bulabilmektedir (Tudi ve diğ., 2021).

Tarımsal üretim sürecinin yaklaşık olarak 1000 yıl önce Mezopotamya bölgesinde başladığı kabul edilmektedir (Tudi, 2021). Tarımsal üretimde zararlılara karşı kullanılan ilk maddelerin kükürt ve arsenik olduğu bilinmektedir (Güler, 1997). Bitkisel olarak elde edilen nikotin 16.yy’da pestisit olarak kullanılmıştır (Erdoğan, 2024). Tarımsal üretimde pestisitlerin kullanımının yaygınlaşması 1940’lı yıllarda başlamıştır. Sentetik olarak üretilen ilk organofosfatlı pestisit TEPP (tetraethylpyrophosphate) 1938 yılında üretilmiştir (Ağar ve diğ., 1991). 1874 yılında sentezlenen DDT (diklorodifeniltri-kloroetan)’ın 1938 yılında insektisit olarak kullanılabileceği tespit edilmiş, 1942 yılında ise dünya genelinde kullanımı yaygınlaşmıştır (Ağar, 1991; Güler, 1997). Türkiye’de pestisit kullanımı ise dünyayla paralel olarak İkinci Dünya Savaşı döneminde yaygınlaşmıştır (Akdoğan, 2012). 1970 yılında EPA (Environmental Protection Agency)’nın kuruluşunun ardından çevreyi korumaya yönelik çalışmaların başlatılması ile dünya genelinde pestisitlerin kullanımının kontrol altına alınması ve

kullanılan etken maddelerin değerlendirilmesi ile bazı kimyasalların kullanımının kısıtlandığı veya yasaklandığı bilinmektedir (Ağar, 1991).

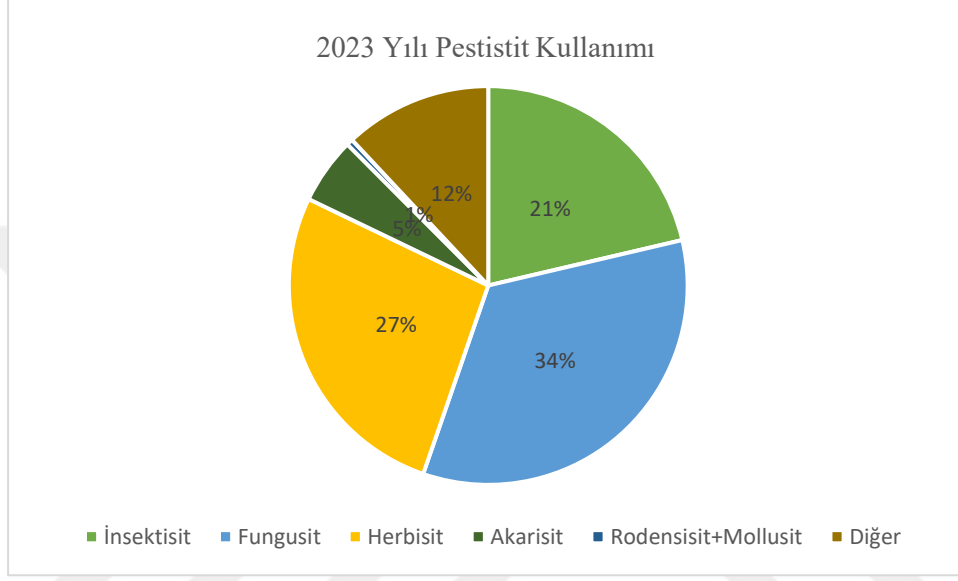
FAOSTAT (Global Food and Agriculture Statistics of FAO)'dan alınan verilere göre 2021 yılında, dünya genelinde tarımsal üretim için 3.531.959,08 ton pestisit kullanılmıştır (FAO, 2021). Brezilya 719.507 ton pestisit kullanım miktarı ile en çok pestisit kullanılan ülke olmuştur. Dünya genelinde tüketilen topla pestisit miktarının %50,2'si Amerika kıtasında kullanılmıştır (FAO, 2021). Dünya üzerinde hektar başına bitki pestisit kullanım miktarı hektar başına 2,26 kg'dır (Erdoğan, 2024).

Türkiye'de tarım yapılan alan büyüklüğü 24 milyar hektardır (Erdoğan, 2024). TÜİK verilerine göre 2023 yılında; 77,7 milyon ton tahıl, 31,8 milyon ton sebze, 27,4 milyon ton ise meyve içecek ve baharat bitkileri üretilmiştir (TÜİK, 2023). Meyvesi yenen sebzelerin üretimi incelendiğinde 13.300 ton domates, 1.871,712 ton hıyar ve 3.081,01 ton biber üretimi gerçekleştirilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023a). Meyvesi yenen sebzeler içerisinde domates %41,8'lik pay ile en çok üretilen ürün olmuştur (TÜİK, 2023). Tarımsal üretimin yoğun olduğu Türkiye'de 2023 yılında 57.766 ton pestisit kullanılmıştır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023b). 2006 ve 2023 yılları arasında tüketilen pestisit miktarları incelendiğinde 2023 yılında tüketilen pestisit miktarının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye'de Yıllara Göre Pestisit Kullanım Miktarı (Ton) (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023b)

Şekil 2.1.'de yıllara göre Türkiye'de kullanılan pestisit miktarı verilmiştir. 2023 yılında Türkiye'de kullanılan pestisit grupları incelendiğinde en fazla tüketilen grubun 19.614 ton tüketim ile fungusitler olduğu görülmektedir. Sonrasında sırasıyla herbisit ve insektisit grubu sıklıkla tüketilen pestisitlerdir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023b). Şekil 2.2.'de 2023 yılında Türkiye'de kullanılan pestisitlerin sınıflarına göre oransal dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. 2023 Yılında Kullanılan Pestisitlerin Oransal Dağılımı

Türkiye'de tarımsal üretimin yoğun olduğu Akdeniz bölgesi en fazla pestisit kullanılan bölgedir (Erdoğan, 2024). Pestisit uygulaması farklı faktörlerden etkilenmektedir. Pestisit uygulandığı mahsul çeşidi, tarım toprağının özellikleri, uygulandığı alandaki zararlı ve/veya hastalık çeşidi, eğitim ve sosyoekonomik durum pestisit uygulamasını etkileyen temel parametreler olarak sıralanabilir (Tudi, 2021).

2.2. Türkiye'de Yapılmış Pestisit Kalıntıları Çalışmaları

Gıda ürünlerinin üretilmesi ve korunması süreçlerinde kullanılan bitki koruma ürünlerinin insan sağlığına etkilerinin anlaşılması amacıyla ürünlerde kalıntı miktarlarının belirlenmesi çalışmaları yapılmaktadır. Pestisit kalıntıları ile ilgili yapılan ilk çalışmaların 1959 yılında başladığı belirtilmiştir (Tiryaki, 2016). 1990'lı yıllarda TÜBİTAK desteği ile yapılan çalışmaların ardından 2000'li yıllarda kalıntı miktarlarına dair çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. 1995 ve 1996 yıllarında yapılan ilk

Çalışmalarda; su, toprak, sediment ve yeraltı suyu gibi farklı çevresel ortamlarda kalıntı analizleri yapılmıştır (Barlas, 1996; Erbatur ve Erbatur O., 1995). Türkiye’de gıda ürünlerinde pestisit kalıntısı miktarlarının tespit edilmesine yönelik ilk çalışma 1959 yılında tohumluk buğdayda hexachlorbenzen kalıntılarını tespit etmek amacıyla yapılmıştır (Otacı ve Gverener, 1959).

Gıdalarda kalıntı miktarlarının araştırıldığı çalışmalara bakıldığında Türkiye’nin farklı bölgelerinden çeşitli ürünlerin incelendiği görülmektedir. Bazı çalışmalarda numuneler doğrudan üretim alanlarından alınıp incelenirken, bazı çalışmalarda yerel ve zincir marketler ile manav, hal ve pazarlardan alınan numuneler incelenmiştir.

2.2.1. Meyvelerde Pestisit Tespitine Yönelik alışmalar

2006 yılında İzmir ve Antalya bölgelerinde yapılan çalışmada (Bilgin, 2007), mandalina, portakal ve limon ürünleri incelenmiş, ve bazı limon örneklerinde MRL düzeyinin aşıldığı tespit edilmiştir. Yine 2013 yılında Muğla ili Ortaca bölgesinde 54 farklı üretim alanında limon, mandalina, portakal ve greyfurt numuneleri analiz edilmiş ve 198 farklı insektisit etken maddesi taranmıştır (Civelek ve Dinçay, 2017). Dört numunede abamectin etken maddesi için MRL değerinin aşıldığı görülmüştür. MRL değeri aşılmayan pestisitlerin ise %26’sının turunçgil grubu için ruhsatsız olduğu ve kullanımının yasak olduğu belirtilmiştir (Civelek, 2017).

Elma yetiştiriciliğinde kullanılan pestisitlerin kalıntılarının incelendiği bir başka çalışmada (Akyüz ve Kasap, 2017), pyridaben ve tebuconazole etken maddeli pestisitlerin uygulanması ardından sırasıyla 1., 6., 14. ve 21. günlerde örneklemeler yapılmıştır. Birinci gün alınan numunelerde pyridaben etken maddesi için MRL değerinin aşıldığı belirtilmiştir (Akyüz, 2017). Konya ilinde pazar ve marketlerden alınan erik, kayısı, nektarin, kiraz, vişne ve şeftali ürünleri incelenmiş (Ersoy, Tatlı, ve diğ., 2011a) ve kayısı örneklerinde amitraz, kiraz örneklerinde monocrotophos, vişne örneklerinde chlorpyrifos etken maddesinin MRL değerini aştığı görülmüştür. Konya ilinde 2010 yılında yapılan bir çalışmada (Ersoy ve diğ., 2019) ise armut, ayva ve elma numuneleri analiz edilmiş ve örneklerin %68’inde pestisit kalıntısına rastlanmıştır.

Elma örneklerinde thiabendazol ve azoxystrobin etken maddelerinin, armut örneklerinde amitraz etken maddesinin, ayva örneklerinde ise thibendazol ve chlorpyrifos etken maddelerinin MRL değerini aştığı görülmüştür (Ersoy, 2019).

2020 yılında yapılan bir çalışmada (Dülger ve Tiryaki, 2021), beş farklı Pazar alanından şeftali ve nektarin örnekleri almış ve pestisit kalıntıları incelenmiştir. Bahsedilen çalışmada tespit edilen tüm kalıntılar MRL değerinin altında kalmıştır. Ancak numunelerde boscalid, chlorpyrifos ve tebuconazole kalıntılarına rastlanmıştır. Tespit edilen etken maddeler günümüzde kullanımı yasaklanmış kimyasallar arasında bulunmaktadır.

Ege bölgesinde iki yıl boyunca süren bir çalışmada (Bakirci ve diğ., 2014), otuz farklı çeşit yaş sebze ve meyve incelenmiş ve toplamda 11423 numune analiz edilmiştir. Geniş kapsamlı bu çalışmada, çeşitli ürünlerde carbenzim, diazinon, flufenoxuron, methomyl, bromopropylate, procymidone ve dichlorvos etken maddelerinin MRL değerinin aşıldığı tespit edilmiştir (Bakirci, 2014). Yine Ege bölgesinde yetiştirilen ürünlerin araştırıldığı başka bir çalışmada (Soydan ve diğ., 2021), çilek, üzüm, nar, şeftali, vişne ve domates ürünleri incelenmiştir. Analiz edilen numunelerden %58'i tek bir pestisit kalıntısı içerirken %42'sinin birden fazla kalıntı içerdiği tespit edilmiştir. Üzüm, çilek, kiraz ve şeftali numunelerinin bazılarında ise 5'den fazla etken madde tespit edilmiştir. Farklı etken maddelerin birikim yapmasına dikkat çeken bu çalışmada tüm numunelerin %11,6'sında 25 farklı pestisit etken maddesinin MRL değerini aştığı tespit edilmiştir (Soydan, 2021).

2.2.2. Yaş Sebzelerde Pestisit Tespitine Yönelik Çalışmalar

2009 yılında Ankara'da üretilen domates, biber ve hıyar ürünleri analiz edilmiştir (Cönger ve diğ., 2012). Tüm ürünlerde rastlanan ortak kimyasalın chlorpyrifos olduğu tespit edilmiştir (Cönger, 2012). Ersoy ve diğ. (2011b) tarafından Konya ilinde market ve pazarlardan alınan domates, biber ve patlıcan örneklerinde pestisit kalıntıları araştırılmıştır. Her bir sebzededen 10 örnek olacak şekilde numuneler toplanmıştır. Domates örneklerinde oxamyl etken maddesinin yasal mevzuatta belirtilen değeri aştığı, biber örneklerinin bir tanesinde ise T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yasaklanmış olan ethion ve triazophos etken maddelerinin tespit edildiği ifade edilmiştir.

Tüm numuneler değerlendirildiğinde, bu çalışma kapsamında kullanımı sonlandırılan pestisitlere rastlanılan ve MRL değeri yasal sınırı aşan örnek miktarı toplam örnek sayısının yaklaşık dörtte biri kadardır.

2015 yılında Çanakkale’de yapılan bir çalışma (Çiftçi, 2019a) kapsamında 108’er adet domates ve biber numunesi pazarlardan toplanarak analiz edilmiştir. Çalışmada domates örneklerinde 37 farklı pestisit etken maddesine, biber örneklerinde ise 43 farklı pestisit etken maddesine rastlanmıştır. Bromopropylate, dichlorvos, fenarimol, omethoate yasaklı etken maddeleri domates numunelerinde, chlorpyrifos ve methomyl ise biber numunelerinde MRL değerinin üzerinde bulunmuştur (Çiftçi, 2019a). Polat ve Tiryaki (2018) tarafından 2017 yılında Mayıs ve Eylül ayları arasında domates yetiştiriciliği yapılan bir alanda çalışma yapılmıştır. Çanakkale ili, Dümrek ve Çıplak köylerinde geleneksel tarım uygulamaları ile yetiştirilen domatesler, Dümrek köyü deneme alanında entegre tarım uygulamaları ile yetiştirilen domatesler ve Dardanos parselinde Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi tarafından yapılan tarım uygulamasında yetiştirilen domatesler numune olarak alınmıştır. Her bir çalışma alanından alınan numunelerin tamamında pestisit kalıntıları için MRL değerinin aşılmadığı görülmüştür (Polat, 2018).

Hepsağ ve Kizildeniz (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sera yetiştiriciliğinde pestisit kalıntılarının incelenmesi amacıyla Adana, Mersin, İzmir ve Antalya illerinde domates numuneleri toplanmış ve analiz edilmiştir. Acetamiprid, imazalil ve ıpradione kimyasalları yasal mevzuatta belirlenen limitin üzerinde tespit edilmiştir. 98 numunede 2 ve daha fazla pestisit etken maddesinin kalıntısı tespit edilmiştir (Hepsağ, 2021a). Aydın ilinde yerel ve zincir marketlerde tüketiciye ulaştırılan domateslerde pestisit kalıntılarının tespit edilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır (Yalçın ve Turgut, 2016). Toplanan 100 adet domates örneği analiz edilmiştir. Bu çalışmada endosülfan, chlorpyrifos ve tetradifon, MRL düzeyinin üzerinde tespit edilen ve günümüzde kullanımı yasaklı olan kimyasallar olarak göze çarpmaktadır. Çalışma sürecinde pestisit kalıntılarına Kasım ve Ocak aylarında daha yoğun rastlandığı belirtilmiştir (Yalçın, 2016).

2022 yılında Balkan ve Kara (2022) tarafından Tokat ilinde yetişen domates, biber ve hıyar ürünlerinde pestisit kalıntılarının incelenmesi hedeflenerek çalışma yapılmıştır. Toplanan 28 örnekten 17’sinde 16 farklı pestisit etken maddesi tespit edilmiştir.

Biber örneklerinde pyridaben ve hıyar örneklerinde ise metrafenone yasal mevzuatta belirtilen limit değerin üzerinde bulunmuştur. Aynı yıl içerisinde domateslerde neonikotionoid grubu insektisitlerin araştırıldığı bir çalışmada (Balkan, 2022), üreticiler, pazarlar ve manavlardan alınan 30 adet domates numunesi analiz edilmiştir. Numunelerin 14'ünde herhangi bir pestisit kalıntısına rastlanmazken 16 adet örnekte en az bir adet pestisit etken maddesine rastlanmıştır. Örneklerden bir tanesinde acetamiprid etken maddesi yasal değerlerin üzerinde görülmüştür.

2.2.3. Genel Değerlendirme

Türkiye’de pestisit kalıntılarının tespitine yönelik çalışmalar incelendiğinde çalışmalara konu olan ürünlerin genelde domates, biber gibi kısa boylu meyve veren yaşı sebzeler ve turunçgiller, şeftali armut gibi ağaç meyveleri olarak seçildiği görülmektedir. Çalışmalarda numuneler üretim ve tüketimin yüksek olduğu ürünlerden seçilmektedir. Tespit edilen pestisit kalıntılarına bakıldığında en sık rastlanan pestisit grubunun insektisitler olduğu görülmektedir. Acetamiprid, chlorpyrifos, methomyl, pyridaben, dichlorvos sıklıkla kalıntısına rastlanan etken maddelerdir. Ürünlerde tespit edilen kimyasalların bir kısmı günümüzde T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirtilen yasaklı etken maddeler listesinde bulunmaktadır.

Pestisit kalıntılarının pazar, market, manav gibi satış alanlarında sıklıkla görülmesi ve yasal limit düzeyin üzerinde tespit edilmesinin nedeni olarak, pestisitlerin hasat dönemine yakın uygulanması ve ürünlerin taşınması sırasında koruma amaçlı hasat sonrası pestisit uygulamaları, doz ve uygulama yönteminde yapılan yanlışlıklar sayılabilmektedir.

2.3. Pestisitlerin Çevrede Akıbeti

Pestisitler hem tarımsal hem de tarımsal olmayan haşere önleme uygulamaları ve kimyasalın depolanması veya bertarafı sırasında kazayla çevresel ortamlara kolaylıkla girişi yapabilmektedir. İdeal bir pestisit için beklenen; uygulanan alanda istenilen etkiyi gerçekleştirebilecek kadar sürede kalması ve ardından çevreye daha az zarar verecek kimyasallara dönüşmesi şeklindedir. Pratikte ise beklenenin aksine çok az sayıda pestisit uygulaması doğrudan zararlı organizma bulunan alana yapılmaktadır.

Genelde zararlı tür için maruz kalma seviyesine ulaşması amaçlanarak geniş bir alana pestisit uygulaması yapılmaktadır (Racke, 2003).

Pestisit uygulaması sonrası uygulanan kimyasal toprağa, bitki örtüsüne veya çevredeki diğer yüzeylere tutunarak çökelme bölgesinde kalabilmektedir. Pestisitler çevresel ortamlarda noktasal kaynaklar veya noktasal olmayan kaynaklardan kirliliğe neden olmaktadır. Toprağa tutunan pestisit erozyon veya rüzgar etkisi ile toprak parçacıkları ile uzak mesafelere taşınabilmektedir (Tiryaki ve Temur, 2010a). Pestisitler suda çözünebilir, yüzey akışı veya sızıntı ile farklı çevresel ortamlara taşınabilmektedir. Topraktan veya bitki yüzeyinden buharlaşma ile pestisitlerin atmosfere karışabildiği belirtilmektedir (Tiryaki, 2010a). Uygulamadan hemen sonra, başlangıç koşullarında pestisitlerin çevresel ortamlarda dağılımını kimyasalın formülasyonu, hava koşulları, uygulama yapılan bitki örtüsünün çeşidi ve yoğunluğu etkilemektedir. Çevresel koşullar ve pestisit fiziko-kimyasallar özelliklerinin etkisiyle çevredeki dağılım zamana bağlı olarak değişmektedir (Tiryaki, 2010a).

Pestisitler uygulanması sırasında spreyleme veya basınçlı makineler ile püskürtme işlemi sırasında havaya karışmaktadır (Birişik ve diğ., 2018). Pestisitler uygulama sonrasında pestisit uygulanmış toprağın rüzgâr erozyonuna uğraması veya birikim yaptıkları yüzeylerde buharlaşma yoluyla da atmosfere karışabilmektedir. Atmosferde pestisit kirliliğinin en önemli kaynağı buharlaşmadır. Pestisit uygulaması sonrası atmosferde sürüklenme toplam kayıp süreçlerinin %2 ile %25'ini oluşturmaktadır (Tudi, 2021). Hava sıcaklığı, nemlilik ve hava akımı gibi çevresel özellikler ile parçacık büyüklüğü ve hacmi gibi kimyasalın özelliklerine bağlıdır (Güler, 1997). Kimyasalın buhar basıncı ne kadar yüksekse kimyasal çevresel ortamda o kadar uçucu özellik göstermektedir. Ek olarak yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem ve hava hareketi uçuculuğu arttırmaktadır (Tudi, 2021). Atmosferde en sık tespit edilen pestisitler; organoklorlu insektisitler, organofosfatlı insektisitler ve triazin grubu herbisitler olarak sıralanmaktadır (Tiryaki, 2010a). Sofuoglu ve diğ. tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, İzmir şehrinde atmosferde pestisit kalıntısı miktarı araştırılmıştır. Gündüz ve gece saatlerinde alınan numunelerde kullanımda olan veya kullanımı yasaklanmış 23 farklı pestisit etken maddesi tespit edilmiştir (Sofuoglu, 2004). Bu çalışmaya göre atmosferde pestisit bulunması sonucunda soluma ile pestisit maruziyeti görülebileceği söylenebilmektedir.

Yüzey suları, atmosferik sular ve yeraltı suları ile hidrolojik bir döngü içerisinde. Bunun sonucu olarak tarım alanlarına pestisit uygulaması yapıldığında diğer ortamlara taşınmaktadır. Pestisit uygulaması yapılan alanların içme ve yeraltı suyu kaynaklarına yakın konumda olması sularda pestisit kirliliği riskini arttırmaktadır. Pestisit uygulaması yapılan toprağın eğimi, tekstürü ve strüktürü, uygulama yapılan alandaki mahsul özellikleri yüzey akışını etkileyen faktörlerdir (Tudi, 2021). Pestisit uygulaması sonrası yüzey akışı ve sürüklenme süreçleri yüzey sularında pestisit kirliliğinin temel kaynaklarını oluşturmaktadır (Tudi, 2021). Yüzey akışı bir alanda bulunan su hızının toprağa absorpsiyon hızından yüksek olduğunda ortaya çıkmaktadır. Yüzey akışına yoğun yağışlar gibi doğal olaylar neden olmakla birlikte tarım alanlarında görülen fazla ve yanlış sulama uygulamaları da neden olabilmektedir (Tiryaki ve Temur, 2010b; Tudi, 2021). Tarım uygulamalarında pestisit kullanımının yağmurlu dönemlerde daha fazla olduğu görülmüştür bu durum özellikle yağışın yoğun olduğu dönemlerde pestisitlerin akış ile yüzey sularına ulaşma riskini arttırmaktadır (Atasoy, 2019). Atmosferik çökme olayı yüzey sularında pestisit kirliliğine neden olmaktadır (Tiryaki, 2010b). Pestisit kirliliği görülen atık suların geleneksel yöntemlerle arıtılamıyor oluşu, yüzey sularına atıksu deşarjı uygulaması ile sucul ekosistemlerde önemli bir risk oluşturmaktadır (Doğan, 2019). Hidrofobik özelliğe sahip bazı pestisitlerin sedimentte birikim yapmaya eğilimli olduğu belirtilmiştir (Doğan, 2019). Türkiye’de yüzey sularında pestisit varlığına dair araştırmalar incelendiğinde Antalya, Kumluca bölgesinde yapılan bir çalışmada (Öztaş, 2008), chlorpyrifos, aldrin, endosulfan sülfat ve fenamifos pestisitlerinin yüzey sularında tespit edildiği ve kalıntı değerinin Avrupa Birliği Direktifinde belirtilen limit değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Ankara Atatürk baraj gölünde yapılan bir çalışmada ise su numunelerinde pestisit kalıntısı görülmemişken, sediment ve balık numunelerinde ise DDT ve metabolitlerinde rastlanmıştır (Uçkun, 2017). Sonuç olarak tarım alanlarına kontrolsüzce ve fazla miktarda uygulanan pestisitler, çevre kazaları veya yüzey sularına taşınma gibi durumların sonucu olarak yüzey sularında ve sucul ekosistemlerde pestisit kalıntılarının rastlanmaktadır.

Pestisit uygulaması yapılan alanlarda sızma yoluyla pestisitler toprakta bulunan çatlak ve gözeneklerden aşağıya doğru hareket edebilmektedir. Pestisitlerin yeraltı sularına geçişini etkileyen faktörler; pestisitinin topraktaki kalıcılığı, hareketliliği ve toprak geçirgenliği olarak sıralanabilmektedir (Doğan, 2019; Tudi, 2021). Bir pestisitinin kalıcılık özelliği

kimyasal ve biyolojik degradasyon süreçlerinin hızına bağlıdır. Pestisitlerin toprakta hareketliliği, topraktaki su ve organik madde içeriği, pestisitlerin adsorbe edilebilen miktarı ile ilişkilidir (Doğan, 2019). Toprakta yüksek geçirgenlik bulunuyorsa pestisit sızıntı miktarı artmaktadır (Tudi, 2021). Pestisitlerin suda çözünürlük değerinin yüksek olması sızma riskini arttıran bir diğer (Reichenberger ve diğ., 2007). Pestisit uygulaması yapılan bölgede yeraltı suyu derinliğinin az olması pestisitlerin daha hızlı ve kolay şekilde yeraltı suyuna ulaşmasına neden olmaktadır (Tosun ve diğ., 2000). Bölgede kirlenmiş taban suyunun bulunması toprağında kirlenmesine sebep olabilmektedir (Atasoy, 2019). 2015 yılında Karadeniz ve Yenisoğ-Karakaş tarafından yapılan çalışmada, Bolu ilinde yaz ve sonbahar mevsimlerinde 38 adet yeraltı suyu numunesi toplanmış ve incelenmiştir. Çalışma sonucunda yeraltı sularında endosülfan sülfat ve 4,4-diklorodifeniltrikloroetan (DDT) pestisitlerinin sıklıkla görüldüğü ifade edilmiştir (Karadeniz, 2015).

Pestisit uygulaması sonrası kimyasalların ilk ulaştığı çevresel ortamlardan biri topraktır. Pestisitlerin toprakta akıbeti pek çok farklı süreçle ilişkilendirilebilmektedir. Pestisitler uygulanma sonrasında taşınım, bozunma ve toprağa sorpsiyon süreçlerine dahil olmaktadır. 0-15 cm aralığındaki yüzeysel toprak uygulanan pestisit konsantrasyonunun yaklaşık yarısını içermektedir. (Racke, 2003). Pestisitler hedef organizmaya uygulandıktan sonra mikrobiyolojik degradasyon, kimyasal degradasyon ve güneş ışığı ile degradasyona uğramaktadır (Tudi, 2021). Pestisitlerin kimyasal reaksiyonlarla bozunma hızı toprak sıcaklığı, pH, nem ve pestisitlerin toprağa tutulma özelliği ile bağlantılıdır. Mikrobiyal degradasyon, pestisitlerin bakteri veya mantarlar ile parçalanmasını ifade etmektedir (Tudi, 2021). Sıcaklığın ve pH değerinin uygun olması ve yeterli toprak nemi ve oksijen miktarının bulunduğu durumlarda mikrobiyal degradasyon hızı artmaktadır (Tiryaki, 2010a). Tüm pestisitler farklı derecelerde fotodegradasyon kapasitesine sahiptir. Fotodegradasyon ile bozunma oranı çevresel ortamdaki ışık yoğunluğu ve maruz kalma süresi ile doğrudan orantılıdır. Pestisitlerin bozunması sonucu ortaya çıkan ürünler ortaya çıkmaktadır (Tudi, 2021). Çevresel koşullar ve uygulanan pestisitlerin fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak bozunma süresi saatler, günler ve hatta yıllar sürebilmektedir. Bu nedenle pestisitlerin bozunmasının uzun sürmesi nedeniyle karasal ekosistemler için uzun süreler boyunca çevresel risk oluşturabilmektedir.

Pestisitler uygulandıkları toprakta serbest veya bağılı şekilde bulunmaktadır (Gevao ve diğ., 1999). Pestisit uygulaması ardından uygulana kimyasalın bir bölümü toprak tarafından tutulmaktadır. Adsorpsiyon süreci kimyasallar ve toprak parçaları arasında çekim nedeniyle pestisitlerin toprağa bağlanmasını ifade etmektedir. Adsorpsiyon süreci van der waals kuvvetlerinin etkileri ile tamamen fiziksel olabildiği gibi elektrostatik kuvvetler aracılığıyla kimyasal şekilde de görülebilmektedir (Gevao, 1999). Pestisit molekül boyutu, iyonlaşabilirlik durumu, lipofilik olup olmaması, suda çözünürlük özelliği ve uçuculuğu toprağa bağlanma oranını etkilemektedir. Pestisiti filtreleme miktarı her toprak ortamında farklıdır (Tudi, 2021). Kil ve organik madde içeriği fazla olan topraklar daha büyük yüzey alanına sahip olduğundan pestisitler daha güçlü bir şekilde bağlanmaktadır (Tiryaki, 2010b; Tudi, 2021). Pestisit bileşiği toprak parçaları ile zamana bağlı olarak güçlenen bir ilişki kurmaktadır (Gevao, 1999). Toprağa bağlı pestisitlerin buharlaşması veya sızma ile yeraltı sularına karışma ihtimali daha azdır. Pestisitlerin toprakta kalıntılarının tespit edilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. 2012 yılında, Akça ve diğ., 2016 tarafından Adana ve Mersin illerinde yapılan bir çalışmada, çeşitli tarım ürünlerinin yetiştirildiği 29 tarım alanından 36 numune incelenmiştir. İncelenen toprak örneklerinin tamamında organoklorlu pestisitlerin metabolitleri olan 4,40-diklorodifenildikloretilen (4,40-DDE) ve endosulfan sülfat kalıntılarına rastlanmıştır (Akça, 2016).

Pestisitler uygulama sonrası çevresel ortamlara dağılmaktadır. Pestisitlerin çevrede dağılımı fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Çevresel ortamlarda bulunan pestisitler kökler vasıtasıyla bitkilere alınabilmektedir. Pestisit uygulama yöntemine bağlı olarak bitkilerin yaprak ve meyve yüzeylerinde birikim yapabilmektedir. Bitkilerde tespit edilen pestisit kanıtlarını, pestisitlerin bitkiye alımı ve birikim süreçleri oluşturmaktadır. Pestisitlerin bitkiye alımı Bölüm 3.2’de detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.4. Pestisitlerin Sağlık Etkileri

İnsanların pestisitlerle teması, tarımsal uygulama sırasında görülebildiği gibi kimyasalların üretimi, saklanması, taşınması ve pestisit kalıntısı bulunan ürünlerin tüketimi ile de olabilmektedir. Pestisitler solunum yoluyla, deri temasıyla ve gastrointestinal yollarla insan vücuduna girmektedir (Sharma, 2019). Pestisitlerin

insanlar üzerine etkileri maruziyet şekli ve süresi, kimyasal ve çevresel özelliklere bağlı olarak akut veya kronik etkiler şeklinde ortaya çıkabilmektedir.

Pestisit maruziyeti sonucu ortaya çıkan akut etkiler kısa süreli ve yüksek dozlu maruziyetler sonucu genelde kısa sürelerde ortaya çıkan vücutta organların çalışmasını sekteye uğratabilecek veya düzenini bozabilecek etkilerdir. Günümüzde, bir yıl içerisinde yaklaşık olarak 3 milyon zehirlenme vakası yaşandığı, 200.000 kadar olayın ölümlle sonuçlandığı ve yaşanan ölümlerin %95'inin gelişmekte olan ülkelerde görüldüğü belirtilmiştir (Aytaç ve diğ., 2017).

Pestisit maruziyeti sonucu ortaya çıkan akut etkiler kimyasalı kullanan/uygulayan kişilerde veya çevre kazalarına maruz kalan kişilerde görülmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Pestisitlerin en fazla çiftçiler, tarımda çalışan işçiler, çim ve bahçe bakımı ile uğraşan personelleri etkilediği belirtilmiştir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Pestisit maruziyetiyle baş ağrısı, cilt sorunlar, mide bulantısı sıklıkla görülen akut etkilerden olarak sıralanmaktadır (Osaili ve diğ., 2022).

Bitkilerde pestisit uygulaması ile tüketimi arasında geçen bekleme süresi kısa olduğunda gıda zehirlenmeleri görülebilmektedir. Bu zehirlenme örneklerinden en çarpıcı olanlardan biri 1955-1959 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaşanan ve toplamda 4000 kişinin etkilendiği tahmin edilen vakadır (Ankara Üniveritesi, 2024). Bölgede hexachlorobenzene (HCB) içeren pestisit ile ilaçlanan tohumluk buğday ile ekmek yapılması ve bu ekmeğin tüketilmesi ile içerisinde bebeklerinde bulunduğu çoğu kişide porfiria kute tarda hastalığı görülmüş ve ölümler meydana gelmiştir. Bu vakada ekmeği tüketmeyen bebeklerin dahi anne sütünden HCB geçmesi ile etkilendiği tahmin edilmiştir (Çiftçioğlu ve İssa, 2006). Zehirlenme olayının ardından HCB kullanımı 1959 yılında ülkemizde yasaklanmıştır.

Pestisit maruziyeti sonucunda ortaya çıkan kronik etkiler; kimyasallara uzun süreli maruziyet sonucu, vücutta oluşan kimyasal birikiminin tolere edilebilir sınırı aşması durumunda ortaya çıkan etkiler olarak tanımlanmaktadır (İşiner, 2017). Kronik maruziyet akut etkilerin çoğu zaman ortaya çıkardığının aksine, insan vücudu üzerinde geri döndürülemez hasarlara neden olabilmektedir.

Pestisit maruziyeti hem erkeklerde hem de kadınlarda üreme sağlığını etkilemektedir. Uzun süreli pestisit maruziyeti sonucunda erkeklerin sperm sayısında azalma ve buna bağlı olarak çocuk sahibi olamaması durumu gözlenmiştir (Güler, 1997). Hamile kadınların organoklorlu pestisitlere maruziyeti sonucunda kimyasallar plasenta ile bebeğe geçebilmektedir. Pestisitlerin anne karnında gelişmekte olan fetusa taşınımı, gelişim problemlerine yol açabildiği gibi doğum kusurları, ölü doğumlar ve erken ergenlik problemlerine de neden olabilmektedir (İşiner, 2017).

Pestisitler içerisinde özellikle endokrin bozucu grup, maruziyet seviyesi düşük olsa dahi insanlarda hormon sistemlerini etkileyebilmektedir (İşiner, 2017). Pestisitler kişilerde Tip 2 diyabet riski oluşturmakta, ve vücutta aşırı yağ birikimi, insülin direncinin gelişmesi gibi durumlara neden olabilmektedir (Aytaç, 2017). Yapılan bir çalışmada (Bacanli ve diğ., 2021) pestisitlerin insanlarda bağışıklık sistemini olumsuz etkilediği ve kişilerde enfeksiyona yakalanma riskini arttırdığı gözlenmiş, bu kimyasalların immün sistemde yol açtığı toksik etkiler değerlendirilirken maruziyet süresi, şekli ve dozunun dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Günümüzde, Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı yalnızca 2,3,7,8 tetraklorobenzo-p dioksin ve arsenikli insektisitleri insan kanserojeni olarak sınıflandırmış, bunlara ek olarak arsenik içermeyen insektisitleri ise olası kanserojen olarak tanımlamıştır (Özpolat Çakar ve diğ., 2020). Buna karşın, (Güler ve Çobanoğlu, 1997) tarafından raporlanan bir çalışmada Amerika’da tarım işçilerinde ve pestisit üretiminde çalışan işçilerde; lösemi, Non Hodgkin lenfoma, beyin kanseri, akciğer kanseri ve karaciğer kanserine yakalanma oranında önemli sayılabilecek bir risk artışının gözlendiği belirtilmiştir. Tunus’ta kadınlarla yapılan bir çalışmada (Arrebola ve diğ., 2015) ise, poliklorlu bifenillere maruz kalmış kadınlarda meme kanseri riskinde artış gözlenmiştir. Bu bağlamda uzun süreli pestisit maruziyetlerinin önemli bir sonucunun kanser riskinin artışı olduğu söylenebilmektedir.

Çocukların metabolizma hızlarının yetişkinlere kıyasla daha fazla olması nedeniyle vücut içerisinde daha fazla su, hava ve gıda girişı görölmektedir. Bu durum çocukların pestisitlerle maruz kalma ihtimalini arttırmaktadır (Pesticide Action Network, 2023). Pestisitlerle temas eden çocuklarda kanser riskinin artması, bağışıklık sisteminin bozulması, kavrama ve öğrenme süreçlerinin gerilemesi gibi etkiler görölebilmektedir

(İşiner, 2017). İstanbulluoğlu ve diğ., 2009 tarafından raporlanan ve Ekvator bölgesinde yapılan çalışmada organofosfatlı ve kabamatlı pestisitlere yoğun olarak maruz kalan, düşük seviyelerde maruziyet yaşayan ve hiç maruziyet yaşamamış çocuklar karşılaştırılmış ve yüksek seviyede maruziyet yaşayan çocuklarda sosyal ilişkilerin gelişimi ve motor becerilerinde gerilik olduğu görülmüştür.

Organofosfatlı pestisitlere maruziyetin insanlarda psikolojik etkiler yarattığı ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur (İstanbulluoğlu, 2009; Özay ve Arslantaş, 2016). 2002 yılında yapılan bir çalışmada (Slotkin ve diğ., 2005), organofosfatlı pestisitlere maruziyetin depresyon başta olmak üzere bazı psikolojik rahatsızlıklar ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Psikotik bozukluklara sahip bireyler ile yapılan bir çalışmada organofosfatlı ürünlere düşük dozlarda dahi maruz kalındığında hastalık semptomlarının alevlendiği belirtilmiştir (Povey ve diğ., 2014). Pestisit zehirlenmesi yaşayan kişilerde karar verme, hafıza ve düşünme süreçlerinde olumsuz etkiler gözlenmiştir (Sharp ve diğ., 1986).

2.5. Yasal Mevzuat

Günümüzde, pestisit kalıntılarının çevreye, insan sağlığına ve dolayısıyla ülkelerin ekonomilerine etkilerinin anlaşılması sonucu, gıda ürünlerinde pestisit kalıntılarının kontrol altında tutulabilmesi bir gereklilik halini almıştır. Bu amaçla dünyada ve Türkiye’de bazı yasal düzenlemeler yapılmıştır.

1910 yılında ABD’de Federal İnsektisit Yasası ile pestisitlerle ilgili ilk düzenleme oluşturulmuştur (Ağar, 1991). 1970 yılında ise ABD’de EPA (Environmental Protection Agency – Çevre Koruma Ajansı) kurulmuş ve pestisitlerin oluşturduğu kirlilik ve çevresel etkilerine önem vermeye başlanmıştır (Güler, 1997). Avrupa Birliği ülkelerinde gıda ürünlerinde maksimum kalıntı limitleri, 396/2005 sayılı ve 203.02.2005 tarihli Bitkisel ve Hayvansal Gıdalardaki Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Hakkında Avrupa Parlamentosu ve Konsey Tüzüğü’nde belirlenmiştir (European Commission, 2005). 396/2005 sayılı tüzük, bitkisel kökenli gıdalarda maksimum kalıntı limitleri (90/642/EEC), hayvansal gıdalarda maksimum kalıntı limitleri (86/363/EEC), tahıl ve tahıl ürünlerinde maksimum kalıntı limitleri (86/362/EEC), meyve ve sebzelerde maksimum kalıntı limitleri (76/895/EEC) şeklinde dört farklı direktiften oluşmuştur (European Commission, 2005).

Ülkemizde ise hayvansal ve bitkisel gıda ürünleri, bu ürünlerin işlenmesi ile elde edilmiş işlenmiş gıdalar, bebek formülleri, devam formülleri ve bebekler ile çocuklar için ek gıdalarda pestisit kalıntılarının kontrolü için yasal mevzuat ilk olarak 2011 yılında oluşturulmuş ve zaman içerisinde güncellenerek geliştirilmiştir (Ebru, 2009). 27.09.2021 tarihli ve 31611 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği, pestisitlerin kalıntıları ile ilgili yasal düzenlemenin en güncel halidir. (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021a). Pestisitlerin kalıntılarının kontrol altında tutulabilmesi amacıyla, yukarıda belirtilen yönetmeliğe ek olarak, pestisitlerin ruhsatlandırma sürecini düzenleyen ruhsatlandırma mevzuatı, analiz çalışmalarını düzenleyen numune alma mevzuatları oluşturulmuştur (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Ayrıca, Türkiye’de satılan ve kullanılan pestisit ve gübre miktarını belirlemek amacıyla Üretici Kayıt Defteri uygulaması kullanılmaktadır. Uygulama aracılığıyla üretici tarafından kullanılan bitki koruma ürününün reçetesi, uygulama bilgileri ve hasat öncesi bekleme süreleri kayıt altına alınmaktadır (Doğan, 2019).

AB, birlik sınırları içerisinde gıda ve yem güvenliğini sağlamak amacıyla yasal dayanağı 178/2002/EC sayılı genel gıda kanunu olan Gıda ve Yemde Hızlı Alarm Sistemi’ni (RASFF) hayata geçirmiştir. Avrupa Birliği ülkelerine ithal edilen ürünler Avrupa Birliği Ekonomik Alanı Sınır Kontrol Noktalarında Denetime tabi tutulmakta ve herhangi bir sağlık riski bulunan gıdalar için RASFF sistemi üzerinden bildirim yapılmaktadır (RASFF Window, 2023). Bu sayede ilgili ürünlerin başka bir sınır bölgesinden birliğe girişinin önüne geçilebilmektedir. RASFF sistemi ile Avrupa Komisyonuna iletilen bildirimler sistemin internet sitesinden güncel olarak takip edilebildiği gibi ayrıca yıllık raporlar olarak da incelenebilmektedir (Çınar, 2017).

3. ÇOK ORTAMLI ÇEVRESEL MODELLERİN PESTİSİTLERİN ÇEVRESEL MARUZİYET RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANIMI

3.1. Çok Ortamlı Çevresel Akıbet Modelleri

Matematiksel modeller, gerçek sistemlerin taklit edilmesi amacıyla oluşturulan matematik denklemleri dizisi olarak tanımlanmaktadır (Schwarzenbach ve diğ., 2017a). Modeller belirlenen amaçlarına uygun olarak gerçek sistemlerin basitleştirilmiş halleri olarak tasarlanmaktadır. Çevresel akıbet modellerinin oluşturulmasında amaç; çevresel ortamlarda kimyasalların hareket, birikim, kalıcılık potansiyellerini açıklayabilmek ve olası riskleri tahmin edebilmektir. Çevresel modeller kirlenmiş alanların iyileştirilmesi, üretilen yeni kimyasalların çevresel ortamlara salınmasından önce çevre ve insan sağlığına etkilerinin tahmin edilmesi ve yasal mevzuatın geliştirilmesi amacıyla kullanılabilir.

1950'lerin sonunda kimyasalların akıbeti ve maruziyet riskleri, tek bir kimyasal ve tek bir çevresel ortam için oluşturulan modeller ile değerlendirilmiştir. (Rong-Rong ve diğ., 2012b). 1970'li yıllarda, arsenik, kadminyum ve civa gibi metallerin çevresel ortamlara dağılımının incelenmesi amacıyla bölgesel ölçeklerde kütle dengesi modelleri oluşturulmuştur (Garrels ve diğ., 1975). Sonrasında Mackay (1979) tarafından fugasite yaklaşımı ile organik kirleticilerin büyük ölçekli taşınım ve akıbet süreçlerini açıklayabilen bir modelleme yöntemi geliştirilmiştir. 1980'lerin sonunda ise farklı detayda ve ölçekte çok ortamlı akıbet modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (Allen ve diğ., 1989; Rong-Rong ve diğ., 2012a).

Çok ortamlı model çalışmalarında kimyasalların birden fazla ortamda dağılımının, hareket yönünün, birikiminin öngörülmesi beklenmektedir. İlk olarak, yapılacak çalışmanın hangi amaçla oluşturulduğu belirlenmelidir. Modelin hangi süreçleri kapsaması ve hangi çıktıları üretmesi gerektiğinin bilinmesi modelin amacına uygun oluşturulması açısından önemli arz etmektedir (Schwarzenbach ve diğ., 2017b). Çalışmanın hedefine uygun olarak modelin kapsayıcılığı ve detay düzeyi, çalışılacak olan zaman dilimi tanımlanmalıdır. Model oluşturulurken ilgilenilen çevresel ortam istenilen sayıda tam karışımli kompartmana ayrılabilir. Model kapsamında, gerçek çevresel ortamlara benzer şekilde, birbiriyle temas eden kompartmanlar olabildiği gibi temas

halinde olmayan kompartmanlar da bulunabilmektedir (Wania ve Mackay, 1999). Kompartman sınırlarının belirlenmesinin ardından iç süreçler (kompartmanlar arası taşınım, bozunum) ve sistem dışı ile etkileşimler (çevresel emisyonlar, advektif girdi ve çıktılar) tanımlanmaktadır (Mackay ve Parnis, 2021). Model kapsamına dahil edilen tüm süreçler matematiksel denklemlerle ifade edilmektedir. Kullanılan veya oluşturulan modelde hesaplamalarda kullanılacak olan tüm model parametreleri için en uygun değerler belirlenmelidir. Çevresel ortamlar ile ilgili parametreler ve kirleticilerin fiziko-kimyasal özellikleri literatür taraması ile elde edilebilir. Literatür verilerinin yeterli veya nitelikli olmaması durumunda saha ve/veya laboratuvar çalışmalarına başvurulabilmektedir.

Model sonuçlarını değerlendirirken model varsayımlarının geçerliliğine dikkat edilmeli ve temkinli davranılmalıdır. Tam karışım varsayımı nedeniyle, model çıktıları kompartmanlara ait ortalama değerler olarak kabul edilmelidir. Ayrıca gerçek dünyada çevresel özellikler zaman bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Kimyasalların özellikleri çevresel şartlardaki değişimlerden etkilenebilmektedirler ve bu durum basitleştirilmiş model yapılarında ihmal edilebilmektedir. Modelde kullanılan girdi verilerinin gerçeği yansıtacak kalitede olması elde dileyen sonuçların da gerçeğe yakın olmasını sağlayacaktır (Trapp ve Matthies, 1998).

3.1.1. Çok Ortamlı Çevresel Modellerde Fugasite Yaklaşımı

Fugasite yaklaşımı; kirleticilerin ortamlarda statik ve dinamik davranışlarının tanımlaması, kirleticilerin çevrede dağılımının ve baskın transfer süreçlerinin belirlenmesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Fugasite yaklaşımı çok ortamlı çevresel modellerde kütle dengesi hesaplamalarını kolaylaştırmaktadır (Mackay, 2021). Model kapsamında her bir kompartman için kütle dengesi denklemleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan denklemlerin çözümüyle her bir kompartman için fugasite ve fugasiteye bağlı olarak konsantrasyon değerleri elde edilmektedir.

Fugasite (f) bir kimyasalın bulunduğu fazdan “kaçma eğilimi”dir. Fungisitenin birimi basınçtır (Pa) (Mackay, 1979). Bir kimyasal için fazlar arasında denge durumu sağlandığında iki fazda da fugasite değeri eşittir (Mackay, 2021) Bir kimyasalın çevresel ortamlarda fugasitesi (Pa) ile konsantrasyonu (mol/m^3) arasında lineer bir ilişki

bulunmaktadır (Thibodeaux ve Mackay, 2011). Bir kimyasalın fugasitesi (f , Pa) ile konsantrasyonu (C , mol/m³) arasındaki oran ise fugasite kapasitesi (Z , mol/m³Pa) olarak tanımlanır ve Denklem (3.1)'deki gibi;

$$C = Zf \quad (3.1)$$

ifade edilmektedir (Kim ve diğ., 2010).

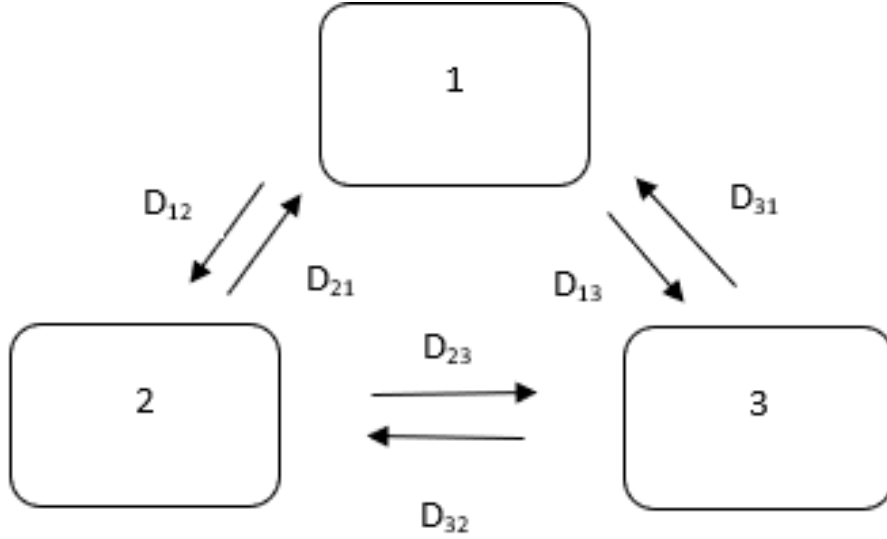
Kimyasalların bir fazda bulunma eğilimi fugasite kapasitesi (Z) ile ifade edilmektedir. Bir kimyasalın, bir fazda Z değerinin 0 olması ilgili fazda bulunma eğiliminin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir (Mackay ve diğ., 1996). Kirleticiler Z değerinin yüksek olduğu fazdan düşük olduğu faza geçme eğilimi göstermektedir (Mackay, 1979). Çevresel ortamlarda Z değeri; basınç ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Aynı kimyasal farklı çevresel ortamlarda farklı Z değerlerine sahip olduğu görülebilmektedir.

Sistem içerisinde taşınım ve dönüşüm süreçleri, D değerleri (mol/Pa gün) olarak tanımlanan parametreler ile sayısal olarak hesaplanabilmektedir (Mackay, 2004). D değerleri adveksiyon, reaksiyon ve difüzyon süreçleri için farklı matematiksel ifadelerle sahiptirler. 3 farklı kompartman içeren bir sistemde kompartmanlar arası taşınımına uğrayan bir kimyasal için kütle dengesi denklemleri Denklem (3.2)'de gösterildiği;

$$\begin{aligned} \frac{dm_1}{dt} &= D_{21}f_2 + D_{31}f_3 - (D_{12} + D_{13})f_1 \\ \frac{dm_2}{dt} &= D_{12}f_1 + D_{32}f_3 - (D_{21} + D_{23})f_2 \\ \frac{dm_3}{dt} &= D_{13}f_1 + D_{23}f_2 - (D_{31} + D_{32})f_3 \end{aligned} \quad (3.2)$$

şekilde yazılmaktadır.

Denklemleri verilen 3 kompartmanlı bir sistemde kompartmanlar arası D değerleri ve kompartmanlar arası taşınım süreçleri Şekil 3.1'de görselleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Kompartmanlar Arası D Değerleri (D_{ij} : i kompartmanından j kompartmanına transfer D değeri)

Fugasite yaklaşımı ile geliştirilen akıbet modelleri farklı karmaşıklık seviyelerinde oluşturulabilmektedir (Rong-Rong, 2012a). Seviye-I hesaplamalarında kapalı sistem varsayımı yapılarak, kirlilik girişi ve çıkışı olmayan durumlar için, ortamlar arası denge durumu ve kararlı durum kabulleri yapılmaktadır. Denge durumu kompartmanlar arası net kütle transferinin sıfır olmasını ifade etmektedir. Bu seviyede kompartman sayısı ve kompartmanların hacmi değişken olabilirken sistem içerisindeki toplam kirletici kütlesi sabittir. Seviye-II hesaplamalarda sistem içerisinde kimyasal için girdisi ve kayıp süreçleri mevcuttur. Kararlı durum ve tam karışım hal kabulünün yapıldığı açık sistemler modellenmektedir. Seviye-III hesaplamalarda her bir kompartman için giren ve çıkan kimyasal akıları bulunmaktadır. Seviye-III hesaplamalarda sistemde denge durumu varsayımı ortadan kalkarken, sistemin kararlı durumda olduğu kabul edilmektedir. Seviye-III'de sistem içerisindeki kompartmanlar arası taşınım süreçleri de hesaplanmaktadır. Seviye-III hesaplamada her bir kompartman için ayrı ayrı kirletici girişi olduğu kabulü ile ayrı denklemler oluşturulmaktadır. Seviye-IV hesaplamalarda açık sistem anlayışı vardır. Diğer hesaplama seviyelerinin aksine burada kararlı durum varsayımı ortadan kalkmaktadır. Kararlı durumun olmaması sistemin özelliklerinin zamana bağlı olarak değişebildiğini ifade etmektedir. Dinamik sistemleri ifade etmeye yarayan Seviye-III hesaplamasının gerçek çevrelere en yakın sonucu veren hesaplama şekli olduğu belirtilebilir. Modelin oluşturulmasında kullanılabilecek veriler ve elde edilmek

istenen sonuçlara göre seçim yapılarak farklı seviyelerde hesaplamalar oluşturulabilmektedir. (Donald Mackay, Di Guardo, Paterson, Kicsi ve Cowan, 1996). Fugasite yaklaşımı kullanılarak çok ortamlı akıbet modellerinin geliştirilmesi ile ilgili detaylar Donald Mackay, 2021 kaynağından elde edilebilmektedir.

Fugasite yaklaşımının ortaya çıkışının ardından farklı amaçlar doğrultusunda modeller geliştirilmiştir. Fugasite yaklaşımı kullanılarak McKone (1993) tarafından, 8 kompartmanlı bir çevresel akıbet modeli geliştirilmiştir. CalTOX isimli model Kaliforniya Üniversitesinde tasarlanmış olup organik ve inorganik kirleticilerin akıbetini değerlendirmede kullanılabilmektedir (McKone, 1993). 1995 yılında Dellivers ve diğ. (1995) tarafından, 6 kompartmanlı ve Fransa bölgesinde kullanılmak amacıyla CHEMFRANCE modeli geliştirilmiştir. 1997 yılında, Kanada Çevre Modelleme Merkezi (CEMC) tarafından, ChemCAN modeli geliştirilmiştir. ChemCAN geniş kapsamlı alanlarda kullanılabilen bir Seviye-III modeldir (D. Mackay ve diğ., 1991). BETR bir bölgeye özel olarak oluşturulmuş modellere bir diğer örnektir (Rong-Rong, 2012a). 7 kompartmandan oluşan model Kuzey Amerika bölgesinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (MacLeod ve diğ., 2001). Daha sonraları bu modelin BETR-Global isimli küresel ölçekli versiyonu da geliştirilmiştir ve yaygın olarak kullanılmaktadır (MacLeod ve diğ. 2011) SimpleBOX 2007 yılında geliştirilen ve Seviye-III hesaplamalarda kullanılan, fugasite tabanlı bir akıbet modelidir. Bölgesel, kıtasal veya küresel ölçekte kullanılabilen model 9 kompartmandan oluşmaktadır (Hollander, 2008).

3.1.2. Equilibrium Criterion (EQC) Model

Denge Kriteri Modeli (Equilibrium Criterion Model – EQC model), kimyasal kirleticilerin çevresel maruziyet risklerinin değerlendirilmesinde bir araç olarak kullanılmak üzere Kanada Çevresel Modelleme Merkezi (CEMC) tarafından geliştirilmiş bir çok ortamlı akıbet modelidir (Hughes ve diğ., 2012). EQC vasıtasıyla belirlenen çevresel sistem sınırları ve özellikleri için kirletici akıbeti değerlendirilebilmektedir. EQC model bir Excel çalışma dosyası şeklinde hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablolar veya diyagramlar halinde görülebilmektedir. Model içerisinde hava, su, toprak ve sediment kompartmanları ile askıda katılar ve biyota fazını temsil eden alt kompartmanlar bulunmaktadır. Model içerisinde yer alan ‘EQC çevresi’ için kompartmanların özellikleri Tablo 3.1.’de verilmektedir. Çevresel ortamın özellikleri (organik karbon oranı, taşınım

hızları, kompartmanların fiziksel sınırları, alt kompartmanların yoğunlukları) kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir.

Tablo 3.1 EQC Model Kompartmanları Fiziksel Özellikleri

	Derinlik(m) (Seviye I ve II)	Derinlik(m) (Seviye III)	Alan (m ²)
Hava	1000	1000	1,00E+11
Su	20	20	1,00E+10
Toprak	0,1	0,2	9,00E+10
Sediment	0,01	0,05	1,00E+10

Model içerisinde akıbeti değerlendirilen kimyasallar 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. Tip 1 kimyasallar tüm fazlara dağılabilir durumdadır. Tip 1 kimyasalların model içerisinde değerlendirilebilmesi için; suda çözünürlük, buhar basıncı, Henry sabiti, oktanol-su paylaşım oranı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Mackay, 1996). Organik kirleticiler Tip 1 kimyasallara örnek verilebilmektedir. Tip 2 kimyasallar; uçucu olmayan maddeleri ifade etmektedir. Bu tip kimyasallar için Z değeri hava fazında 0 veya 0'a yakın bir değer almaktadır. Bu nedenle Z değerleri su ortamından başlanarak hesaplanmaktadır. Tip 1 ve Tip 3 kimyasallarda fugasite yaklaşımı kullanılmaktadır. Buna karşın Tip 2 kimyasallarda "equivalence" yaklaşımı kullanılarak ortamlar arası dağılım elde edilmektedir (Mackay, 1996). Toprak kompartmanında organik karbon miktarı, suda ve lipitte çözünürlük ve toprak yüzeyine paylaşım oranı bu tür kimyasalların değerlendirilmesinde ihtiyaç duyulan verilerdir. Katyonlar, anyonlar ve uçucu olmayan organik kirleticiler Tip 2 kimyasal sınıfına örnek olarak verilebilir (Donald Mackay, 1996). Tip 3 kimyasallar suda çözünmeyen özellik göstermektedirler. Bu tip kimyasallar için su fazında Z değeri ve hava-su paylaşım oranı değeri 0 veya 0'a yakın bir değer almaktadır. Toprak – hava paylaşım oranının bilinmesi gereklidir ve fugasite yaklaşımı kullanılarak kirleticinin akıbeti belirlenmektedir. Uzun halkalı alkanlar bu kimyasal grubuna örnek gösterilebilmektedir. Tip 4 kimyasallar; hava ve suda çözünmeyen kimyasallardır. Çevrede saf formda, aerosol veya sedimentte tutulmuş halde bulunmaktadırlar. Metaller, mineraller veya polimerler bu gruba örnektir. Tip 4 kimyasalların akıbet değerlendirmesinde EQC model kullanılmamaktadır (Mackay, 1996).

EQC model ile Tip 1 kimyasallar için yapılan değerlendirmelerde, kimyasalın molekül ağırlığı (g/mol), Henry sabiti ($\text{Pa m}^3/\text{mol}$), kompartmanlarda reaksiyon yarı ömürleri, oktanol-su paylaşım oranı ($\log K_{OW}$) ve organik karbon paylaşım oranı (K_{OC}) ve bu özelliklerin geçerli olduğu sıcaklık bilinmesi gereken parametrelerdir. EQC model içerisinde; K_{AW} (hava-su paylaşım oranı), K_{OC} , BCF (biyokonsantrasyon faktörü), K_{QA} (aerosol-hava paylaşım oranı) değerleri seçilen kimyasalın temel fiziko-kimyasal özelliklerinden faydalanılarak hesaplanabilmektedir (Mackay, 1996).

EQC model aracılığıyla, artan karmaşıklık düzeylerinde Seviye I, II ve III hesaplamaları yapılabilmektedir. EQC modelde Seviye-I hesaplama ile sistemde bulunan sabit miktarda kirleticinin kompartmanlar arası dağılım eğilimi değerlendirilebilmektedir. EQC model Seviye I hesaplamasında her bir kompartmanda kirletici denge konsantrasyonu hesaplanmaktadır (Mackay, 1996).

Seviye-II hesaplamada kararlı durum ve denge durumu varsayımları mevcuttur. Advektif kayıplar ve bozunum reaksiyonları hesaplamaya dahil edilmektedir. Seviye-II hesaplama ile kirleticilerin kompartmanlar arası dağılımı değerlendirilmektedir. Seviye-II hesaplama ile kirleticinin sistemde kalış süresi hesaplanabilmektedir. (Hughes, 2012; Mackay, 1996).

Seviye-III hesaplamalarda kompartmanlar arası denge varsayımı yoktur ve kirleticilerin gerçek çevrelerde hareketine yakın sonuçlar elde edilmektedir (Hughes, 2012). EQC model içerisinde Seviye-III hesaplamada kullanıcı tarafından belirlenen kütlede kirlilik girişı bulunmaktadır. Her bir kompartman için farklı hızda kirlilik girişı tanımlanabilmeye imkan sağlamaktadır. Model içerisinde fazlar arası kütle aktarım parametreleri sabit olarak mevcuttur ve kullanıcı tarafından değiştirilemez. Her bir kompartman için kütle konsantrasyonu, fugasite ve bu değerlere bağlı olarak reaksiyon hızları ve fazlar arası akılar hesaplanmaktadır.

Donald Mackay (1996) tarafından yapılan çalışmada, EQC model kullanılarak farklı hesaplama seviyelerinde pyrene ve kurşun kirleticilerinin çevresel ortamlarda akıbeti değerlendirilmiştir. 1996 yılında EQC model kullanılan bir diğer çalışmada, chlorobenzene ve LAS (linear alkylbenzene sulfonates) kimyasallarının çevrede akıbeti incelenmiştir (Mackay ve diğ., 1996).

Hughes (2012) tarafından yapılan çalışmada, D5 (decamethylcyclopentasiloxane) kimyasalının çevresel akıbeti EQC model aracılığıyla değerlendirilmiş ve farklı kompartmanlardan kirletici emisyonu olması durumu incelenmiştir.

3.2. Bitki Alım Modelleri

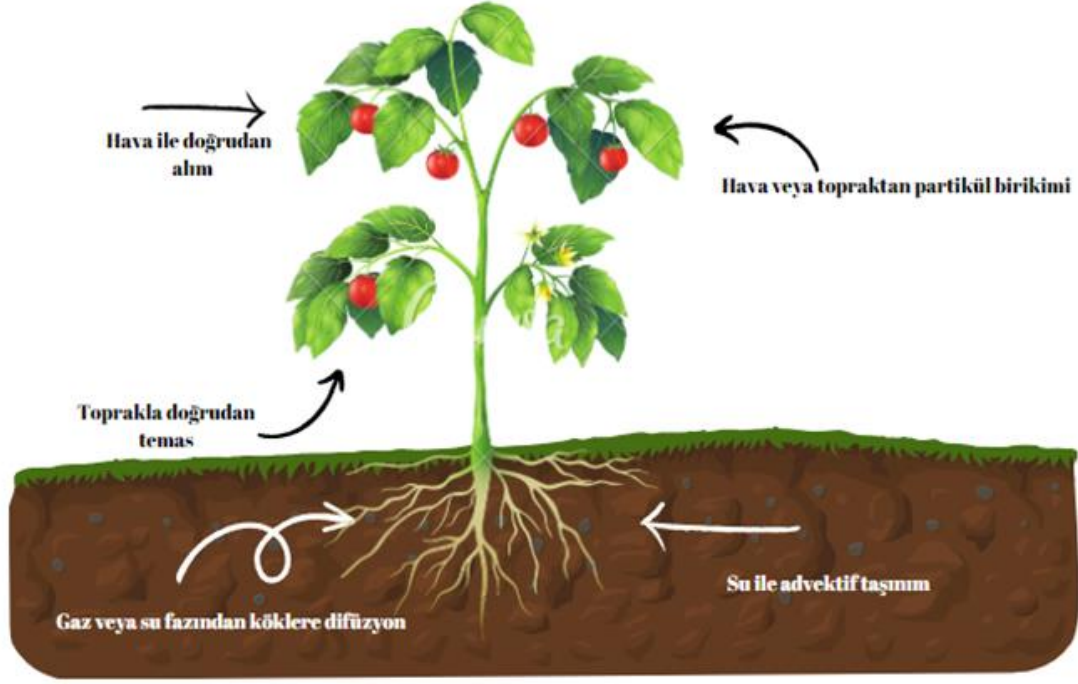
Son yıllarda insan faaliyetlerine paralel şekilde artan, su ve toprakta görülen antropojenik kirlilik çevresel ortamlarda uzun vadeli problemlere neden olmaktadır. Çevresel ortamların bir parçası olan bitkiler de farklı yollarla kirleticilere maruz kalabilmektedirler. Çevresel ortamlarda bulunan organik veya sentetik kirleticiler bitkiler tarafından alınarak besin zincirine dahil edilebilmektedir. Kirleticilerin bitkiler tarafından alınımının açıklanması ve bu süreç ile ilgili öngöründe bulunabilmek, risk değerlendirmesi, önleme ve temizleme çalışmaları açısından önem taşımaktadır.

3.2.1. Genel Bakış

Bitkiler çoğunlukla kök, gövde ve yaprak organlarından oluşurken zaman zaman çiçekler ve meyvelerin oluşumu gözlenmektedir. Bitkilerin yapısında 2 farklı taşınım mekanizması bulunmaktadır. Ksilem canlı olmayan hücrelerden oluşan, odunsu yapıdaki taşınım sistemidir. Ksilemde taşınım fiziksel kuvvetlerle gerçekleşmektedir ve taşınım çift yönlüdür. Floem ise canlı hücrelerden oluşan taşınım sistemidir ve floemde taşınım bitki bünyesinde ihtiyaç duyulan organa doğrudur (Stefan Trapp, 2015a).

Bitki alımı; suda çözünmüş kimyasalın bitki korteksine taşınımı olarak tanımlanmaktadır (Jones, 2020). Kimyasalların kökler vasıtasıyla alımı çoğu organik bileşik için ana yöntem olarak görülse de bitki hücrelerine giriş için tek yol değildir. Bitkiye kimyasal alımı Şekil 3.2’de görselleştirilmiştir. Kökler tarafından aktif ve/veya pasif alım süreçlerine ek olarak, yaprak ve varsa meyve yüzeyinde görülen ıslak ve kuru çökeltme süreçleri bitkiye kimyasal girişinde önemli rol oynamaktadır (Gao ve diğ., 2005; Jones, 2020). Bitki alımı, kimyasalın özelliklerine ek olarak toprak ve suyun özellikleri gibi çevresel parametrelere ve bitkinin lipid ve su içeriği, terleme oranı gibi biyolojik etmenlere de bağlıdır (Charles, 2004b). Tarım alanlarında pestisit uygulamasının yapılmasından sonra kimyasalın bir kısmı toprağa ulaşırken bir kısmı ise bitkinin toprak üzerinde kalan gövde ve yaprakları ile temas halinde bulunmaktadır. Toprakta pestisit birikimini mahsule ait kanopi yoğunluğu etkilemektedir. Kanopi yoğunluğu bitkinin en

üst bölümünde kalan yaprak yoğunluğunu ifade etmektedir. Kanopiye gelen kimyasal miktarı bitki yapısı ve yaprak yoğunluğuna göre değişmektedir (Charles, 2004a). Pestisit uygulamasının hemen ardından bitki yüzeyinde biriken bu tabaka, eğer pestisit uygulaması hasat dönemine yakın yapılıyorsa kalıntı miktarlarının fazla olmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.2 Bitki Alım Yolları

Bitkilere kimyasalların taşınımını açıklayan modellerin geliştirilmesi ile farklı kimyasallar ve farklı bitkiler incelenmesine olanak sağlanmıştır. Bitkilerde kimyasalların akıbetini inceleyen modeller, bitki içerisinde bulunan kök, gövde, meyve ve yaprak ile toprak ve hava ortamlarını temsil eden tam karışımli kompartmanlar arasında kimyasal hareketini incelemektedir (Hwang ve diğ., 2017). Dinamik modellerde oluşturulan kütle dengesi, adi diferansiyel denklemler ile ifade edilmektedir. Denklemlerin çözümü için nümerik yöntem veya analitik yöntem kullanılabilir (Fantke ve diğ., 2011; Fantke ve diğ., 2013). Denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal yöntemler, model içerisinde zamanla değişen dinamik süreçlerin simüle edilmesine imkân sağlamaktadır. Buna karşın kararlı durum varsayımında kullanılan analitik çözümler ise matematiksel açıdan daha kolay olup denklem çözümlerinin daha şeffaf olmasını sağlamaktadır (Fantke, 2013).

Çevresel ortamların dinamik oluşu nedeniyle kimyasalların çevresel ortamlarda kararlı durum koşullarını sağlaması beklenmez. Ancak özellikle kalıcı kimyasalların çevrede dağılımı, uzun menzilli taşınımı ve nispeten sabit emisyonlarla toprak ve hava ortamında kararlı durum koşullarına yaklaştığı kabul edilebilmektedir (Rein ve diğ., 2011).

Bitki alım modelleri farklı ürün gruplarına odaklanmaktadır. Oluşturulan modeller tahıllar, meyve ağaçları, yeşil bitkiler veya kök sebzeler ile ilgilidir (Fantke, 2013). Bitki alım modelleri hem kimyasallar hem de mahsul açısından fazlaca girdi parametresine ihtiyaç duymaktadır. Ancak mahsullere ait girdi parametrelerinin az ve genellemeler şeklinde olması model kullanımı açısından belirsizliğe neden olmaktadır (Trapp, 2007).

Bitki alım modelleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde çoğu çalışmanın bir veya birkaç mahsul grubu için gerçekleştirildiği görülmüştür. Namiki ve diğ., 2013 tarafından yapılan çalışmada, kabakgiller ürün grubunda DDT metabolitleri, hexachlorocyclohexane ve metabolitleri, klorlu siklodienler için bitki alımı model aracılığıyla incelenmiştir. Li, 2022 tarafından yapılan çalışmada, kök sebzeler grubuna dahil olan havuç ürünü için ‘silindirik model’ ve turp ürünü için ise ‘küresel model’ oluşturularak uygulanmıştır. Kök sebzelerin incelendiği bir başka çalışmada ise benzo(a)piren, poliklorlu bifeniller ve klorobenzenlerin bitkilerde akıbeti incelenmiştir (Trapp, 2002). 2014 yılında yapılan çalışmada, standart bitki alım modelinin uyarlanması ile turp bitkisinde klorlu organik bileşiklerin kalıntıları araştırılmıştır (Trapp, 2015b). Trapp, 2007 tarafından yapılan çalışmada, 8 kompartmandan oluşan meyve ağacı modeli incelenmiştir. Benzer şekilde 2017 yılında yapılan başka bir çalışmada ise, söğüt ağacının siyanür alımı toprak, su ve bitki kompartmanları oluşturularak modellenmiştir (Hwang, 2017). 2012 yılında yapılan bir çalışmada, sera ortamında yetiştirilen domateslerde primethanil kalıntı düzeyleri; kalıntı analiz sonuçları ve bitki alım modeli kullanılarak incelenmiştir (Katsoulas ve diğ., 2012). Türkiye’de yapılan bir çalışmada, Aydın ili, söke ilçesinde alınan toprak örneklerinde DDT metabolitleri araştırılmış ve bitki alım modeli aracılığıyla yapraklı sebzeler, tahıllar ve patates ürünü için olası kalıntı miktarları tartışılmıştır (Mermer ve diğ., 2020). 2011 yılında yapılan bir çalışmada, DynamiCROP modeli kullanılarak buğdayda, prochloraz, tebuconazole, chlorathanonil, cyproconazole, deltamethrin ve pirimicarb pestisitlerinin akıbeti değerlendirilmiştir (Fantke, Charles, ve diğ., 2011b).

3.2.2. DynamiCROP Modeli

DynamiCROP modeli gıda mahsullerinde pestisit uygulamaları ve pestisit kalıntılarının neden olduğu maruziyet ve sağlık etkilerinin tespit edilmesi amacıyla oluşturulmuş, farklı ürün gruplarının dahil olduğu dinamik bir bitki alım modelidir. Model pestisitlerin taşınım, dağılım ve alım süreçlerini simüle eder. DynamiCROP bir Excel dosyası olarak oluşturulmuştur. Model uygulaması ve model ile birlikte kullanılan ait veri tabanı internet sitesinden ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (Technical University of Denmark, 2022). Model dosyası içerisinde kimyasallar ve mahsullere ilişkin verilerin bulunduğu sayfalar ile denklemler ve parametrelerin açıklandığı bölümler ve sonuçların listelendiği bir sayfa bulunmaktadır.

DynamiCROP modelinde kullanılabilecek pestisitlerin alfabetik olarak listelendiği bir veri tabanı, model uygulamasıyla birlikte kullanıcıya sunulmaktadır. Veri tabanında pestisitlerin CAS numaraları, model tarafından varsayılan pestisit uygulama değerleri, pestisitlere ait fiziko-kimyasal özellikler ve bozunum yarı ömür değerleri yer almaktadır.

Pestisit uygulamasında, pestisit akıbetini belirleme süreci etken madde özelliklerine göre yapılmaktadır. DynamiCROP modelinde pestisitlerin mahsulde kalıntısı değerlendirilirken, pestisit uygulama metodu, uygulanma tarihi, pestisit uygulama dozu ve çevresel parametreler kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

DynamiCROP modeli içerisinde; pirinç, buğday, arpa, mısır, domates, elma, dolmalık biber, patates, marul, vişne ve çarkıfelek meyvesi olmak üzere 11 farklı tarım ürünü için simülasyon oluşturulabilmektedir. Listelenen tarım ürünleri içinde toplam tüketim oranı en fazla olan domatestir (Fantke, 2011). Çevresel sistem model içerisinde 9 kompartmana bölünmüştür. Hava, toprak, yaprak yüzeyi, meyve yüzeyi, meyve, yaprak, kök, gövde ve pirinç ürünü özelinde hesaplamaya dahil edilen çeltik suyu çevresel sistemin kompartmanlarıdır.

Tarımsal uygulamaların çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, tarımsal faaliyetlerin çok işlevli olması ve çevrenin değişken ve karmaşık olması nedeniyle zordur. DynamiCROP modelinde çevresel bölümler ve bölümlere ait karakteristik özellikler sabit kabul edilirken bitki bölümleri zamana bağlı büyüme ile değişmektedir.

Seçilen tarım ürünü ve kimyasal için kullanıcı tarafından belirlenen uygulama dozu, çevresel ortam parametreleri, hasat öncesi bekleme süresi seçilmesinin ardından model çalıştırılmaktadır. Model sonuçları; başlangıç koşulları, kompartmanlarda kalıntı miktarı, kompartmanlarda kimyasal kütlesi, hasat fraksiyonu gibi pek çok başlık için hesaplanmaktadır (Fantke, Jolliet, ve diğ., 2011).

DynamiCROP model uygulamasında taşınım ve dağılım süreçleri transfer oranları ile ifade edilmektedir. Advektif taşınım süreci, kimyasalın topraktan bitkiye veya bitki içinde ksilem ve floemde taşınımına örnek olarak verilebilmektedir (Charles, 2004a). Advektif taşınım oranı Denklem (3.5)'de gösterildiği şekilde;

$$N_{AB,adv}^i = Q_{AB} * C_A = M_A * k_{AB,adv} \quad (3.5)$$

hesaplanmaktadır.

$N_{AB,adv}^i$ (kg/gün) A kompartmanından B kompartmanına taşınımı ifade etmektedir. Q_{AB} iki kompartman arasında akıyı, C_A (kg/m³) kaynak kompartmanda kimyasal konsantrasyonunu, M_A (kg) kaynak kompartmanında kimyasal kütlesini, $k_{AB,adv}$ ise advektif taşınım katsayısını ifade etmektedir.

Difüzif taşınım bitişik iki bölme arasındaki kimyasal konsantrasyonunun farkı sonucu görülmektedir. Difüzif taşınımı iki yönlü de çalışır ve bölmeler arasındaki konsantrasyon gradyanı akış yönünü belirlemektedir (Charles, 2004a). Difüzyon ile taşınım oranı Denklem (3.6)'da gösterildiği şekilde;

$$N_{AB,dif}^i = (C_A^i - C_B^i) * V_A * k_{AB,dif} \quad (3.6)$$

hesaplanmaktadır.

C_A^i (kg/m³) ve C_B^i (kg/m³) kompartmanlarda konsantrasyonu, V_A (m³) A kompartmanının hacmini, $k_{AB,dif}$ ise difüzif taşınım katsayısını ifade etmektedir.

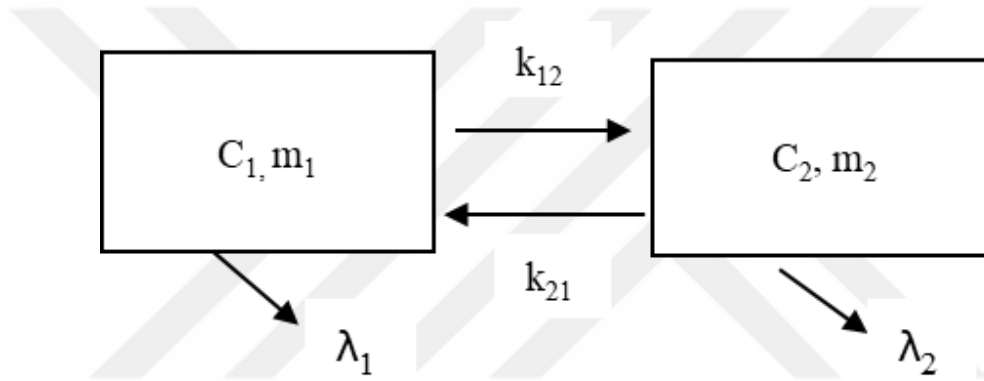
Sistem içerisinde kimyasal maddenin bozunarak dönüşümü önemli kayıp süreçlerinden biridir. Fotoliz, fotokimyasal oksidasyon, hidroliz ve metabolizma süreçleri toplam bozunma miktarını etkilemektedir (Fantke, 2011b). Degradasyon katsayısı denklem (3.7)'de gösterildiği şekilde;

$$k_{deg}^i = \ln(2) / t_{1/2,deg}^i \quad (3.7)$$

hesaplanır.

Denklem (3.7)'de $t_{1/2,deg}$ ifadesi kimyasalın çevresel ortamdaki yarı ömrünü ifade eder ve birimi çoğunlukla gündür.

Sistem içerisinde kompartmanlar arası transfer, kaynak kompartmanından alıcı kompartmana değişim oranı (k_{12}) ve alıcı kompartmandan kaynağa geri transfere (k_{21}) bağlıdır (Şekil 3.3). Toplam madde akıbeti her bölmede taşınım, bozunum ve eliminasyona (λ) bağlıdır (Charles, 2004a).



Şekil 3.3 İki kompartmanlı sistemde kütle değişimi

Sistemde kütle değişimi zaman bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilir. Kaynak kompartmanında kütle değişimi Denklem (3.8)'da gösterildiği gibi, alıcı kompartmanda kütle değişimi ise Denklem (3.9)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = k_{21} * m_2(t) - \lambda_1 m_1(t) - k_{12} m_1(t) \quad (3.8)$$

$$\frac{dm_2(t)}{dt} = k_{12} * m_1(t) - \lambda_2 m_2(t) - k_{21} m_2(t) \quad (3.9)$$

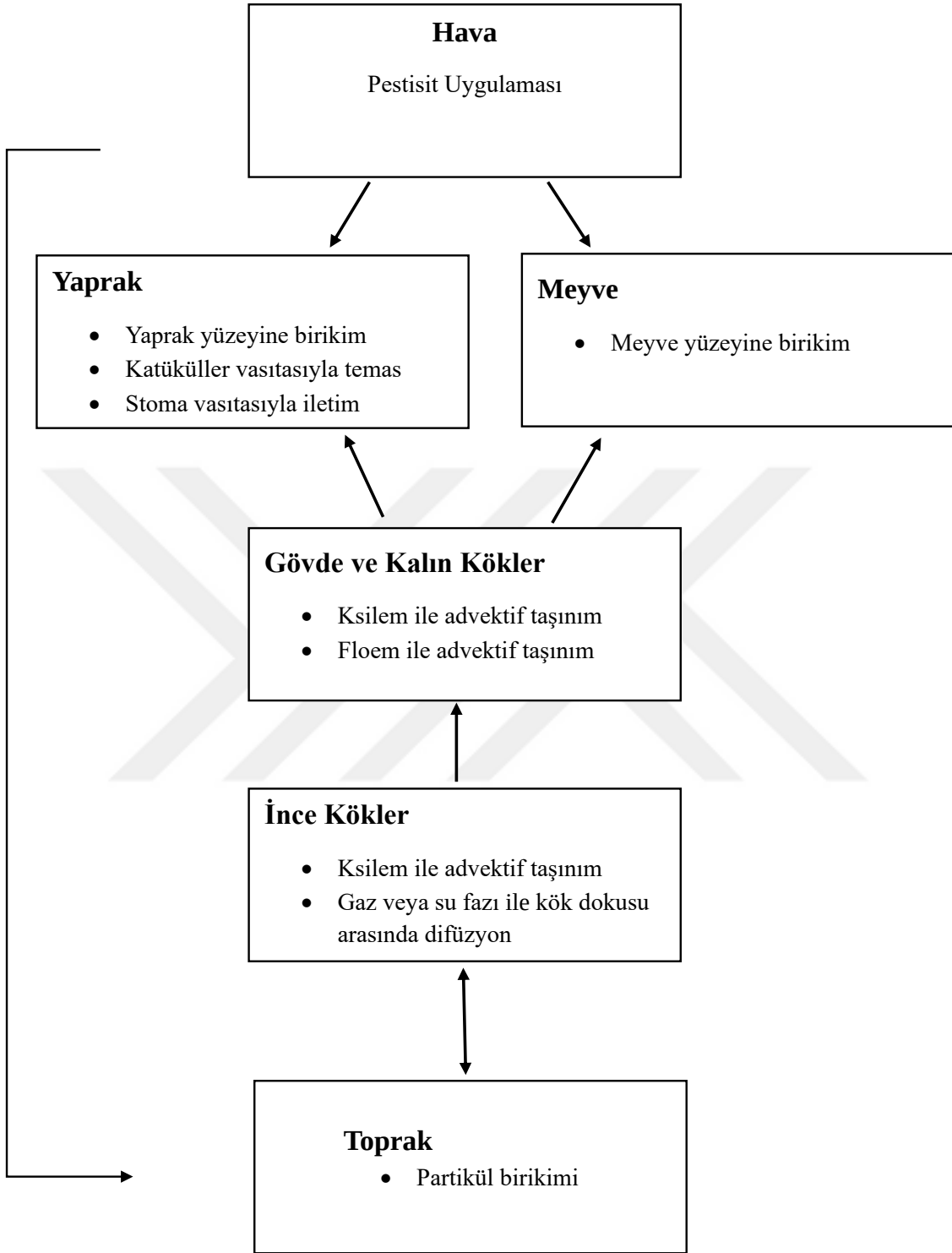
Sistem, kaynak kompartmanından emisyon girişi ile başlar ve kimyasal madde alıcı kompartmanda maksimum kütleye ulaşıncaya dek devam eder (Şekil 3.3). Maksimum kütle; kaynaktan alıcı kompartmana transfer miktarı ile alıcı kompartmanda toplam kayıp miktarının eşit olduğu noktayı ifade etmektedir (Charles, 2004a). Alıcı

kompartmanlardaki kütle miktarı maksimum nokta sağlandıktan sonra benzer değişim göstererek zamana bağlı olarak azalmaktadır. Kompartmana transfer miktarı, geri transfer ve eliminasyon süreçlerinden kaynaklanan kayıplardan fazla olduğu durumlarda; alıcı kompartmanda kütle birikimi olmaktadır.

Bitkide toprak ile bağlantılı olan organlar ince kökler ve toprakta yetişen kalın kökler veya yumrulardır. İnce kökler kimyasalların topraktan bitkiye geçişini sağlayan ara yüzü oluşturmaktadır. Molekül ağırlığı 500 g/mol'den az olan bileşiklerin kök alımı daha kolay gerçekleşmektedir (Jones, 2020). Kimyasal, kök hücrelerine ulaşmak için çift lipid tabakasından geçmelidir. Lipitte çözünür bileşiklerin geçişi daha kolay sağlanmaktadır (Jones, 2020). Kimyasalların hücre zarından geçişinin gerçekleşmesi için $\log K_{ow}$ 2 ile 4 arasında olmalıdır (Jones, 2020). K_{ow} (oktanol – su paylaşım oranı) kimyasalın hidrofobikliğinin bir ölçütüdür (Göktaş ve Macleod, 2017). K_{ow} değeri ile biyobirikim arasında ilişki bulunması nedeniyle bu parametre çevresel ortamlarda akıbet değerlendirmesi açısından önemlidir. Kökler kimyasalın topraktan bitkiye alınımı sonrası biriktiği ilk organdır. Su alımı ile birlikte bitkiye giren fakat kök hücresinde endodermis tarafından geri yansıtılan kimyasalın bir kısmının kökte biriktiği kabul edilmektedir (Charles, 2004a).

Bitkiye kimyasal taşınımında difüzyon ve adveksiyon süreçleri görülmektedir. Süreçlerin taşınımına katkısı bitki türü ve kimyasalın özelliklerine bağlı olarak değişir. Advektif ve difüzyon süreçleri karşılaştırıldığında, advektif alım baskın şekilde daha hızlı görülür (Charles, 2004a). Difüzyon süreci, toprak ile kök arasındaki değişim yüzeyi ve kök kütlesine bağlı gerçekleşir. Bir kimyasalın advektif alım ile ksilem sisteminden taşınımı ise bitki biyokütlesi ve büyümeye bağlıdır.

DynamiCROP modelinde çevre-mahsul sistemi, kompartmanlar ve kompartmanlar arası transfer süreçleri Şekil 3.4'de özetlenmiştir.



Şekil 3.4. Çevre – mahsul sistemi

Bitki büyümesinin ilk dönemlerinde büyüme üstel olarak ifade edilirken olgunluk döneminde büyüme hızının yavaşladığı ve sonunda durduğu bilinmektedir (Rein, 2011).

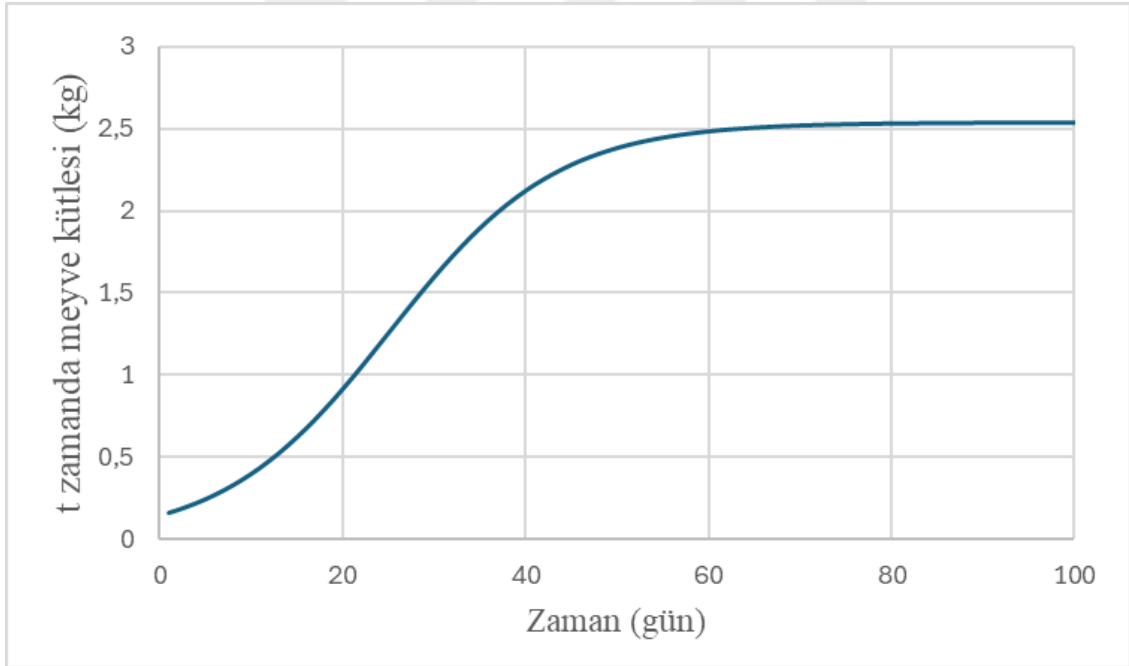
t zamanındaki bitki kütlesi, $M(t)$, Denklem (3.10)'da gösterildiği şekilde;

$$M(t) = \frac{M_{\max}}{1 + \frac{M_{\max} - M_0}{M_0} * e^{-k*t}} \quad (3.10)$$

açıklanabilir.

M_0 (kg) başlangıçtaki bitki kütlesini, $M_{\max}$ (kg) maksimum bitki kütlesini, t (gün) zamanı ve k (gün^{-1}) üstel büyüme oranı sabitini ifade etmektedir.

Denklem (3.10)'da ifade edilen domates meyvesinin büyüme eğrisi Şekil 3.5'de görselleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Domates meyvesi büyüme eğrisi ($M_0 = 0,15$ kg, $M_{\max} = 2,54$, $k=0,11$ Fantke, 2011).

Genelde bitkilerde yapraklar büyük yüzey alanına sahiptir. Hava kompartımanından yaprağa kimyasal girişi katiküller ve stoma ile sağlanmaktadır. Katikül yapısı, dışarıdaki buhar, hava fazı ile yapraklardaki sulu fazı birbirinden ayıran yapıdır. Katikül yapısından

giriş yaprak yüzeyinde kimyasal birikimi sonucu görülmektedir (Charles, 2004a). Zamana bağlı olarak yaprak yüzeyinde buharlaşma sonucu yoğunlaşan kimyasal miktarı ile aktif madde konsantrasyonu artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak daha fazla kimyasal alımı görülebilmektedir. Stoma transferinde ise havada çözünmüş halde bulunan kimyasal konsantrasyonunun girişi görülmektedir (Charles, 2004a). Stoma transferi özellikle fotosentez dönemlerinde yoğun olarak görülmektedir. Katiküller ve stoma ile transfer süreçleri paralel şekilde gerçekleşmektedir (Trapp, 2015a). Havadan bitkiye toplam transfer hızı, moleküler ağırlık ve stoma iletkenliğini belirleyen K_{OA} (oktanol – hava paylaşım oranı) değerlerinin bir fonksiyonu ile ifade edilmektedir (Charles, 2004a).

Bitki kompartmanları arasında taşınım, ksilem ve floem yapıları ile sağlanmaktadır. Bitki kompartmanları arasında kimyasalların giriş lokasyonlarına bağlı olarak 2 farklı akış tanımlıdır (Trapp, 2015a). Toprakтан giriş ile ksilem yapısında taşınımına bağlı terleme akışı ve yapraklardan giriş ile floem yapısında taşınımına bağlı olarak depolama organları olan meyve gövde ve köklere akış ile bitki içerisinde taşınım sağlanmaktadır. Floem mekanizmasının matematiksel olarak hesaplanmasının zorluğu nedeniyle ksilem akışının %5'i kadarı olduğu kabul edilmiştir (Charles, 2004a).

Model hesaplamalarının sonucu olarak kompartmanlarda kalıntı ve kütle miktarlarının yanı sıra hasat fraksiyonu (hF) ve alım fraksiyonu (iF) değerleri elde edilebilmektedir. Tarım ürünlerinin hasat edilen bölümde biriken kimyasal kütlesi hasat fraksiyonunun belirlenmesinde kullanılır (Fantke, Charles, ve diğ., 2011a) .

$$hF_i = \frac{M_{i,hasat}}{M_{i,uyg}} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de gösterilen hasat fraksiyonu denkleminde $M_{i,hasat}$ (kg) hasat zamanında üründe kimyasal kütlesini, $M_{i,uyg}$ (kg) ise ürüne uygulanan kimyasal kütlesini ifade eder.

Alım fraksiyonu, soluma veya deri maruziyeti, çevreye salınım, kontamine gıda tüketimi ve bu alım yollarının sonucu insanlar tarafından alınan kimyasal kütlesini ifade etmek için kullanılmaktadır. Tarım ürünlerinin işlenmesi üründe kalıntı miktarında değişikliğe neden olmaktadır. DynamiCROP modeli içerisinde yıkama, pişirme, soyma ve ürünün

suyunu elde etme seçenekleri bulunmaktadır. Alım fraksiyonu ürünün işlenmesini ifade eden proses faktörü (f_{fp}) ile hF değerinin çarpılması ile ifade edilir.



4. YÖNTEM

4.1. Modelde Kullanılacak Yaş Sebzelerin Belirlenmesi

Türkiye’de pestisit kalıntılarına dair yapılan araştırmalara bakıldığında ilk çalışmaların Tübitak desteği ile 90’lı yıllarda başladığı ve sonrasında 2000’li yıllarında arttığı görülmüştür. Gıdalarda pestisit kalıntısı miktarları incelenirken çeşitli ürün grupları ve farklı bölgelerde çalışmalar yapılmıştır (Tiryaki, 2016). Çalışmaların genellikle tüketimi ve üretimi yoğun gıda gruplarına odaklandığı görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında insanlar tarafından gıda olarak tüketilen gıdalarda maksimum kalıntı limiti (MRL – maximum residue level) aşıldığı ürün gruplarına odaklanılmıştır. Literatür taramasında “pestisit kalıntısı”, “kalıntı”, “pestisit”, “sebze”, “meyve” ve “Türkiye” terimleri kullanılarak Web of Science, ScienceDirect, SCOPUS, TR Dizin ve Google Akademik veri tabanlarından pestisit kalıntısı analizleri ile ilgili çalışmalara ulaşılarak bu çalışmalar derlenmiştir. Literatür araştırmasında hayvansal kaynaklı besinler çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

Çalışmaya dahil edilecek yaş sebzelerin seçimi için ilk olarak 2010 yılı sonrası Türkiye’de yapılmış olan gıda ürünlerinde pestisit kalıntıları analiz sonuçları ile ilgili yayınlar incelenerek gıda çeşitlerine göre sınıflandırılmıştır (Kula ve Göktaş, 2023). Yaş sebzeler içerisinde domates, biber ve hıyar ürünlerinde kullanılan pestisitlerin MRL değerini sıklıkla aştığı görülmüştür (Tablo 4.1).

Aynı ürünlerin günlük hayatta kullanım miktarlarının fazlalığı da dikkate alınarak belirtilen bu üç ürün model çalışmalarının kapsamına dahil edilmiştir.

4.2. Model Değerlendirmelerinde Kullanılacak Pestisitlerin Belirlenmesi

Kalıntı analizi çalışmalarına dair yapılan literatür araştırması vasıtasıyla derlenen verilere ışığında domates, biber ve hıyar ürünlerinde kalıntı miktarının MRL değerinin en sık aşıldığı pestisitlerin acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1.)

Tablo 4.1 Türkiye'de taze sebzelere odaklanan pestisit kalıntı analizi çalışmaları

Referans	Tarih	Ürün	MRL Değeri Aşılan Pestisit
(Ersoy, Evc, ve diğ., 2011)	2011	Domates, Biber	Carbendazim
			Ethion
			Triazophos
			Oxamyl
(Bakirci, 2014)	2014	Domates, Biber, Hıyar	Acetamiprid
			Alpha -Endosulfan
			Beta – Endosulfan
			Carbendazim
			Chlorpyrifos
			Clofentezine
			Cymoxanil
			Dichlorvos
			Dimethomorph
			Imidacloprid
			Malathion
			Methomyl
			Oxamyl
			Tebuconazole
(Yalçın ve Turgut, 2016)	2016	Domates	Triadimenol
			Trifloxystrobin
			Acetamiprid
			Beta – Endosulfan
(Polat, 2018)	2017	Domates	Chlorpyrifos
			Tetradifone
			MRL değeri aşılan etken madde tespit edilmemiştir.
(Kaya, 2018)	2018	.Domates	MRL değeri aşılan etken madde tespit edilmemiştir.
		Salatalık	
		Biber	
(Balkan ve Kara, 2019)	2018	Domates	Acetamiprid
(Hepsağ ve Kizildeniz, 2021b)	2018	Domates	Acetamiprid
			Imazalil
			Iprodione

Tablo 4.1.(Devam) Türkiye'de taze sebzelere odaklanan pestisit kalıntı analizi çalışmaları

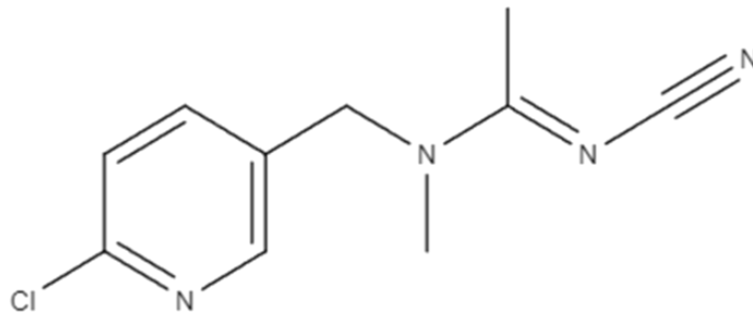
			Acetamiprid
			Bromopropylate
			Chlorpyrifos
			Cyproconazole
			Dichlorvos
			Etofenprox
			Etoxazole
(Çiftçi, 2019b)	2019	Domates, Biber	Fenarimol
			Fenazaquin
			Formetanate -HCl
			Methomyl
			Metrafenone
			Omethoate
			Pendimethalin
			Pyridaben
(Soydan, y.y.)	2016	Domates	MRL değeri aşıl原因 etken madde tespit edilmemiştir.
		Biber	
(Toptancı ve diğ., 2021)	2021	Hıyar	Imidacloprid
			Acetamiprid
			Chlorpyrifos
			Etofenprox
			Etoxazole
(Yıldırım ve Çiftçi, 2022)	2022	Biber	Fenazaquin
			Formetanate -HCl
			Methomyl
			Metrafenone
			Pyridaben
(Çakmak Sancar ve diğ., 2022)	2022	Domates, Hıyar	Pirimiphos
			Chlormequat chloride
			Pyridaben
			Chlormequa
(Balkan ve Kara, 2022)	2022	Hıyar, Biber	Metrafenone
			Pyridaben

Pestisitlerin çevresel ortamlarda akıbetinin ve ürünlerde birikiminin değerlendirilebilmesi için fizikokimyasal özellikleri (molekül ağırlığı, çözünürlük, buhar basıncı, ortamlar arası paylaşım oranları, yarı ömür değerleri) ve pestisit uygulamaları için yasal mevzuatta belirlenen MRL değerleri, hasat öncesi bekleme süreleri literatürden derlenmiştir. Pestisitlere ait fiziko-kimyasal özellikler Pesticide Properties DataBase ve EPISuite aracılığıyla belirlenmiştir ve Tablo A.'de gösterilmiştir ("EPI Suite™-Estimation Program Interface | US EPA", 2023; "Pesticides Properties DataBase", 2023). MRL değerleri, pestisit uygulama dozu ve hasat öncesi bekleme süreleri ise T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı'ndan elde edilmiştir ("Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı", 2023a). Pestisitlere ait MRL değerleri, uygulama dozu ve hasat öncesi bekleme süreleri Tablo A.1'de gösterilmiştir.

4.2.1. Acetamiprid, Chlorpyrifos ve Pyridaben

Acetamiprid ($C_{10}H_{11}ClN_4$); 1989 yılında, Nippon Soda Co., Ltd. firması tarafından ilk kez üretilmiştir (Kwizera, 2017). Beyaz ve kokusuz kristal formdadır (National Library of Medicine, 2024). Böceklerde mide etkilidir. Sinir sisteminin işleyişini bozarak etkili olmaktadır.

Acetamiprid ((E)-N¹-[(6-chloropyridin-3-yl)methyl]-N²-cyano-N¹-methylrthanimidamine) insanlar için kanserojen olmayan bir pestisit olarak sınıflandırılmaktadır ve memelilerde spesifik olmayan toksik etki gösterebilmektedir (EPA, 2002)

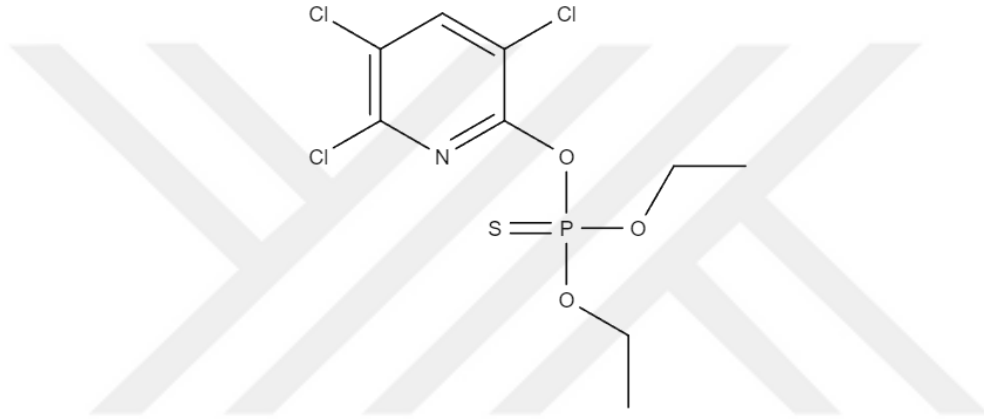


Şekil 4.1.Acetamiprid iki boyutlu şeması

Acetamiprid domates, biber ve hıyar ürünlerinde kalıntısına sıklıkla rastlanan bir insektisittir (Şekil 4.1.). Türkiye'de armut, elma, kiraz, şeftali, karpuz, nar gibi

meyvelerde, bağcılıkta, pamuk ve tütün gibi sanayi bitkilerinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (“Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı”, 2023b). Acetamiprid kimyasalına ait detaylı fiziko-kimyasal özellikler Tablo A.’de gösterilmektedir.

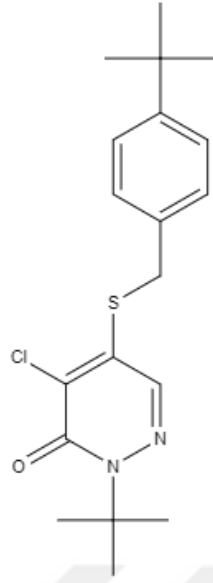
Chlorpyrifos, organikfosfatlı bir insektisittir. Beyaz veya renksiz kristaller formundadır (Şekil 4.2.) .Hafif mercaptan tipi kokusu ile ayırt edilebilmektedir (National Library of Medicine, 2024). Suda çözünürlüğü az olan chlorpyrifos ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$); aseton, ksilen, metanol ve benzen gibi kimyasallara iyi çözünmektedir (Özdemir ve Öztürk Kurt, 2020).



Şekil 4.2.Chlorpyrifos iki boyutlu şeması

Chlorpyrifos (diethoxy-sulfanylidene-(3,5,6-trichloropyridin-2-yl)oxy-λ⁵-phosphane) kullanıldığı zararlılara solunum ve sindirim yolu ile etki etmektedir (Pesticide Properties DataBase, 2023). Türkiye’de chlorpyrifos üretimi ve ithalatı 2016 yılında sonlandırılmıştır. 2020 yılından itibaren, tarımsal üretimde chlorpyrifos kullanımı yasaklanmıştır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023c). Chlorpyrifos çevresel ortamlarda uzun süre kalabildiği için çevresel ortamlarda birikim yapabilmektedir (Kula, 2023). Chlorpyrifos kimyasalının detaylı fiziko-kimyasal özellikleri Tablo A.’de gösterilmektedir. Çevresel ortamlarda birikim yapması ve fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak kimyasal besin zincirine dahil olmaktadır. Arılara çok zehirli ve balıklara zehirli etki göstermektedir (Tatlı, 2006).

Pyridaben insektisit ve akarisit olarak kullanılmaktadır. Beyaz kokusuz katılar veya renksiz kokusuz kristaller şeklinde üretilmektedir (National Library of Medicine, 2024).



Şekil 4.3. Pyridaben iki boyutlu şeması

Pyridaben ($C_{19}H_{25}ClN_2OS$), Türkiye’de domates, biber, hıyar gibi yaş sebzelerde ve elma ile turunçgillerde kullanılmaktadır (“Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı”, 2023b). Yutulması veya solunumu halinde memelilerde akut toksik etki göstermektedir. Sucul ekosistemlerde çok toksik etki görülmektedir (National Library of Medicine, 2024).Pyridaben (2- -butyl-5-[(4-tert-butylphenyl)methylsulfanylmethyl]-4-chloropyridazin-3-one) kimyasalının detaylı fiziko-kimyasal özellikleri Tablo A..’de gösterilmektedir.

4.3. Pestisitlerin Çevresel Akıbet Modelleri ile Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında, belirlenen pestisitler ilk olarak kimyasal uzay diyagramı ile değerlendirilmiştir. Kimyasal uzay diyagramı, kapalı sistem içerisindeki farklı fazlar arasında denge varsayımına dayanan olası en basit kütle dengesi denklemini kullanarak çizilen bir kavramsal diyagramdır (Gouin ve diğ., 2000). Diyagram, kimyasalların temel paylaşım özelliklerine göre hava, su ve organik madde fazlarından hangisinde bulunmaya meyilli olduklarını göstermektedir. Organik madde fazı oktanol ile temsil edilmektedir ve bu faz, organik kimyasalların toprak ve sediment gibi katı fazlara tutunma eğilimin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Diyagram, farklı K_{OA} ve K_{OW} kombinasyonları ile tekrarlanan Seviye-I fugasite hesaplamaları sonucunda, herhangi bir kimyasalın paylaşım özelliklerine bağlı olarak üç fazdaki kütle dağılımını gösteren bir araçtır. Bu çalışmada kimyasal uzay diyagramı Microsoft Excel programında üretilmiştir. Diyagramın x-ekseni

logaritmik değerde oktanol-su paylaşım oranı değeri, y-ekseni ise logaritmik değerde oktanol-hava paylaşım oranı değerini ifade etmektedir. Her kompartman için çevrede bulunan tipik hacimleri temsilen sırasıyla 656000:1300:1 birimlik hacim değerleri kullanılmıştır (Göktaş ve Macleod, 2017). Pestisitlerin kimyasal uzay diyagramı ile değerlendirilmesi ile pestisitlerin çevresel ortamlarda bulunma eğilimi gösterdikleri fazlar hakkında genel bir bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında, pestisitlerin çevresel akıbetinin daha detaylı incelenmesi amacıyla EQC model simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Kullanılan EQC model programı, Trent niversitesi'ne bağlı olarak faaliyet gösteren Kanada evresel Modelleme Merkezi'nin (The Canadian Environmental Modeling Centre - CEMC) internet sayfasından bir Excel dosyası olarak ücretsiz temin edilebilmektedir (Trent University, 2023). Modelin ayrıntıları Bölüm 3.1.2'de verilmiştir.

Literatür araştırması ile domates, biber ve hıyar rnlerinde MRL değerinin aşıldığı belirlenen 30 pestisitın çevresel akıbetleri EQC model simülasyonları ile incelenmiştir. Model uygulamasında girdi verisi olarak kullanılan pestisitlere ait fiziko-kimyasal özellikler, literatür araştırması ile elde edilerek model içerisinde bir veri tabanı oluşturulmuştur. EQC model ile yapılan hesaplamalarda model tarafından sağlanan çevresel ortam parametreleri kullanılmıştır.

Her bir pestisit için yalnızca toprak kompartmanına kirlilik girişi olduğu kabulü yapılmıştır ve emisyon miktarı tüm kimyasallar için 1000 kg/sa olarak seçilmiştir. Model sonuçlarının değerlendirilmesinde sadece Seviye-III hesaplama sonuçları incelemeye alınmıştır. Model uygulamasında incelenen tüm pestisitler için toplam kalıcılık, çevresel ortamlarda yarı ömür değerleri ve kompartmanlar arası taşınım miktarları tespit edilmiştir.

4.4. Pestisitlerin Bitkiye Alınımının DynamiCROP Modeli ile Değerlendirilmesi

Pestisitlerin bitkiye alınımı, bitki içerisinde taşınımı, meyvede birikimi ve kompartmanlarda kalıcılığı dynamiCROP modeli ile gerçekleştirilen farklı simülasyonlar ile değerlendirilmiştir. İlk olarak bir dizi kuramsal senaryonun simülasyonu ile pestisitlerin kalıntı davranışlarını etkileyen kimyasala bağlı faktörlerin ve çevresel koşulların incelenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra ise gerçekçi pestisit uygulama

senaryoları ile yapılan simülasyonlar ile pestisit uygulama dozunun ve pratikte görülebilen çoklu pestisit uygulamasının, pestisit bitki içerisindeki akıbetine ve hasat zamanı ürünündeki kalıntı miktarına etkisi incelenmiştir. DynamiCROP ile gerçekleştirilen simülasyonların bir listesi Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. DynamiCrop simülasyonları

Kuramsal Senaryolar	Temel Simülasyon	Aynı çevresel koşullar ve işletme şartlarında pestisitlerin değerlendirilmesi
	Çevresel Şartların Değerlendirilmesi	Toprakta organik karbon miktarının toprakta ve meyvede kimyasal Toprak pH değerinin toprakta ve meyvede kimyasal kütlesine etkisi
	İşletme Şartlarının Değerlendirilmesi	Pestisit uygulama yönteminin meyvede kimyasal kalıntısına etkisi Bitkinin farklı büyüme dönemlerinde yapılan pestisit uygulamaların meyvede kimyasal kalıntısına etkisi
Gerçeğe Yakın Koşullar İçin Oluşturulmuş Senaryolar	Yasal mevzuatta belirtilen işletme koşulları baz alınarak yapılan pestisit uygulamasının incelenmesi	
	Yasal mevzuatta belirtilen işletme koşullarının çoklu pestisit uygulamasına uyarlanması ile meyvede kalıntı miktarının değerlendirilmesi	

4.4.1. Kuramsal Senaryolar

İlk olarak aynı çevresel şartlar ve işletme koşullarında acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridabenin bitkide birimi ve dağılımını inceleyen temel bir simülasyon oluşturulmuştur. Bu simülasyon kapsamında acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben için aynı uygulama dozu ve yöntemi seçilerek domates meyvesine uygulandığı kabulü yapılmıştır. Kimyasalların kompartmanlardaki kalıcılık değerleri ve kompartmanlar arası kütle değişimi incelenmiştir.

Çevresel koşulların pestisitlerin davranışlarına etkisinin anlaşılması amacıyla, acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben için toprakta farklı pH dereceleri ve toprakta farklı organik karbon miktarı değerleri seçilerek model simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Model senaryosunda kullanılan pH ve organik karbon değerleri Taşova ve Akın (2013) tarafından yapılan çalışma baz alınarak belirlenmiştir. Her bir model uygulaması için toprakta kimyasal kütlesi ve domates meyvesinde kalıntı miktarları elde edilmiştir. Çevresel şartların değişimine bağlı olarak toprakta kimyasal kütlesi ve meyvede birikim değerleri incelenmiştir.

İşletme şartlarının pestisitlerin bitkiye alınımına etkisini incelemek amacıyla simülasyon senaryoları oluşturulmuştur. İlk olarak, acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitlerinin uygulanmasında farklı yöntemlerin kullanımının üründe kalıntı miktarına etkisi; yaprak yüzeyine spreyleme, havaya spreyleme, toprak yüzeyine uygulama, toprağa enjeksiyon ve sulama suyuna pestisit eklenmesi yöntemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Model senaryolarında incelenen pestisit uygulama yöntemleri, model içerisinde tanımlanmış olan uygulama yöntemleridir. Pestisit uygulama yöntemlerinin her biri uygulama anında farklı sürüklenme ve buharlaşma ile kayıp miktarları ile ifade edilmektedir. Pestisitlerin domates bitkisine uygulandığı kabul edilmiştir. Pestisit uygulama yönteminin meyvede kalıntı miktarına etkisi değerlendirilmiştir. İkinci olarak, domates bitkisinin farklı büyüme evrelerinde yapılan pestisit uygulamalarının meyvede oluşturduğu kalıntı miktarının değerlendirilmesi amacıyla model simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bitki büyüme döneminde seçilen 6 farklı zamanda pestisit uygulaması yapılmıştır. Domates bitkisine acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Model uygulaması sonucunda meyvede kimyasal kalıntısı miktarları değerlendirilmiştir.

4.4.2. Gerçeğe Yakın Koşullar için Oluşturulmuş Senaryolar

Domates, hıyar ve biber meyveleri için Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği kapsamında belirlenen uygulama dozu ve hasat öncesi bekleme süreleri dikkate alınarak 20 farklı pestisitın meyvede kimyasal kalıntı miktarının MRL değerini aşıp aşmadığı değerlendirilmiştir. Domates, biber ve hıyar ürünlerinde MRL değerinin en sık aşıldığı belirlenen acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitlerinin uygulandığı simülasyonlar detaylı olarak değerlendirilmiştir.

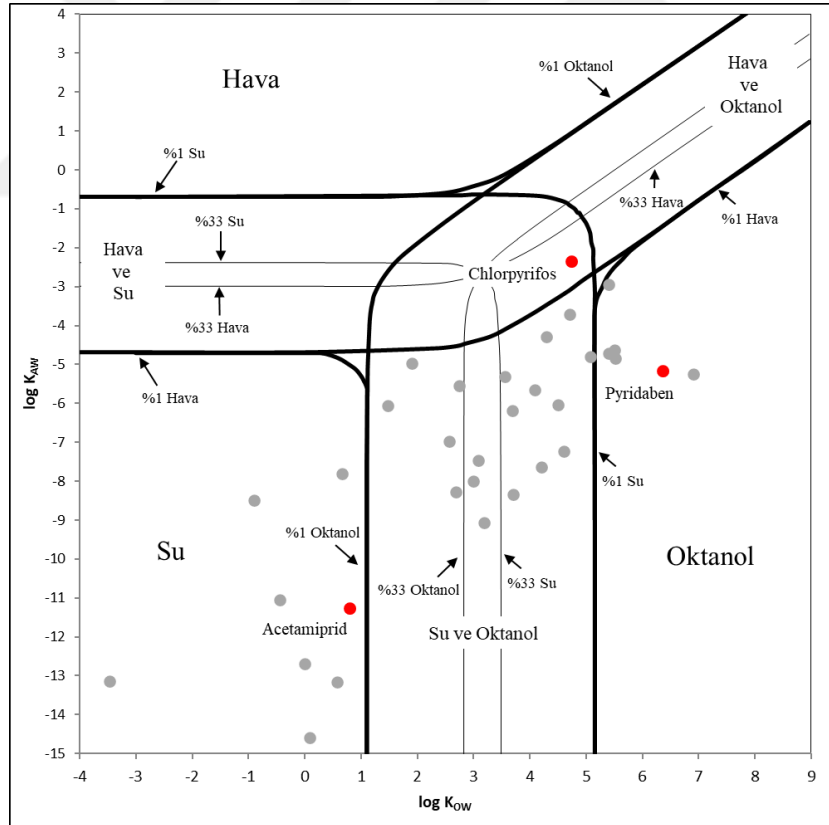
Ayrıca, acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitleri için domates meyvesinde çoklu pestisit uygulaması ile kalıntı miktarlarında değişimler incelenmiştir. Çoklu uygulama senaryosunda; yasal mevzuatta belirlenen uygulama dozu, uygulama dozunun üç kez tekrarlanması ve uygulama dozunun üç eşit miktara bölünerek uygulanması şeklinde üç farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Model uygulamalarının sonucu olarak elde edilen meyvede kalıntı değerleri karşılaştırılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Çevresel Akıbet Modellemesi

5.1.1. Kimyasal Uzak Diyagramı

Türkiye’de yaş sebze üretiminde kullanılmakta olan ve MRL değerlerini aştığı tespit edilen tüm pestisitlerin kimyasal uzak diyagramındaki konumları belirlenmiştir. Pestisitlerin fazlar arası dağılımı oktanol-su ve hava-su paylaşım oranları değerlerine göre farklılık göstermektedir. Tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan ve sebzelerde yüksek konsantrasyonlara ulaşabilen pestisitlerin diyagramda genel olarak su ve oktanol fazlarında bulunmaya eğilimli oldukları görülmektedir. Pestisitlerin çoğu su ve oktanol fazlarına önemli ölçüde paylaşımın görülmesinin beklendiği ara bölgede yer almaktadırlar. MRL değerinin aşıldığı tespit edilen pestisitlerin kimyasal uzak diyagramındaki konumları Şekil 5.1.’de gösterilmektedir



Şekil 5.1. Kimyasal uzak diyagramı

Yakın zamanlı kalıntı analizi çalışmaları MRL değerini sıklıkla aşan pestisitler olan acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben diyagramda üç ayrı bölgede bulunmaktadır. Bu durum pestisitlerin çevresel paylaşım davranışlarında farklılık görüleceğini ifade etmektedir. Acetamiprid belirlenen üç kimyasal içerisinde en düşük oktanol-su paylaşım oranı değerine sahip kimyasaldır. Beraberinde düşük buhar basıncı ve aynı zamanda yüksek suda çözünürlük değerine sahip olması nedeniyle su fazında bulunması öngörülmektedir (Şekil 5.1.). Acetamiprid'in su fazında çözünürlüğünün görece yüksek olması ve oktanol fazına kıyasla su fazında kalıcılığının yüksek olması, topraktan su alımı ile bitkiye taşınım olasılığını arttırmaktadır. Ayrıca, acetamiprid pestisitinin yüzey sularına ve yer altı sularına taşınım riskinin değerlendirilmesi gereklidir.

Chlorpyrifos'un diyagramın orta bölgesine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 5.1.). Oktan ol fazında bulunma eğiliminin yüksek olmasına karşın hava ve su fazlarına paylaşımının da ihmal edilemeyeceği tespit edilmiştir (Şekil 5.1.). Hem sediment hem de toprakta yarı ömür değerlerinin yüksek olması sebebiyle chlorpyrifos pestisitinin uygulandığı toprak kompartmanında kalarak birikim yapabileceği tahmin edilmektedir. Chlorpyrifos diyagramda gösterilen diğer pestisitlere kıyasla en yüksek hava-su paylaşım oranına sahiptir. Bu nedenle hava ortamında uzak mesafelere taşınabileceği ve birikim yapabileceği ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

Pyridaben belirtilen üç kimyasal arasında en yüksek oktanol-su paylaşım oranı değerine sahip olan pestisittir. Bu özelliğine bağlı olarak oktan ol fazında bulunma eğiliminde olması beklenmektedir. Fiziko-kimyasal özelliklerine uygun biçimde diyagramın sağ bölümünde, oktan ol fazında, görülmektedir (Şekil 5.1.). Bu durum toprakta tutunmasına ve bitkilerin yağ dokusunda birikmesine neden olabilmektedir. Pyridaben için farklı çevresel ortamlarda, canlı dokularda birikim yapma riskinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Pyridaben kimyasalının hava ortamında taşınması beklenmemektedir. Ancak yüzey sularına ve yeraltı sularına taşınım riskinin değerlendirilmesi için daha ayrıntılı modellerin kullanılması gerekmektedir.

5.1.2. EQC Model Simülasyonları

EQC model simülasyonlarında 1000 kg/sa, toprak kompartmanına emisyon girişi olduğu varsayılmıştır. Değerlendirmesi kapsamında olan 30 farklı pestisit için, 20 °C’da moleküler ağırlık(g/mol), buhar basıncı(Pa), Henry kanunu sabiti(Pa*m³/mol) ve çevresel kompartmanlarda (hava-su-sediment-toprak) yarı ömür(saat), oktanol-su paylaşım oranı değerleri model veri tabanına eklenmiştir (Tablo A..). Model simülasyonunda kompartmanlarda pestisitlerin dağılımı incelenmiştir. EQC model ile yapılan seviye-III hesaplamaların sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. EQC modelde kompartmanlar arasında denge varsayımının yoktur. Seviye-III hesaplamada ortamlar arası advectif, difüzyif, ve reaktif transfer süreçleri hesaba katılmaktadır. Tüm pestisitler için kompartmanlarda kimyasal kütlesi, kompartmanlarda kalıcılık değerleri ve kompartmanlarda yarı ömür değerleri karşılaştırılmıştır. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının kompartmanlar arası transfer süreçleri ise detaylı incelenmiştir.

Tablo 5.1. Kompartmanlarda kimyasal kütlesi

Kimyasal	Kütle (kg)			
	Hava	Su	Toprak	Sediment
Acetamiprid	7,621E-06	9,495E+03	7,780E+05	1,101E+00
Bromopropylate	5,49E-01	1,81E+01	8,51E+04	6,54E+00
Carbendazim	2,47E+00	5,76E+03	3,68E+04	1,08E+00
Chlormequat-Chloride	5,10E-12	1,07E+04	6,79E+05	5,25E+00
Chlorpyrifos	1,09E+00	1,81E+02	6,22E+05	9,88E+00
Clofentezine	2,86E+02	2,91E+04	7,02E+05	2,77E+01
Cymoxanil	2,71E-02	3,96E+03	5,39E+05	2,01E-01
Cyproconazole	8,56E-02	6,92E+05	1,07E+06	1,39E+03
Dichlorvos	3,31E+01	6,46E+03	6,84E+04	2,62E-01
Dimethomorph	1,14E-02	1,33E+05	7,37E+05	2,12E+02
Ethion	3,24E-01	1,93E+03	3,10E+06	1,11E+03
Ethofenprox	1,66E-01	6,18E+01	5,54E+05	2,71E+00
Etoxazole	1,83E+02	1,30E+04	4,53E+05	2,46E+01
Fenarimol	1,12E+01	7,74E+04	9,32E+05	1,61E+02
Fenazaquin	5,27E+02	2,50E+05	6,02E+05	5,30E+02
Imazalil	6,02E-02	2,65E+04	1,94E+05	5,34E+01
Imidacloprid	2,49E-10	2,81E+05	7,44E+05	5,31E+02
Iprodione	4,07E-05	8,64E+03	1,16E+06	7,75E+01
Malathion	3,31E+00	1,36E+04	1,59E+05	9,11E-01
Methomyl	1,03E-05	2,64E+03	2,34E+05	1,67E+00
Metrafenone	3,45E+00	1,28E+03	6,87E+06	2,31E+01
Omethoate	3,65E-14	9,54E+00	1,44E+02	3,26E-04

Tablo 5.1. (Devam)Kompartmanlarda kimyasal kütlesi

Pendimethalin	6,31E+00	2,57E+02	3e108E+06	1,82E+01
Pirimiphos-Methyl	4,89E+00	7,06E+03	1,33E+06	4,27E+01
Pyridaben	5,86E+02	1,39E+04	5,75E+05	1,59E+01
Tebuconazole	2,45E-03	3,12E+05	7,60E+05	6,38E+02
Tetradifon	9,22E-01	2,28E+05	2,853E+06	1,66E+03
Triadimenol	2,02E-05	1,93E+04	2,18E+06	4,20E+02
Triazophos	1,58E+00	4,77E+03	3,09E+05	3,26E+01
Trifloxystrobin	1,16E-01	3,50E+01	2,42E+05	7,27E-02

Tablo 5.1. Kompartmanlarda kimyasal kütlesi.’de EQC model değerlendirmesi sonucu kompartmanlarda kimyasal kütleleri verilmiştir. Model içerisinde değerlendirilen tüm kimyasalların kütlelerinin en fazla toprak kompartmanında bulunduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Sistemde toplam kalıcılık

Kimyasal	Toplam Kalıcılık (gün)	Kimyasal	Toplam Kalıcılık (gün)
Metrafenone	286,26	Chlormequat-Chloride	28,76
Pendimethalin	129,53	Chlorpyrifos	25,94
Ethion	129,47	Pyridaben	24,57
Tetradifon	128,43	Ethofenprox	23,08
Triadimenol	91,66	Cymoxanil	22,62
Cyproconazole	73,46	Etoazole	19,43
Pirimiphos-Methyl	56,74	Triazophos	13,07
Iprodione	48,59	Trifloxystrobin	10,09
Tebuconazole	44,67	Methomyl	9,88
Imidacloprid	42,75	Imazalil	9,19
Fenarimol	42,06	Malathion	7,19
Dimethomorph	36,26	Bromopropylate	3,55
Fenazaquin	35,52	Dichlorvos	3,12
Acetamiprid	32,81	Carbendazim	1,77
Clofentezine	30,49	Omethoeate	0,01

Tablo 5.2.’de EQC model içerisinde değerlendirilen kimyasalların toplam kalıcılık değerleri gösterilmiştir. Toplam kalıcılık değeri kimyasalın tüm çevresel sistem içindeki kalıcılığını ifade etmektedir. Değerlendirme sonucu olarak sistem içerisinde en kalıcı olan pestisit metrafenone olduğu görülmektedir. Sistem içerisinde kalıcılığı en az olan pestisit ise omethoeate olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.3. Kompartmanlarda yarı ömür

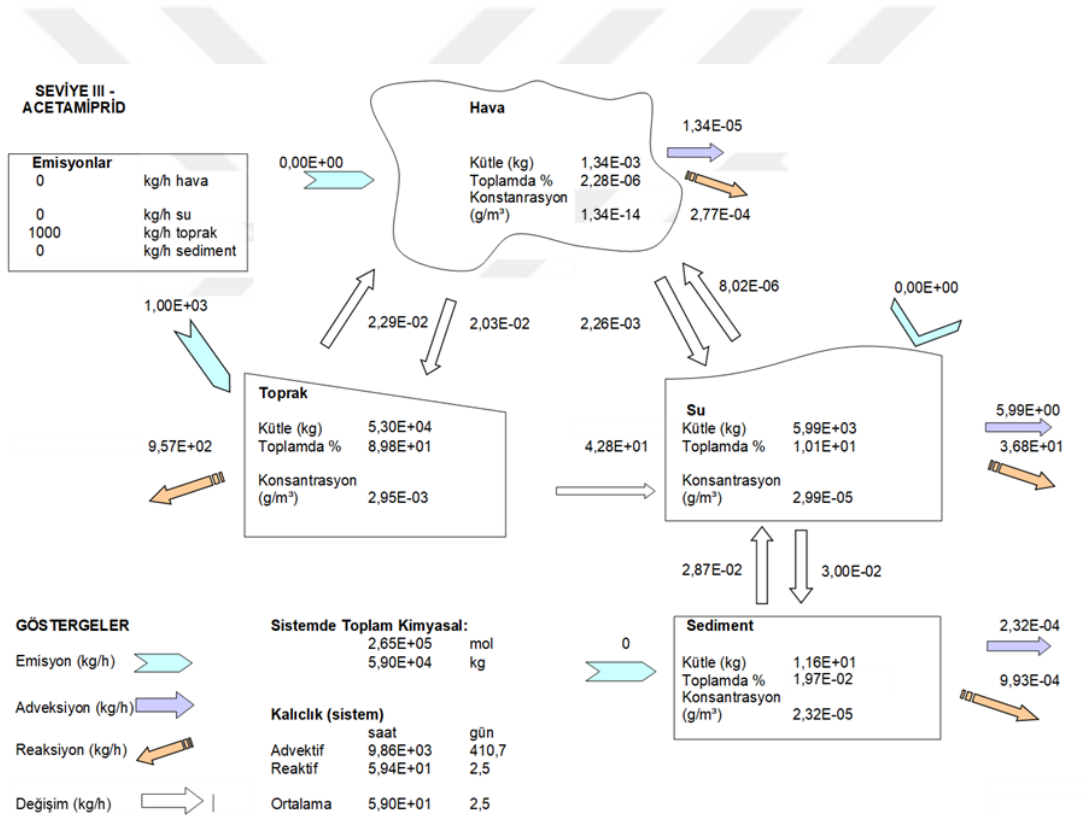
Kimyasal	Yarı Ömür (gün)			
	Hava	Su	Toprak	Sediment
Acetamiprid	0,14	4,70	24,1	0,59
Bromopropylate	1,64	4	2,46	337,5
Carbendazim	0,05	8,3	1,09	1,19
Chlormequat-Chloride	1,5	0,5	53	3,8
Chlorpyrifos	0,12	5	18	37
Clofentezine	5,08	2,1	35,8	9,6
Cymoxanil	1,78	0,3	25,3	0,3
Cyproconazole	0,72	300	128	300
Dichlorvos	1,13	37,5	2	0,22
Dimethomorph	0,03	10	44	38
Ethion	0,02	37,5	90	337,5
Ethofenprox	0,17	5,7	16	13,3
Etoxazole	0,14	1,45	19	79,5
Fenarimol	2,72	4	74	541,67
Fenazaquin	0,28	60	30,5	541,67
Imazalil	0,11	7,8	6,4	163
Imidacloprid	0,07	30	48	129
Iprodione	0,58	30	34	30
Malathion	0,14	3,3	5,3	0,4
Methomyl	1,61	2,9	6,97	3,7
Metrafenone	0,05	3,9	200,9	9,3
Omethoate	0,41	15	0	0,19
Pendimethalin	0,35	4	90	16
Pirimiphos-Methyl	0,07	37,5	39	14,06
Pyridaben	0,25	1,18	29	17,5
Tebuconazole	0,93	42,6	46	365
Tetradifon	30,25	180	112	1620,83
Triadimenol	0,34	53	64,9	91
Triazophos	0,11	35	9	35
Trifloxystrobin	1,75	1,1	7	2,4

Tablo 5.3.'de EQC model simülasyonunda değerlendirilen kimyasalların hesaplanan yarı ömür değerleri gösterilmiştir. Pestisitlerin büyük çoğunluğunun toprak ve sediment kompartmanlarında yarı ömür değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Tetradifone, fnarimol ve fenazaquin sediment kompartmanında yüksek yarı ömür değerleri ile dikkat çekmektedir.

Çevresel sistem içerisinde kompartmanlarda kimyasal kütlesini, kalıcılık ve yarı ömür değerlerini etkileyen önemli parametreler pestisitlerin fiziko-kimyasal özellikleridir. Ancak, EQC model ile yapılan bu değerlendirmede kimyasal emisyonunun yalnızca

toprak kompartmanından gerçekleştiği unutulmamalıdır. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben EQC model kapsamında detaylı olarak değerlendirilmiştir.

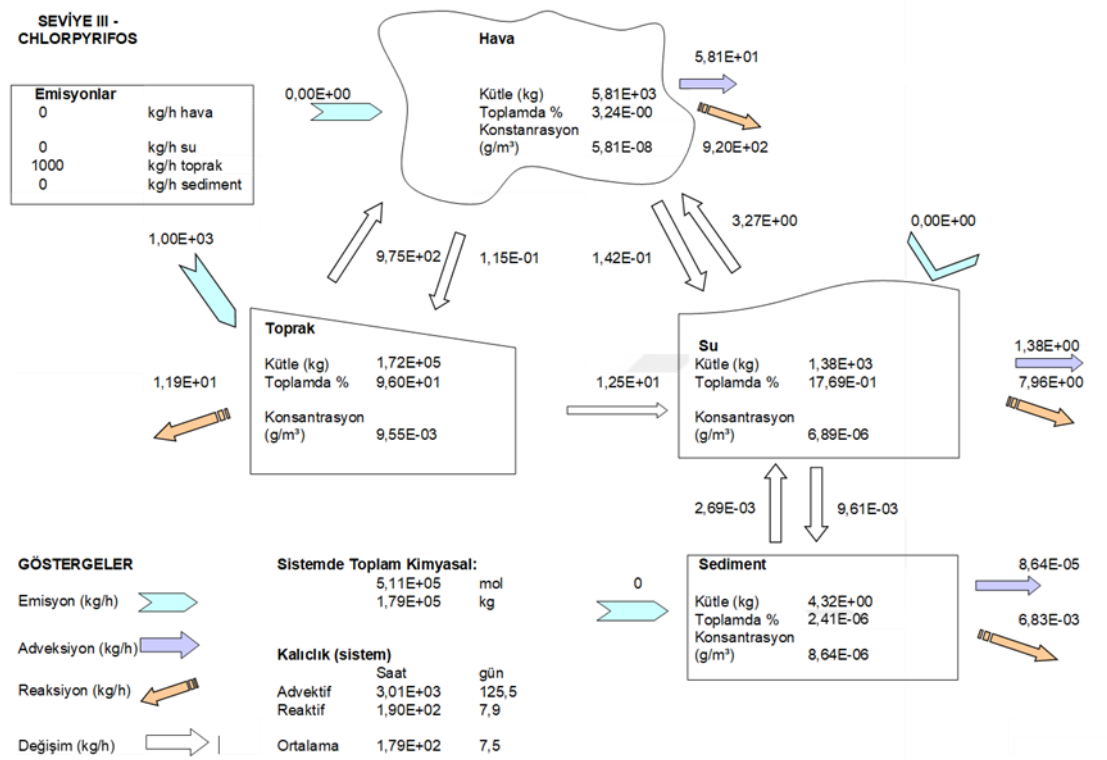
Şekil 5.2.'de acetamiprid pestisitinin seviye-III hesaplama sonuç diyagramı bulunmaktadır. Acetamiprid, emisyonun gerçekleştiği toprak kompartmanının dışında su kompartmanına da taşındığı ve önemli kütlelere ulaştığı görülmektedir. Kimyasalın suda çözünürlük değerinin yüksek olması, su ile taşınım riskini arttırmaktadır. Sistem içerisinde, acetamiprid kütlelerinin en fazla olduğu kompartmanının toprak kompartmanı olduğu görülmektedir. Ayrıca toprak kompartmanından yüksek miktarda reaktif kayıp olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. EQC model acetamiprid uygulaması

Şekil 5.3'de EQC model kapsamında değerlendirilen chlorpyrifos kimyasalına ait seviye-III hesaplamasının sonuç diyagramı gösterilmektedir. Pestisit emisyonunun toprak kompartmanına gerçekleştiği kabul edilmiştir. Chlorpyrifos topraktan hava kompartmanına taşınım eğilimi göstermektedir. Ek olarak hava ve su kompartmanlarında yüksek miktarda reaktif kayıpların olduğu görülmektedir. Chlorpyrifos yüksek logK_{ow}

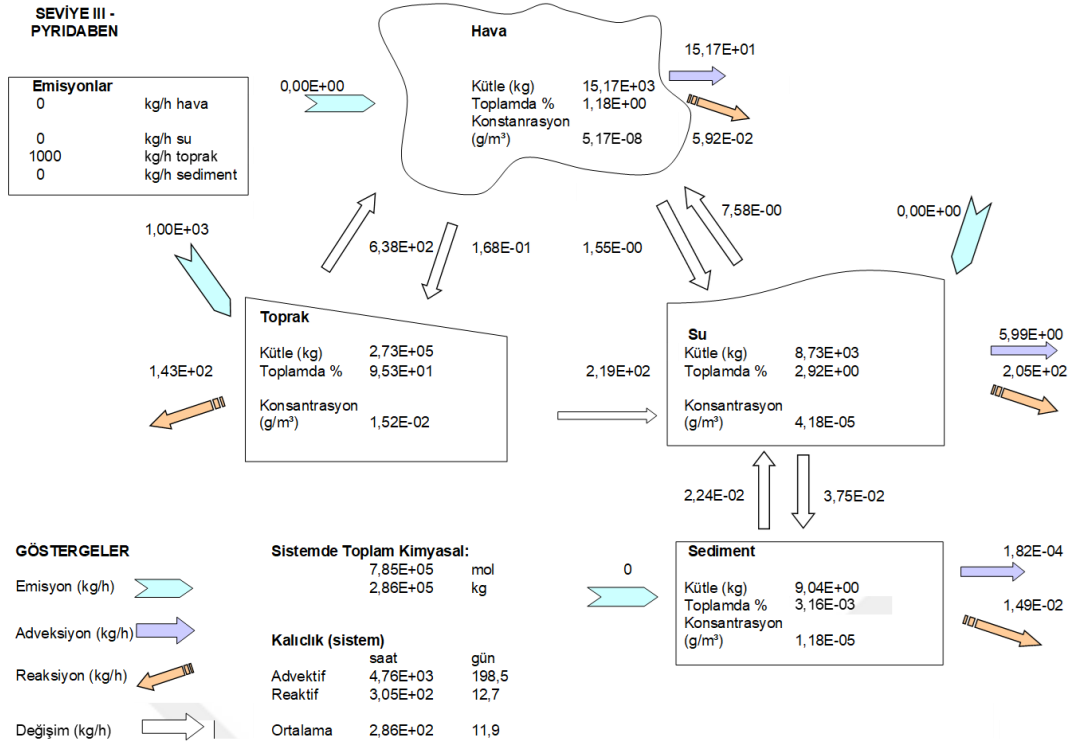
değerine sahiptir. Kaynak kompartmanın toprak olması ve organik maddede bulunma eğilimi göstermesi nedeniyle toprak kompartmanında yüksek miktarda kimyasal kütlesi görülmektedir. Çevresel sistem içerisinde chlorpyrifos toprakta birikim ve hava ortamında taşınım bakımından değerlendirilmelidir.



Şekil 5.3 EQC model chlorpyrifos uygulaması

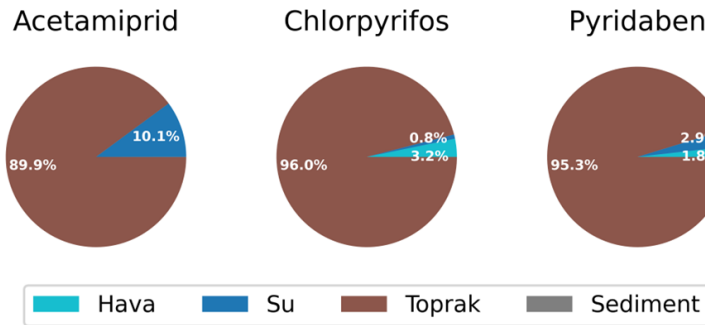
Şekil 5.4. 'de EQC model kapsamında değerlendirilen pyridaben kimyasalına ait Seviye III hesaplamasının sonuç diyagramı gösterilmektedir. Pyridaben ve chlorpyrifos sistem içerisinde, kompartmanlar arasında benzer şekilde dağılım göstermektedir.

Pyridaben hava kompartmanı yerine su ve sediment kompartmanlarında göreceli olarak daha fazla birikim göstermektedir. Pyridaben hava kompartmanında diğer ortamlara kıyasla daha fazla bozunmaya uğramaktadır. Sistem içerisinde yer alan toplam kimyasal kütlesinin büyük miktarı toprak kompartmanında bulunmaktadır.



Şekil 5.4. EQC model pyridaben uygulaması

EQC model ile yapılan değerlendirilmelerde üç pestisit de en fazla toprak kompartmanında bulunduğu görülmektedir. Pestisitlerin kompartmanlarda kimyasal kütlesi dağılımı Şekil 5.5.'de gösterilmektedir. Pestisit kütlelerinin büyük oranda toprakta bulunduğu görülmektedir. Kimyasalların kompartmanlarda kütle oranları hem emisyon kompartmanından hem de pestisitlerin fiziko-kimyasal özelliklerinden etkilenmiştir.



Şekil 5.5. EQC modelde pestisitlerin kompartmanlarda kütle dağılımı

Pestisitlerin EQC çevresi içerisindeki dağılımı ve bozunumu fiziko-kimyasal özellikleri ile uyumlu şekilde gerçekleşmiştir. Kompartmanlar arasında taşınım oranları karşılaştırıldığında acetamiprid kimyasalının toprak kompartmanından suya taşınım süreci, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının ise toprak kompartmanından hava kompartmanına taşınım süreçlerinin baskın olduğu görülmektedir. Pestisitlerin ortamlar arası taşınım oranı değerleri Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Pestisitlerin ortamlar arası taşınım oranları

	Acetamiprid	Chlorpyrifos	Pyridaben
Topraktan havaya	2,50E-06	97,47%	63,76%
Topraktan suya	4,28%	1,25%	21,92%
Sudan havaya	-2,25E-06	0,31%	0,60%
Sudan sedimente	1,23E-06	6,92E-06	1,51E-05

5.2. Bitkiye Alım Modellemesi

Kuramsal senaryolar başlığı altında toplanan model uygulamaları; temel simülasyon uygulaması, çevresel şartların değerlendirilmesi ve işletme şartlarının değerlendirilmesi başlıklarına ayrılmıştır. Model uygulamalarında uygulama dozu olarak 1 kg/m² olarak seçilmiştir. Seçilen uygulama dozu yasal mevzuatta belirtilen ve pratikte kullanılan pestisit miktarından farklıdır. Bu bölümde yapılan model uygulamalarında amaç, kimyasalların fiziksel özellikleri, çevresel şartlar ve işletme şartlarının birbiri ile mukayese edilmesidir.

5.2.1. Kuramsal Senaryo: Temel Simülasyon

Bu uygulamada; kirleticilerin fiziko-kimyasal özelliklerinin bitkilerde taşınım ve birikim süreçlerine etkisini değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben domates ürününe uygulanmıştır. Pestisitlerin uygulama dozu (M_{app}) 1 kg/m²’dir. Pestisit uygulaması sonrasında, hasat öncesi bekleme süresi 20 gün olarak belirlenmiştir. Tüm pestisitler için uygulama tekniği olarak yaprak yüzeyine uygulama (foliar spray) seçilmiştir. Model içerisinde tanımlanmış olan çevresel sistem parametreleri model simülasyonunda değiştirilmeden kullanılmıştır.

Tablo 5.5.'de uygulama sonrası hasatta zamanında kompartmanlarda kimyasal kütleleri verilmiştir. Hasatta meyve kompartmanında en fazla kimyasal kütlesinin acetamiprid uygulaması sonucunda olduğu görülmüştür. Çoğu kompartmanda kimyasal kütleleri yaklaşık değer alırken hava kompartmanında diğerlerine kıyasla acetamiprid belirgin şekilde az görülmektedir.

Tablo 5.5. Hasat Zamanında Kimyasal Kütlesi

Pestisit Etken Madde	Hasat Zamanında Kompartmanlarda Kimyasal Kütlesi							
	m _{t,hava}	m _{t,toprak}	m _{t,yaprakyüz.}	m _{t,meyveyüz.}	m _{t,yaprak}	m _{t,meyve}	m _{t,gövde}	m _{t,kök}
Acetamiprid	1,1E-08	8,3E-02	1,4E-04	9,7E-04	7,2E-02	1,4E-02	6,5E-04	5,0E-05
Chlorpyrifos	8,9E-05	8,1E-02	6,9E-05	1,5E-04	1,0E-02	2,4E-03	4,5E-05	4,8E-05
Pyridaben	1,8E-04	1,0E-01	1,8E-04	2,4E-04	3,9E-02	3,9E-03	1,7E-06	1,6E-05

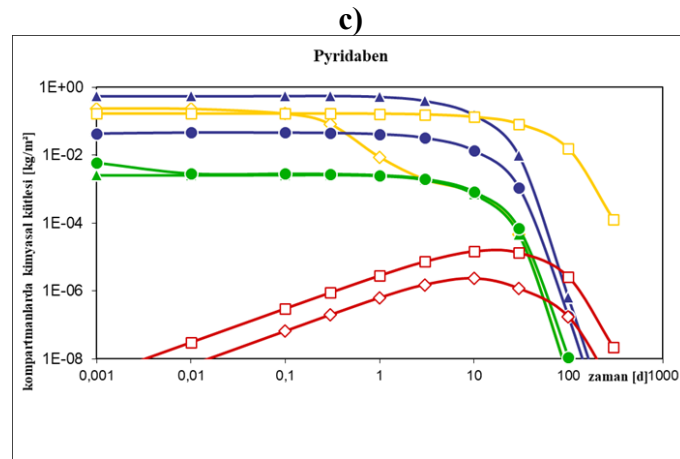
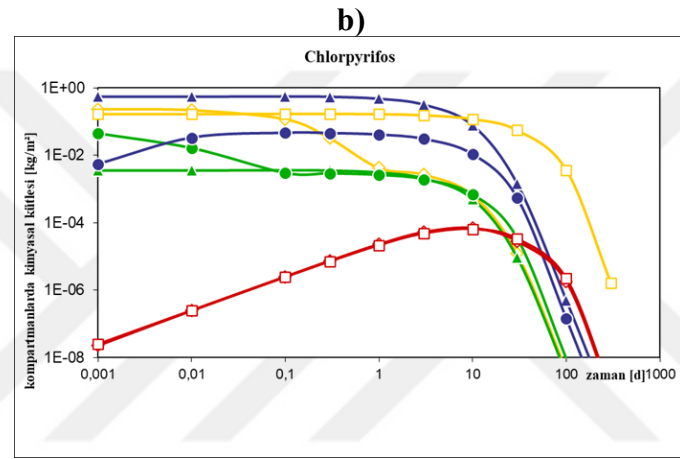
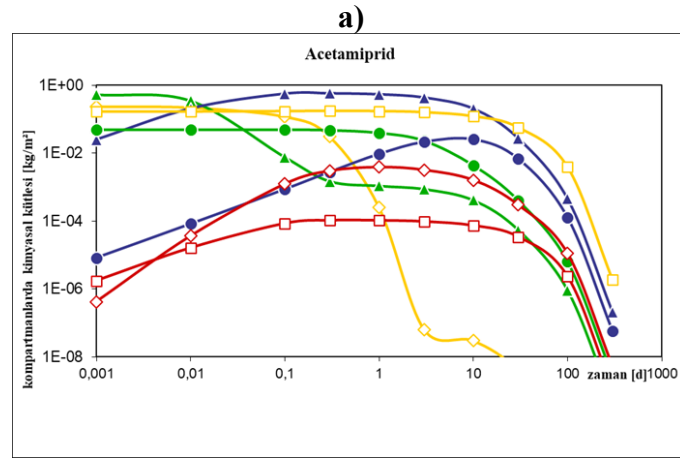
Pestisitlerin çevresel ortamlarda kalıcılık değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir. Model simülasyonunda 3 kimyasalın en kalıcı olduğu kompartmanın toprak kompartmanı olduğu belirlenmiştir. Toprak kompartmanında kalıcılık değeri en yüksek olan kimyasalın pyridaben olduğu tespit edilmiştir.

Model simülasyonunda diğer iki kimyasal ile kıyaslandığında pyridaben kalıcılık değerinin daha yüksek olması, yüksek oktanol-su paylaşım oranı değerine bağlı olarak toprakta tutulmaya eğilimli olmasının bir sonucu olarak görülmektedir.

Tablo 5.6. Kompartmanlarda Kalıcılık

Pestisit Etken Madde	Kompartmanlarda Kalıcılık (gün)							
	τ hava	τ toprak	τ yaprakyüz.	τ meyveyüz.	τ yaprak	τ meyve	τ gövde	τ kök
Acetamiprid	0,15	26,11	0,04	3,9	8,93	9,04	0,25	0,06
Chlorpyrifos	0,15	25,86	0,03	0,4	4,94	6,24	4,87	3,5
Pyridaben	0,28	41,8	0,03	0,46	7,23	7,55	7,71	7,58

Meyve kompartmanında kimyasalların kalıcılık değerleri karşılaştırıldığında en yüksek kalıcılık değeri acetamiprid uygulamasında hesaplanmıştır. Acetamiprid uygulaması sonucunda kimyasalın hem meyve kompartmanında yüksek kalıcılığa sahip olduğu hem de meyvede kimyasal kütlesinin fazla olduğu belirlenmiştir.



hava yaprakyüz. yaprak toprak
 meyveyüz. meyve gövde kök

Şekil 5.6. Kompartmanlarda Kütle Değişimi

Bu durum su içeriği fazla olan domates ürününe suda çözünürlük değeri yüksek olan bir pestisit uygulanmasının sonucu olarak yorumlanmaktadır.

Şekil 5.6'da model uygulamasında, kompartmanlarda kimyasal kütlelerinin zaman bağlı değişimi gösterilmektedir. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kütleleri 10.güne kadar artış göstermiş ve 10.günden sonra zamanla azalmıştır. Yalnızca acetamiprid kütlesi hava ortamında diğer ortamlara kıyasla çok daha hızlı azalmıştır. Acetamiprid düşük buhar basıncına ve beraberinde yüksek suda çözünürlük değerine sahiptir. Bu nedenle kimyasalın hava kompartmanında hızlı azalması ve kökler ile alımın görülmesi kimyasalların özellikleri ile uyumlu bir sonuçtur. Chlorpyrifos ve pyridaben yüksek oktanol-su paylaşım oranına sahip olması sonucunda toprakta tutulma bulunma eğilimi göstermektedir bu nedenle kökler ve gövde kimyasal kütlesi daha azdır. Bu pestisitlerin kökler ve gövde ile daha düşük konsantrasyonlarda ve yavaş alımı fiziko-kimyasal özellikleri ile uyumludur (Şekil 5.6).

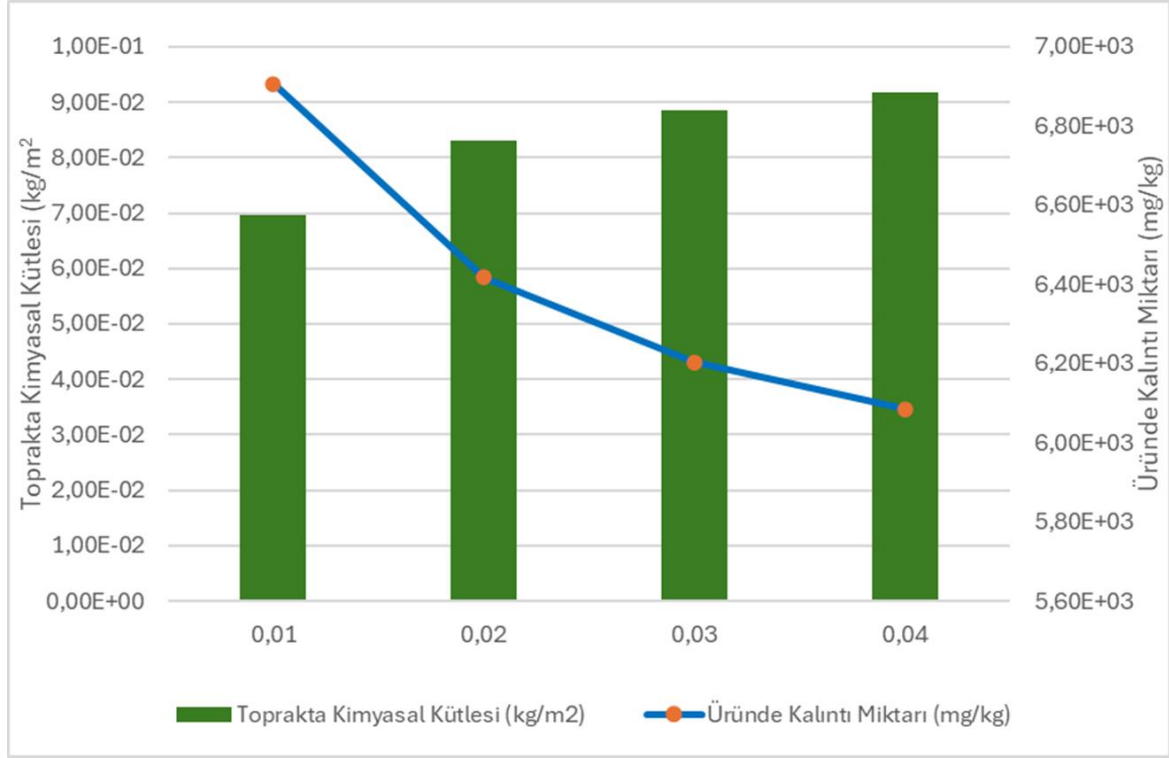
Şekil 5.7.'de meyve kompartmanında bulunan kimyasal kütlelerine diğer kompartmanların katkısı gösterilmiştir. Chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları uygulandığında meyve kompartmanına kimyasal taşınımının uzun süre meyve yüzeyi kompartmanından gerçekleştiği görülmektedir. Hasat zamanında ($t=20$. gün), chlorpyrifos ve pyridaben uygulamalarında meyveye kimyasal kütlelerinin taşındığı baskın ortamın meyve yüzeyi olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın acetamiprid uygulamasında, pestisit uygulamasından kısa bir süre sonra yaprak yüzeyinden meyve ortamına kütle taşınımının olacağı öngörülmüştür. Bu durum kimyasalın bitki içerisinde taşınımının diğerler iki pestisite göre daha hızlı gerçekleştiğini ifade etmektedir. Uzun zaman beklenildiği takdirde acetamiprid ve chlorpyrifos toprak ortamından da meyveye kimyasal taşınımı gerçekleşmektedir. Ancak pyridaben toprakta tutulma eğilimi göstermesi ve suda çözünürlük değerinin çok düşük olmasının bir sonucu olarak neredeyse yalnızca meyve yüzeyinden meyve kompartmanına taşınmaktadır.



Şekil 5.7. Meyve kompartmanında kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkısı

5.2.2. Kuramsal Senaryo: Çevresel Şartların Etkisinin Değerlendirilmesi

Bu simülasyonda, DynamiCROP modeli kullanılarak toprakta bulunan organik karbon oranının domates bitkisinde kalıntı miktarlarına etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben uygulama dozu (M_{uyg}) 1 kg/m² olarak kabul edilmiştir. Sırasıyla 0,01 (kg/kg), 0,02 (kg/kg), 0,03 (kg/kg) ve 0,04 (kg/kg) organik karbon içeriği için üründe kalıntı miktarları ve toprak kompartmanında kimyasal kütlesi hesaplanmıştır. Model simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde organik karbon değişiminin chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları için belirgin bir etki oluşturmadığı görülmüştür. Ancak acetamiprid uygulaması için oluşturulan simülasyon sonucunda organik karbon oranının artışına bağlı olarak toprak kompartmanında kimyasal kütlesinde artış gözlenmiştir. Buna karşın, organik karbon miktarı arttıkça meyvede kimyasal kalıntısının azaldığı görülmüştür.



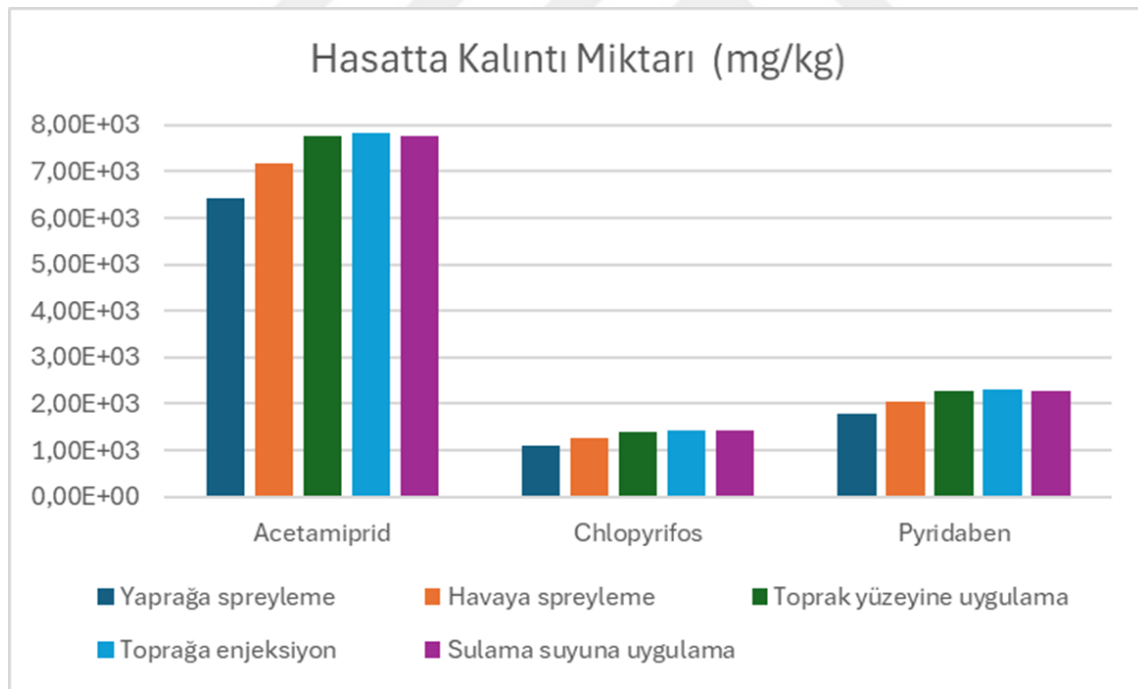
Şekil 5.8. Organik Karbon Miktarının Model Sonuçlarına Etkisi – Acetamiprid

Şekil 5.8.'de 4 farklı organik karbon oranı değerinde, toprak kompartmanında acetamiprid kütlesi miktarı ve domates ürününde kalıntı miktarları verilmiştir. Toprakta organik karbon miktarı arttıkça kimyasal kütlesinde de artış görülmektedir. Toprakta organik karbon oranı arttıkça meyvede kimyasal kalıntısının azaldığı görülmektedir. Organik karbon oranının fazla olması pestisit in toprakta daha fazla tutulmasına neden olmaktadır.

DynamiCROP modeli ile toprakta pH değerinin etkisini gözlemlemek adına pH değerinin 4,5 ile 8,5 arasında değiştiği 6 farklı simülasyon oluşturulmuştur. Taşova ve Akın, 2013 tarafından yapılan çalışmada, Marmara Bölgesi toprak özellikleri incelenerek model vasıtasıyla değerlendirilmesi planlanan pH değerleri belirlenmiştir. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları için domates bitkisine uygulanan kimyasal kütlesi (M_{app}) 1 kg/m² olarak kabul edilmiştir. Model uygulamasında pH değerinin 4,5 - 8,5 arasında olduğu durumlar için meyvede kalıntı, toprakta kimyasal kütlesi ve sistemde zamana bağlı kompartmanlar arası kütle değişiminde belirgin bir farklılık bulunamamıştır.

5.2.3. Kuramsal Simülasyon: İşletme Şartlarının Değerlendirilmesi

İşletme şartlarının pestisitlerin bitkide akıbetine etkisini değerlendirirken ilk olarak pestisit uygulama yönteminin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla model içerisinde matematiksel süreçleri tanımlanmış bulunan pestisit uygulama yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla simülasyonlar oluşturulmuştur. DynamiCROP modeli içerisinde havaya spreyleme, yaprağa spreyleme, toprak yüzeyine uygulama, toprağa enjeksiyon ve sulama suyuna pestisit eklenmesi şeklinde 5 farklı pestisit uygulama seçeneği bulunmaktadır. Her uygulama seçeneği için farklı oranlarda sürüklenme ve buharlaşma ile kayıp miktarı bulunmaktadır. Model uygulamasında hava ortamına spreyleme kullanıldığında kayıp oranı %11, yaprağa spreyleme yönteminde kayıp oranı %23,26, toprak yüzeyine uygulama ve sulama suyu ile uygulamada kayıp oranları %1 olarak belirlenirken toprağa enjeksiyon tekniğinde ise kayıp oranı %0 olarak belirlenmiştir. Acetamiprid, chlopyrifos ve pyridaben kimyasalları uygulama kütlesi (M_{app}) 1 kg/m^2 ve $1 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^2$ olarak belirlenerek domates bitkisine uygulandığı kabul edilmiştir.



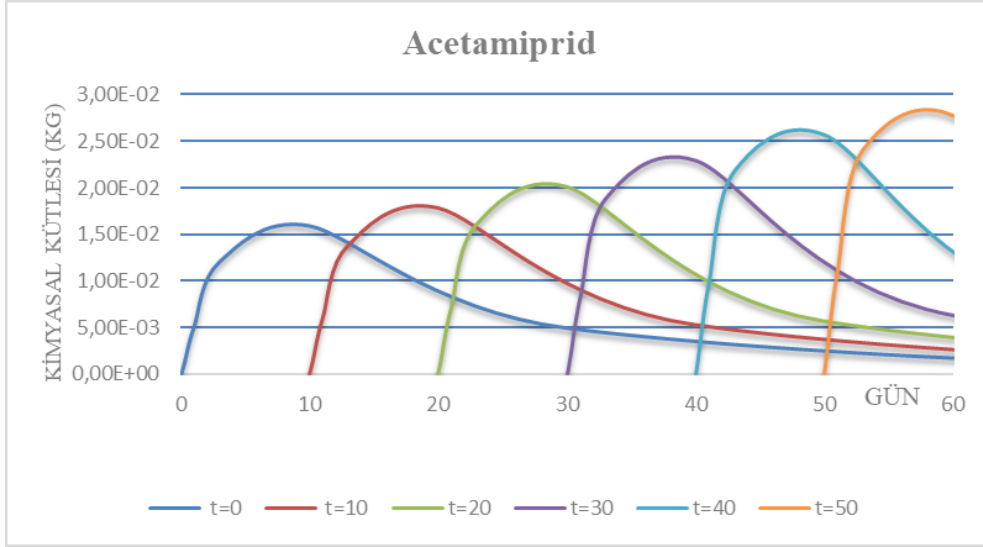
Şekil 5.9. Pestisit uygulama yönteminin hasat zamanı kalıntı miktarına etkisi

Şekil 5.9. 'da uygulama dozu 1 kg/m^2 olarak belirlenen model çalışmasının sonuçları gösterilmektedir. Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde acetamiprid, chlopyrifos ve pyridaben uygulamalarında kalıntı miktarlarının en fazla hesaplandığı uygulama

teknikinin toprağa enjeksiyon yöntemi olduğu tespit edilmiştir. M_{app} değerinin $1 \cdot 10^{-6}$ kg/m² olarak seçildiği model uygulamasında da benzer şekilde toprağa enjeksiyon yöntemi kullanıldığında hasatta kalıntı miktarının en fazla olduğu tespit edilmiştir. Pratikte sıklıkla tercih edilen yaprak yüzeylerine spreyleme yöntemi ile karşılaştırıldığında toprağa enjeksiyon yöntemi acetamiprid için %21,85, chlorpyrifos için %28,11 ve pyridaben için %29,59 daha fazla kalıntı miktarına neden olmaktadır.

İşletme şartlarının pestisit kalıntılarına etkisinin değerlendirilmesinde ikinci olarak domates bitkisinde farklı büyüme dönemlerinde pestisit uygulaması yapıldığı simülasyonlar oluşturulmuştur. Model içerisinde domates bitkisi için bitki ömrü 114 gün, meyve ömrü ise 58 gün olarak belirtilmiştir. Model simülasyonu kapsamında uygulama günü (t) değerleri sırasıyla 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 olarak seçilmiştir. t=0 ifadesi meyvenin olduğu günü temsil etmektedir. t=0 zamanında hasat öncesi bekleme süresi 58 gün olurken, t=50 zamanında hasat öncesi bekleme süresi 8 gündür.

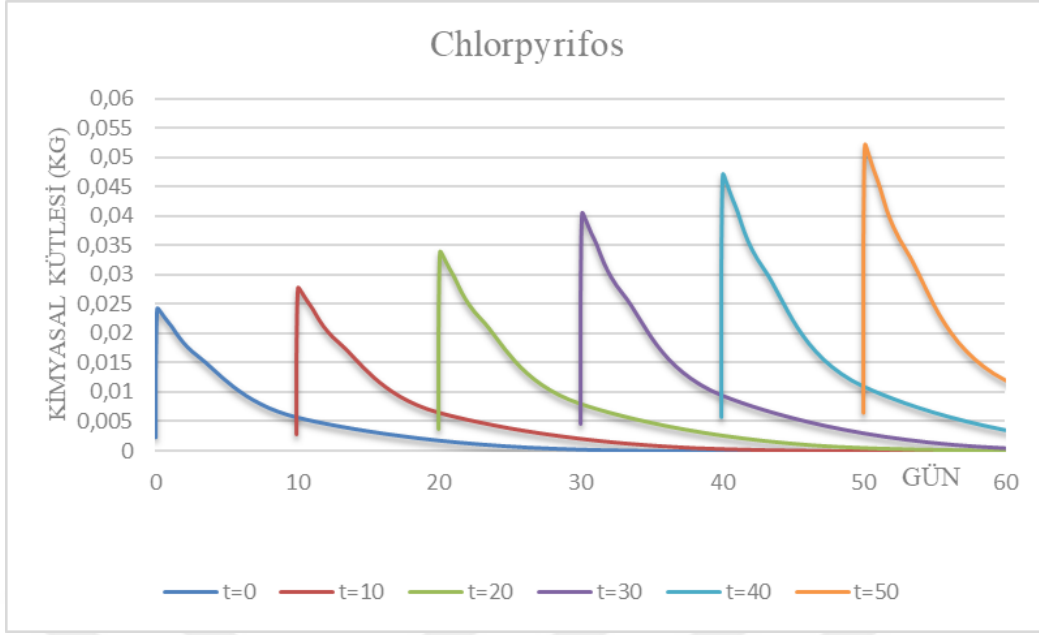
Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının uygulama dozu (M_{app}) 1 kg/m² olarak seçilmiştir. Tüm pestisitler için uygulama yöntemi yaprağa spreyleme olarak seçilmiştir. Acetamiprid kimyasalının bitkinin farklı dönemlerinde uygulanması ile meyve kompartmanında kalıntı kütlesinin zaman bağlı değişimi Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Acetamiprid uygulaması değerlendirildiğinde kalıntı miktarının zaman bağlı değişimi her uygulama döneminde benzer şekilde uygulamanın ardından belli bir miktar artarak daha sonra azalma eğilimi göstermiştir. t=0,10 ve 20 zamanında yapılan uygulamalarda pestisit kalıntısı hasat zamanına kadar büyük oranda azalmıştır. 30. ve 40. günlerde yapılan uygulamalarda nispeten daha yüksek kalıntı kütlelerinin varlığı görülmüştür. 50. günde yapılan uygulamada ise hasatta en yüksek kalıntı kütlelerinin görüleceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak acetamiprid uygulaması, hasat zamanına ne kadar yakın yapılırsa o kadar fazla kalıntı miktarına neden olmaktadır.



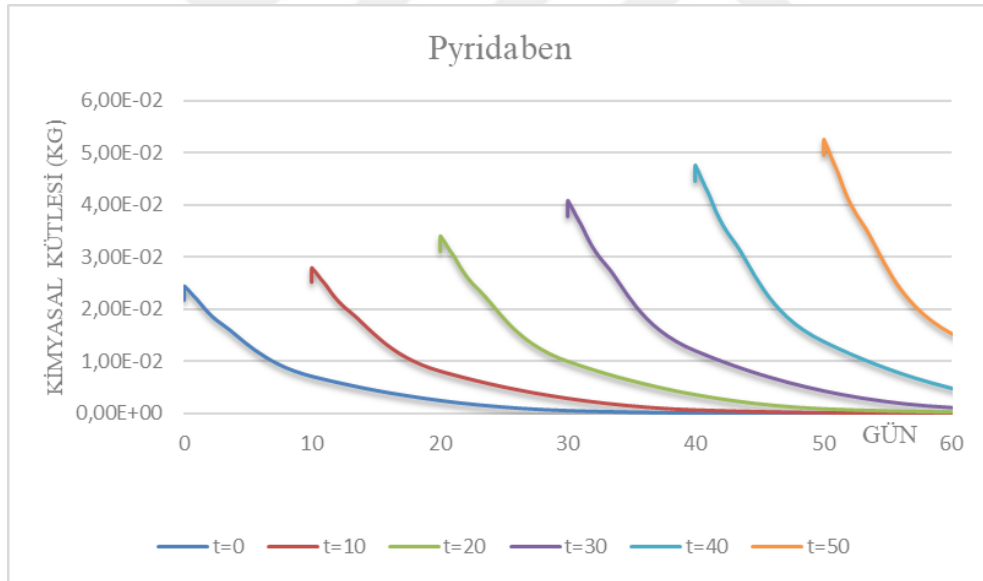
Şekil 5.10. Farklı büyüme dönemlerinde acetamiprid uygulaması

Domates bitkisinin farklı dönemlerinde chlorpyrifos uygulaması sonucu meyvede oluşan kalıntı miktarları ve zaman bağlı değişimleri Şekil 5.11.'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, meyvede kalıntı miktarlarının pestisit uygulamasının ardından hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Tüm uygulama zamanlarında pestisit kalıntı miktarı benzer şekilde ani artış ve zamanla azalma eğilimi göstermiştir. t=0, 10, 20, 30 günlerinde yapılan chlorpyrifos uygulaması sonucu meyvede oluşan kalıntı miktarı hasat zamanına dek neredeyse 0 değerine yaklaşmıştır. Acetamiprid'e kıyasla chlorpyrifos kimyasalının hasat zamanında yaklaşık olarak 10^3 kat daha az kalıntıya neden olduğu belirlenmiştir. Chlorpyrifos uygulamasın ile meyvede oluşabilecek kalıntı miktarı meyvenin olgunluk dönemine yaklaştıkça artmaktadır. Hasatta en yüksek kalıntı miktarı t=50 zamanında yapılan pestisit uygulaması ile oluşmaktadır.

Domates bitkisinde, t=0, 10, 20, 40, 50 zamanları için pyridaben uygulaması ile meyvede görülen kalıntı miktarları ve kalıntı miktarlarının zaman bağlı değişimi Şekil 5.12.'de verilmiştir. Pyridaben uygulaması sonrası meyvede kalıntı miktarı hızla maksimum seviyeye ulaşmıştır. Kalıntı miktarı acetamiprid ve chlorpyrifos ile kıyaslandığında zamana bağlı olarak daha yavaş azalmaktadır. Kalıntı değişim süreçlerinin tüm uygulama zamanları için benzer şekilde geliştiği görülmüştür. Pyridaben uygulamasında hasat zamanında en yüksek konsantrasyon 50.günde yapılan uygulamada görülmüştür.



Şekil 5.11. Farklı büyüme dönemlerinde chlorpyrifos uygulaması



Şekil 5.12. Farklı büyüme dönemlerinde pyridaben uygulaması

Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının üçünde de en yüksek kalıntı miktarı t=50 zamanında yapılan pestisit uygulamasında görülmüştür. Pestisit uygulaması hasat zamanına ne kadar yakın yapılırsa meyvede kalıntı miktarının o kadar yüksek olması beklenmektedir. Pestisit uygulaması ile hasat zamanı arasındaki zaman azaldıkça çevresel sistemde kayıp ve bozunma süreçleri daha az süre etki etmektedir. Üç kimyasal

için hasatta kalıntı miktarı karşılaştırıldığından en fazla kalıntı miktarının acetamiprid uygulamasında bulunduğu tespit edilmiştir. Acetamiprid diğer kimyasallara kıyasla meyvede daha uzun bir yarılanma ömrüne sahiptir (Pesticide Properties DataBase, 2023). Bu nedenle acetamiprid kimyasalında kalıntı miktarının zamana bağlı olarak, chlorpyrifos ve pyridabene kıyasla daha yavaş bir şekilde azalması beklenen bir sonuçtur.

5.2.4. Gerçekçi Senaryo: Yasal Mevzuatta Belirlenen Şekilde Yapılan Pestisit Uygulamaları

Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği'nde Türkiye'de kullanılan tüm pestisitlere ilişkin uygulama dozu, hasat öncesi bekleme süresi ve MRL değerlerine ilişkin veriler bulunmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021b). Yönetmelikten elde edilen veriler ışığında, Türkiye'de domates, biber ve hıyar ürünlerinde MRL değerinin aşıldığı tüm pestisitler model simülasyonu ile değerlendirilmiştir. Model simülasyonunda değerlendirilen pestisitlerin listesi, uygulama dozu, hasat öncesi bekleme süresi, MRL değerleri, aktif madde oranları ve model sonuçları Tablo 5.8.'de listelenmiştir.

Model içerisinde yalnızca domates meyvesi tanımlanmış durumdadır. Biber ve hıyar ürünleri için yapılan hesaplamalar, biber ve hıyar ürünlerine ait parametrelerin domates ürününe uyarlanması ile gerçekleştirilmiştir. Biber ve hıyar ürünlerinin domates ürününe uyarlanabilmesi amacıyla model girdi parametresi olarak kullanılan değerler Tablo 5.7'de detaylı olarak gösterilmiştir. Biber ve hıyar ile ilgili veriler literatür çalışmalarından elde edilmiştir (Feng ve diğ., 2021; Karaca ve Büyüktaş, 2021).

Model uygulamasında domates biber ve hıyar ürünleri için yapılan model simülasyonları ile meyvede kalıntı hesaplanmış ve yasal mevzuatta belirtilen MRL değerinin aşılp aşılmadığı değerlendirilmiştir. Formetanate -HCI ve metrafenone etken maddelerinin DynamiCROP veri tabanında bulunmaması nedeniyle model simülasyonlarına dahil edilmemiştir.

Tablo 5.7. Hıyar ve Biber Ürünleri Girdi Parametreleri

			Hıyar	Biber
Sembol		Birim	Değer	
M _{plant,yield}	Hasat edilen bitkinin verimi (taze ağırlığı)(tarımsal üretim)	[kg/m ²]	5,36	1,4
ET _{H₂O,plant}	Terleme katsayısı (1/su kullanım verimliliği)	[L _{H₂O} /kg _{kuru kütle}]	44,7	162
LAI _{t0}	Bitki büyümeye başladığında yaprak alanı indeksi	[m ² _{yaprak} /m ² _{yüzey}]	0,92	0,2
LAI _{harv}	Bitki hasat edildiğinde yaprak alanı indeksi	[m ² _{yaprak} /m ² _{yüzey}]	3,74	2,8
LAI _{app}	Pestisit uygulaması yapıldığında yaprak alanı indeksi	[m ² _{yaprak} /m ² _{yüzey}]	3,74	n/a
r _{fruit,t}	Hasat zamanında meyvenin yarıçapı (elipsoidin en uzun tarafı)	[m]	0,28	0,04
Δr _{fruit,2/1}	Elipsoidde meyve yarıçaplarının oranı (1. kısa taraf / en uzun taraf)	[m/m]	0,11	1
C _{W,fruit}	Meyvenin su içeriği	[L/kg]	0,69	0,938

Çiftçi, 2019b, tarafından yapılan ve domates ve biber ürünlerinde pestisit kalıntılarının araştırıldığı çalışmada, cyproconazole etken maddesine rastlanmıştır. Buna karşın, cyproconazole etken maddesinin T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından domates, biber ve hıyar ürünlerinde kullanımına izin vermediği tespit edilmiştir (“Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı”, 2023b; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021b). Bu nedenle cyproconazole etken maddesi için model simülasyonu oluşturulmamıştır. Imidacloprid etken maddesi için MRL değeri bulunurken, önerilen uygulama dozu ve bekleme süresi ile ilgili bir veri bulunmadığı için model uygulamasına dahil edilmemiştir (“Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı”, 2023b). Model simülasyonunda T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen uygulama dozu ve uygulama süresi dikkate alınarak 13 farklı pestisit etken maddesi değerlendirilmiştir. Tablo 5.8’de verilen sonuçlara göre dimethomorph uygulamasında domates ve hıyar ürünleri için, fenazaquin uygulamasında domates, biber, hıyar ürünleri için, imazalil uygulamasında biber ürünü için, malathion etken maddesi uygulamasında domates ürünü için, pirimiphos – methyl uygulamasında ise domates ve hıyar ürünleri için MRL değerinin aşıldığı belirlenmiştir. Model simülasyonları doğrultusunda, MRL değerinin en fazla aştığı görülen ilk 3 kimyasalın sırasıyla malathion, dimethomorph ve imazalil etken maddeleri olduğu görülmüştür. Dimethomorph etken maddesi domates ve biber ürünlerin aynı uygulama dozu verisine sahip olmasına karşın biber ürününde MRL değeri aşılmazken domates ürünü için MRL değerinin aşıldığı görülmüştür.

Tablo 5.8. Yasal mevzuat kapsamında pestisit uygulaması

Kimyasal	Uygulandığı Ürün	Uygulama Dozu	Bekleme Süresi	Aktif Madde Oranı	Kalıntı (mg/kg)	MR L
Chlormequat chloride	Domates	150 ml/da	Veri yok			0,01
Clofentezine	Hıyar	12 ml/da	3 gün	500 g/l Clofentezine	0,06	0,2
Cymoxanil	Domates	40 g/da	3 gün	30%	0,14	0,4
	Hıyar	25 g/da	3 gün	50%	0,06	0,08
Cyproconazole	Domates, biber ve hıyar için kullanımı yok.					
Dimethomorph	Domates	100 ml/da	1 gün	40%	1,09	1
	Biber	100 ml/da	1 gün	225 g/l Dimethomorph	0,03	1
	Hıyar	80 ml/100 l su	1 gün	225 g/l Dimethomorph	150,06	0,5
Etofenprox	Domates	250 ml/da	3 gün	50 g/l Etofenprox	0,16	0,7
Etoxazole	Domates	35 ml/ 100 l su	3 gün	110 g/l Etoxazole	0,06	0,07
	Biber	35 ml/ 100 l su	3 gün	110 g/l Etoxazole	0,02	0,01
	Hıyar	35 ml/ 100 l su	3 gün	110 g/l Etoxazole	0,02	0,02
Fenazaquin	Domates	50 ml/ 100 l su	3 gün	200 g/l Fenazaquin	0,16	0,05
Formetanate - HCl	Domates	125 g/ 100 l su	14 gün			0,3
	Hıyar	100 g / 100 l su	7 gün			0,01
Imazalil	Domates	30 ml/100 l su	3 gün	500 g/l Imazalil	0,28	0,3
	Biber	30 ml/100 l su	3 gün	500 g/l Imazalil	0,03	0,001
	Hıyar	30 ml/100 l su	3 gün	500 g/l Imazalil	0,10	0,5
Imidacloprid	Domates	Veri yok				0,5
	Biber					1
Malathion	Domates	200 ml/da	7 gün	650 g/l Malathion	0,67	0,02
Metrafenone	Domates	20 ml/da	3 gün			0,6
	Biber	20 ml/da	3 gün			2
	Hıyar	20 ml/100 l su	1 gün			0,5
Pendimethalin	Domates	500 ml/da	Veri yok			0,05
Pirimiphos - Methyl	Domates	100 ml/ 100 l su	7 gün	500 g/l Pirimiphos methyl	0,18	0,01
	Hıyar	100 ml/ 100 l su	7 gün	500 g/l Pirimiphos methyl	0,06	0,01
Tebuconazole	Domates	25 g/da	3 gün	25%	0,14	0,9
	Biber	125 ml/ 100 l su	3 gün	200 g/l Tebuconazole	0,03	0,6
	Hıyar	100 ml/ 100 l su	3 gün	200 g/l Tebuconazole	0,19	0,6
Trifloxystrobin	Domates	50 g/da	3 gün	15%	0,14	0,7
	Biber	15 g/ 100 l su	3 gün	50%	0,03	0,4
	Hıyar	20 ml/ 100 l su	3 gün	250 g/l Trifloxystrobin	0,07	0,3

Benzer şekilde etoxazole etken maddesi aynı uygulama dozu ve bekleme süresinde domates ürünüde MRL değerini aşmazken, biber ve hıyar ürünlerinde MRL değerinin

aşılacağı belirlenmiştir. Bu durum pestisit uygulaması yapılan tarım ürününün Tablo 5.7’de belirtilen parametrelerinin değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Domates ürününe acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben etken maddesinin uygulandığı varsayılan model simülasyonları detaylı şekilde incelenmiştir. Acetamiprid model simülasyonu için %20 acetamiprid etken madde içeren kimyasal uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Uygulama yöntemi olarak yaprağa spreyleme kullanılmış ve uygulanan kimyasal kütlesi, (M_{app}), $6,00E-06$ kg/m² olarak hesaplanmıştır. Chlorpyrifos, 01.08.20023 tarihli ve T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan yasaklı aktifler listesinden yer almaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023c). Bu nedenle uygulama dozu, hasat öncesi bekleme süresi ve MRL değerleri 2016 tarihli, 29899 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği’nden elde edilmiştir. Model simülasyonunda chlorpyrifos uygulanan kimyasal kütlesi, (M_{app}), $8,51E-05$ kg/ m² olarak hesaplanmıştır ve pestisit uygulama tekniği olarak yaprağa spreyleme yöntemi seçilmiştir. Bekleme süresi 7 gündür. Domates bitkisinde MRL değeri 0,5 mg/kg’dır. Pyridaben model simülasyonunda %20 pyridaben etken madde içeren kimyasal uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Yaprğa spreyleme yöntemi kullanıldığı varsayılmıştır ve uygulanan kimyasal kütlesi, (M_{app}), $2,00E-05$ kg/ m² olarak hesaplanmıştır.

Acetamiprid uygulamasında t=0 (uygulama anı) zamanında, en fazla kimyasal kütlesinin toprak kompartmanında olduğu görülmüştür. Chlorpyrifos ve pyridaben uygulamalarında ise t=0 zamanında en fazla kimyasal kütlesinin yaprak kompartmanında bulunduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.9. Kompartmanlarda kalıcılık (domates)

	Kompartmanlarda Kalıcılık (gün)							
	τ hava	τ toprak	τ yaprak yüz.	τ meyveyüz.	τ yaprak	τ meyve	τ gövde	τ kök
Acetamiprid	0,15	25,63	0,04	3,73	8,86	9,06	0,26	0,06
Chlorpyrifos	0,22	3,60	0,02	0,31	3,04	5,11	3,05	1,60
Pyridaben	0,28	41,80	0,03	0,42	7,28	7,59	7,72	7,60

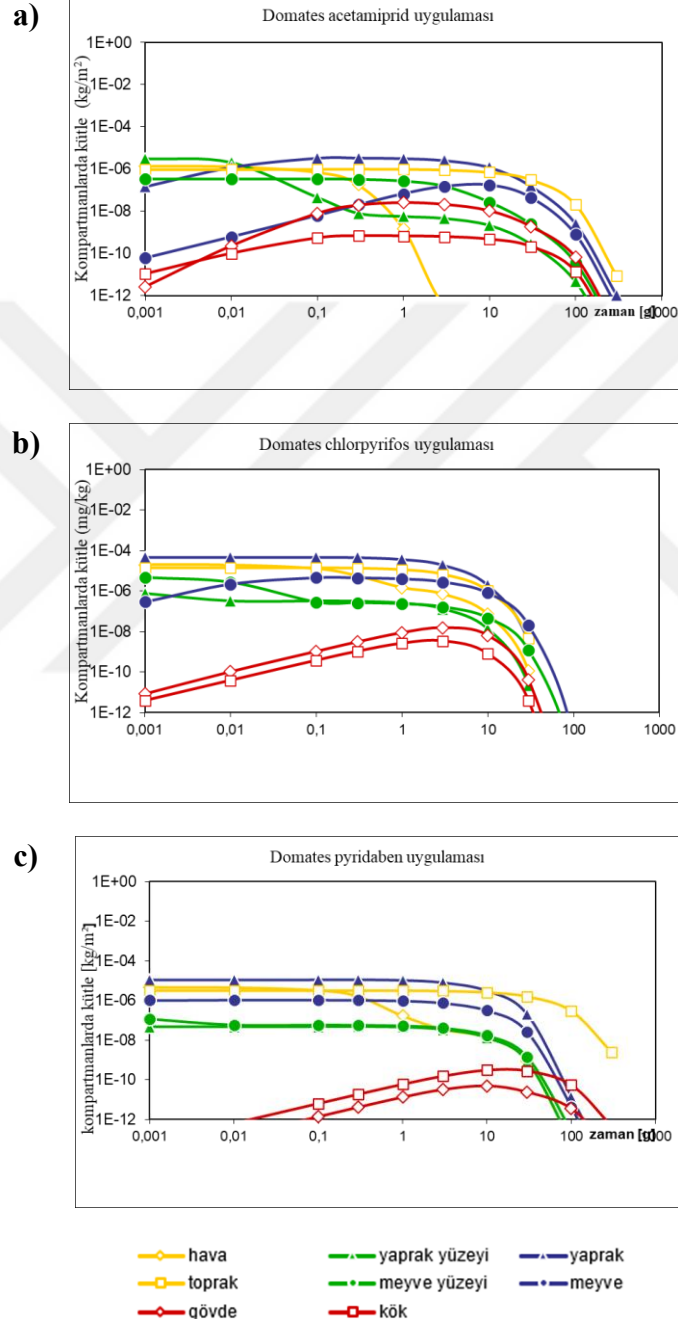
Tablo 5.9’da acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitlerinin kompartmanlarda kalıcılık değerleri gösterilmiştir. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitlerinin en az kalıcı olduğu kompartmanın yaprak yüzeyi olduğu görülmektedir. Acetamiprid ve pyridaben pestisitlerinin en kalıcı olduğu kompartman toprak kompartmanı olmuştur. Chlorpyrifos kimyasalının en kalıcı olduğu kompartman ise meyve kompartmanı olmuştur.

Şekil 5.13.’de domates ürünüde acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları için oluşturulmuş simülasyonlara ait kütle değişim grafikleri verilmiştir. Tüm pestisitlerin 1.günden itibaren çevresel sistemin bütün kompartmanlarına giriş yaptığı görülmüştür. Acetamiprid uygulamasında, hava kompartmanında kimyasal kütlede ani bir düşüş görülmektedir. Bu durum acetamiprid kimyasalının düşük buhar basıncı değerine sahip olması ile ilişkilendirilebilmektedir. Hava kompartmanına giren emisyon kütlelerinin %72,2’sinin degradasyona uğradığı görülmüştür. Kök ve gövde kompartmanlarında maksimum kimyasal kütle 1.günde ulaşmıştır. Meyve kompartmanında maksimum kimyasal kütle 0,3 günde ulaşmıştır. Sisteme giren toplam emisyonun %0,55’i yüzey akışı ile %1,02’si ile sızma ile kayıp sürecine dahil olmaktadır. Acetamiprid kimyasalı kütlelerinin, hava kompartmanı dışında kalan kompartmanlarda 0 değerine yaklaşması için çok uzun süre beklenmesi gerektiği görülmektedir. Chlorpyrifos kimyasalı hava, yaprak ve yaprak yüzeyi, meyve ve meyve yüzeyi, toprak kompartmanlarında benzer hareket göstermiştir. 10.günden sonra tüm kompartmanlarda kimyasal kütlelerinin azalmaya başladığı görülmektedir.

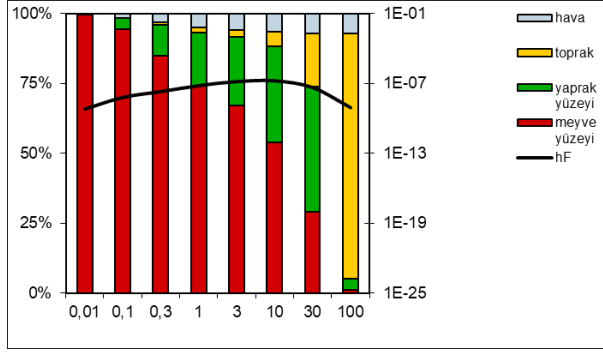
Kaynak kompartman olan hava ortamına giren emisyon miktarının %75,1’i degradasyona uğramaktadır. Chlorpyrifos uygulamasında kök ve gövde bölümlerine diğer kompartmanlara kıyasla daha yavaş bir alım gözlenmiştir. Chlorpyrifos için sızma veya yüzey akışı ile kayıp kütle bulunmamaktadır. Bu durum kimyasalın logK_{OW} değerinin yüksek olmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Pyridaben uygulamasında başlangıç koşullarında (t=0) kimyasal kütlelerinin en fazla olduğu ortam yaprak yüzeyidir. Kaynak kompartmandan giren emisyon kütlelerinin %75,6’sı degradasyona uğradığı hesaplanmıştır. Pyridaben kimyasalına ait simülasyon grafiği incelendiğinde kök ve gövde kompartmanlarına kimyasal girişinin diğer ortamlara kıyasla daha geç ve düşük kütlelerde gerçekleştiği görülmektedir.

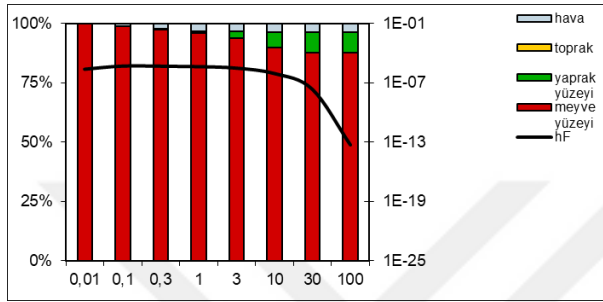
Kök kompartmanında maksimum kimyasal kütlesine 9.günde ve gövde de ise maksimum kimyasal kütlesine 16.günde erişilmiştir. Pyridaben uygulaması sonrası sistemde yüzey akışı veya sızma ile kayıp hesaplanmamıştır.



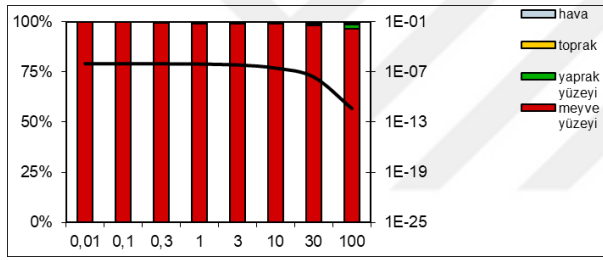
Şekil 5.13. Domates bitkisinde kimyasal kütlesi değişim



a) Meyve kompartmanında acetamiprid kütlesine diğer kompartmanların katkısı



b) Meyve kompartmanında chlorpyrifos kütlesine diğer kompartmanların katkısı



c) Meyve kompartmanında pyridaben kütlesine diğer kompartmanların katkısı

Şekil 5.14. Meyve kompartmanında kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkısı (domates)

Şekil 5.14.'de domates bitkisine acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben uygulaması sonrası meyve kompartmanında bulunan kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkısını ifade etmektedir. Acetamiprid uygulaması sonrası 0,1 günde yaprak yüzeyi ve hava ortamından meyve kompartmanına kimyasal kütlesinin geçişi görülmektedir. Bu durum suda çözünürlüğü yüksek olan acetamiprid kimyasalının bitki içerisinde taşınımının başladığının göstergesi olmaktadır. Meyve kompartmanına kimyasal girişinin uzun zaman meyve yüzeyinden olduğu görülmektedir. 30. günde yaprak yüzeyi, meyve kompartmanına en fazla kimyasal kütlesi girişinin görüldüğü kompartman olmuştur. Chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları için meyve kompartmanına kimyasal kütlesi girişinin görüldüğü baskın ortam meyve yüzeyi olmuştur (Şekil 5.14).

Acetamiprid uygulamasında hasat zamanı meyvede kalıntı miktarı 0,13 (mg/kg) olarak hesaplanmıştır. DynamiCROP aracıyla hesaplanan kalıntı miktarı mevzuatta belirtilen MRL değerini, 0,2 (mg/kg) aşmadığı görülmüştür. Chlopyrifos uygulamasında hasatta meyve kompartmanında kalıntı miktarı 1,29 (mg/kg) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan kalıntı değeri ilgili mevzuatta belirtilen MRL değerini, 0,5 (mg/kg), aşmaktadır. Pyridaben uygulaması sonucunda hasat zamanı meyve kompartmanında kalıntı miktarı 0,34 (mg/kg) olarak hesaplanmıştır. Yasal mevzuatta domates bitkisinde MRL değeri 0,15 (mg/kg) olup model simülasyonunda hesaplanan kalıntı miktarı MRL değerini aşmaktadır.

Biber ürününe acetamiprid, chlopyrifos ve pyridaben etken maddesinin uygulandığı varsayılan model simülasyonları detaylı şekilde incelenmiştir. Acetamiprid model simülasyonu için %20 acetamiprid etken madde içeren kimyasal uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Uygulama yöntemi olarak yaprağa spreyleme kullanılmış ve uygulanan kimyasal kütlesi, (M_{app}), $6,00E-06$ kg/m² olarak hesaplanmıştır.

Chlorpyrifos 01.08.20023 tarihli ve T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan yasaklı aktifler listesinden yer almaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023c). Bu nedenle uygulama dozu, hasat öncesi bekleme süresi ve MRL değerleri 2016 tarihli, 29899 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği'nden elde edilmiştir. Model uygulamasında chlorpyrifos uygulanan kimyasal kütlesi, (M_{app}), $8,51E-05$ kg/ m² olarak hesaplanmıştır ve pestisit uygulama tekniği olarak yaprağa spreyleme yöntemi seçilmiştir. Hasat öncesi bekleme süresi 7 gündür. Biber bitkisinde MRL değeri 0,5 mg/kg'dır. Pyridaben model simülasyonunda %20 pyridaben etken madde içeren kimyasal uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Yaprğa spreyleme yöntemi kullanıldığı varsayılmıştır ve uygulana kimyasal kütlesi, (M_{app}), $1,50E-05$ kg/ m² olarak hesaplanmıştır.

Model simülasyonunda üç pestisit için t=0 zamanında, en fazla kimyasal kütlesinin yaprak yüzeyinde olduğu görülmüştür.

Tablo 5.10. Kompartmanlarda kalıcılık (biber)

	Kompartmanlarda Kalıcılık (gün)							
	τ hava	τ toprak	τ yaprak yüz.	τ meyve yüz.	τ yaprak	τ meyve	τ gövde	τ kök
Acetamiprid	0,15	31,90	0,11	4,87	8,97	8,98	0,14	0,02
Chlorpyrifos	0,23	3,61	0,07	0,48	1,79	4,95	2,18	0,57
Pyridaben	0,30	41,83	0,15	0,66	6,29	7,35	7,48	6,71

Tablo 5.10.'da biber bitkisinde acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının kompartmanlarda kalıcılık değerleri gösterilmektedir. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitlerinin en az kalıcı olduğu kompartman yaprak yüzeyidir. Acetamiprid ve pyridaben pestisitlerinin en kalıcı olduğu kompartman toprak kompartmanı olmuştur. Chlorpyrifos kimyasalının en kalıcı olduğu kompartman ise meyve kompartmanı olmuştur.

Şekil 5.15.'de biber ürünüde acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları için oluşturulmuş simülasyonlara ait kütle değişim grafikleri verilmiştir. Tüm pestisitlerin uygulamanın hemen ardından çevresel sistemin bütün kompartmanlarına giriş yaptığı görülmüştür. Üç pestisitte 10.güne kadar bitkide artış eğilimi göstermektedir.

Acetamiprid uygulamasında kaynak kompartmandan giren emisyon kütlelerinin %73,3'ü degradasyona uğramakta ve %14'ü yaprak kompartmanına taşınmaktadır. Acetamiprid, kök, gövde ve yaprak kompartmanlarında maksimum kimyasal kütlelerine 0,25 günde ulaşırken meyve kompartmanında bu değer 7 gündür. Bu durumda hasat zamanında meyve kompartmanında acetamiprid kimyasalı için kayıp süreçlerinin taşınım süreçlerine baskın olduğu söylenebilmektedir. Sisteme giren toplam emisyonun %0,55'i yüzey akışı ile %1,02'si ile sızma ile kayıp sürecine dahil olmaktadır.

Chlorpyrifos kimyasalı hava, yaprak ve yaprak yüzeyi, meyve ve meyve yüzeyi, toprak kompartmanlarında benzer hareket göstermiştir. Kaynak kompartman olan hava ortamına giren emisyon miktarının %76,3'ü degradasyona uğramaktadır. Kök ve gövde bölümlerinde diğer kompartmanlara kıyasla daha yavaş bir kimyasal alımı görülmektedir (Şekil 5.15). Kimyasalın meyve kompartmanında 0,25 günde maksimum kütleyle ulaştığı hesaplanmıştır. Chlorpyrifos için sızma veya yüzey akışı ile kayıp kütle

bulunmamaktadır. Chlorpyrifos kimyasalının yüksek logK_{ow} değerine ve düşük suda çözünürlüğe sahip olması, kök ile alım süreçlerini yavaşlatmakta birlikte yüzey akışı ve sızma süreçlerini de azaltmaktadır.

Pyridaben uygulamasında başlangıç koşullarında kimyasal kütlesinin en fazla olduğu ortam yaprak yüzeyidir. Kaynak kompartmandan giren emisyon kütlesinin %77,5'i degradasyona uğramaktadır. Hava kompartmanındaki toplam kimyasal kütlesinin %20,4'ü yaprak kompartmanına taşınmaktadır.

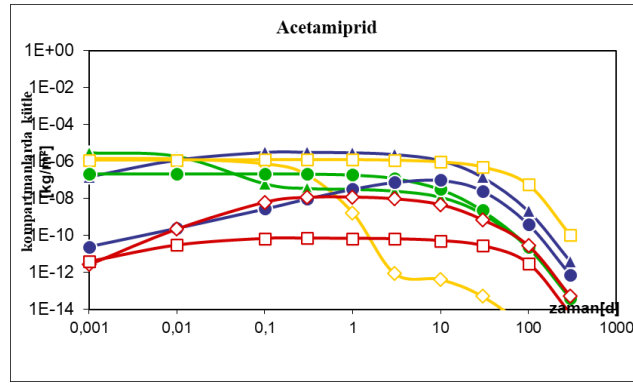
Pyridaben kimyasalına ait simülasyon grafiği incelendiğinde uygulamanın hemen ardından tüm kompartmanlara kimyasal geçişi görülmektedir (Şekil 5.15). Kök kompartmanında maksimum kimyasal kütlesine 15.günde ve gövde de ise maksimum kimyasal kütlesine 9.günde erişilmiştir. Pyridaben uygulaması sonrası sistemde yüzey akışı veya sızma ile kayıp kütle bulunmamaktadır.

Şekil 5.16.'de biber bitkisine acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben uygulaması sonrası meyve kompartmanında bulunan kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkısını ifade etmektedir. Acetamiprid uygulaması sonrası 0,1 günde yaprak yüzeyi ve hava ortamından meyve kompartmanına kimyasal kütlesinin geçişi görülmektedir. Bu durum suda çözünürlüğü yüksek olan acetamiprid kimyasalının bitki içerisinde taşınımının başladığının göstergesi olmaktadır.

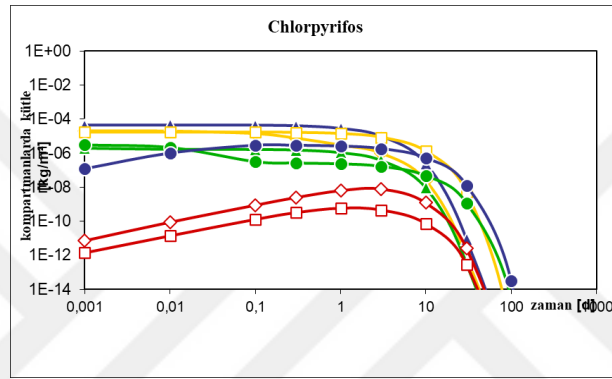
Acetamiprid uygulamasında 3.günde meyve kompartmanına kimyasal girişinin yoğunlaştığı kompartmanın yaprak yüzeyi olduğu belirlenmiştir. Chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları için meyve kompartmanına kimyasal kütlesi girişinin görüldüğü baskın ortam meyve yüzeyi olmuştur (Şekil 5.16).

Pyridaben ve chlorpyrifos simülasyonlarında toprak ortamından neredeyse hiç taşınım görülmemektedir. Chlorpyrifos ve pyridaben düşük suda çözünürlük değerleri ve yüksek logK_{ow} değerlerine sahip olmaları sonucu organik fazda tutulma eğilimi göstermektedirler.

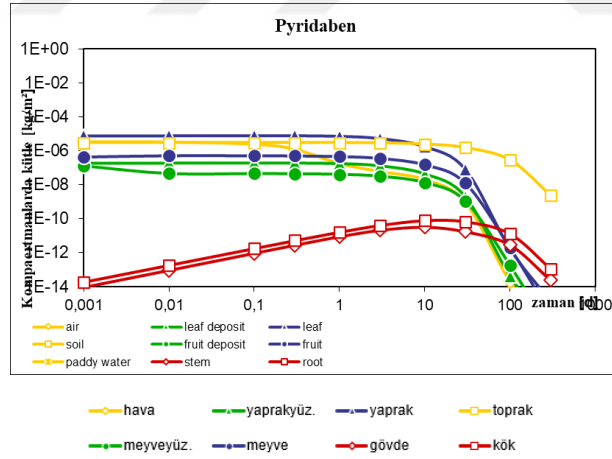
a)



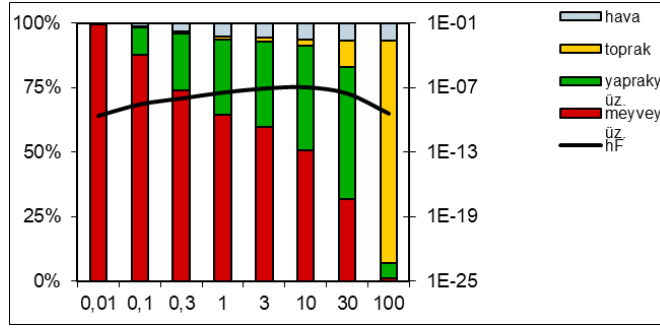
b)



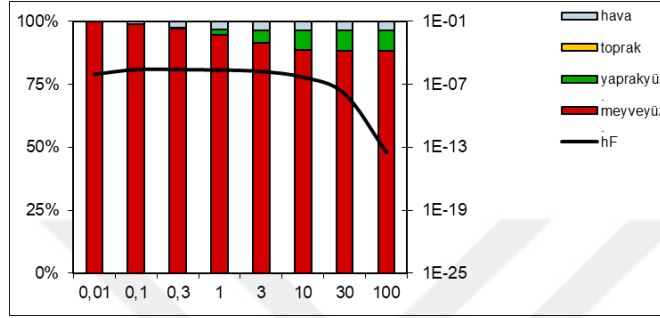
c)



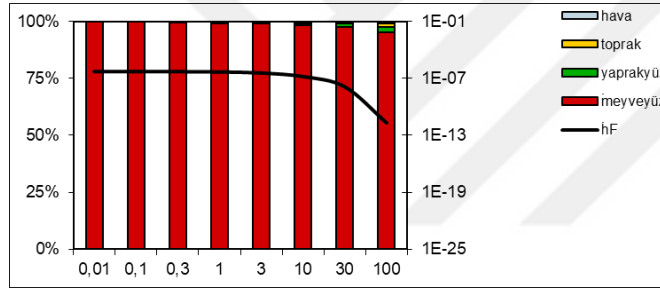
Şekil 5.15. Biber bitkisinde kimyasal kütlesi değişimi



a) Meyve kompartmanında acetamiprid kütlesine diğer kompartmanların katkısı



b) Meyve kompartmanında chlorpyrifos kütlesine diğer kompartmanların katkısı



c) Meyve kompartmanında pyridaben kütlesine diğer kompartmanların katkısı

Şekil 5.16. Meyve kompartmanında kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkısı (biber)

Acetamiprid uygulamasında hasat zamanı biberde kalıntı miktarı 0,14 (mg/kg) olarak hesaplanmıştır. DynamiCROP aracılığıyla hesaplanan kalıntı miktarının mevzuatta belirtilen MRL değerini, 0,3 (mg/kg) aşmadığı görülmüştür. Chlopyrifos uygulamasında hasatta meyve kompartmanında kalıntı miktarı 1,42 (mg/kg) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan kalıntı değeri ilgili mevzuatta belirtilen MRL değerini, 0,5 (mg/kg), aşmaktadır. Pyridaben uygulaması sonucunda hasat zamanı meyve kompartmanında kalıntı miktarı 0,28 (mg/kg) olarak hesaplanmıştır. Yasal mevzuatta biber bitkisinde MRL değeri 0,3 (mg/kg) olup model simülasyonunda hesaplanan kalıntı miktarı MRL değerini altında kalmaktadır.

Hıyar ürününe acetamiprid ve pyridaben etken maddesinin uygulandığı varsayılan model simülasyonları detaylı şekilde incelenmiştir. Acetamiprid model simülasyonu için %20 acetamiprid etken madde içeren kimyasal uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Uygulanan kimyasal kütlesi, (M_{app}), $6,00E-06 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Pestisit uygulama yöntemi olarak yaprağa spreyleme yapıldığı kabul edilmiştir.

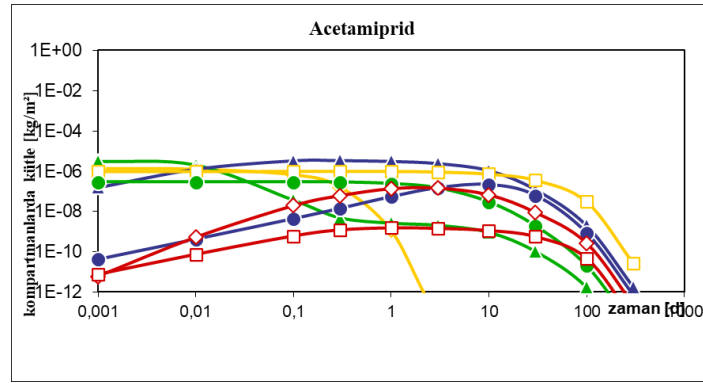
Chlorpyrifos kimyasalının hıyar ürünüde kullanımı bulunmamaktadır. Bu nedenle bu simülasyon grubuna dahil edilmemiştir. Pyridaben model simülasyonunda %20 pyridaben etken madde içeren kimyasal uygulaması yapıldığı kabul edilmiştir. Pestisit uygulama yöntemi olarak yaprağa spreyleme yöntemi kullanıldığı varsayılmıştır. Uygulana kimyasal kütlesi, (M_{app}), $2,00E-05 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Model uygulamasında acetamiprid ve pyridaben kimyasalları başlangıç koşullarında, $t=0$ zamanında, en fazla yaprak yüzeyi kompartmanında görülmüştür Tablo 5.11.'de hıyar bitkisinde acetamiprid ve pyridaben kimyasallarının kalıcılık değerleri verilmiştir. Sistem içerisinde her iki kimyasalın toprak kompartmanında en yüksek kalıcılık değerine sahip olduğu görülmektedir. Yaprak yüzeyi ise acetamiprid ve pyridaben kimyasallarının kalıcılık değerlerinin en az olduğu kompartmandır.

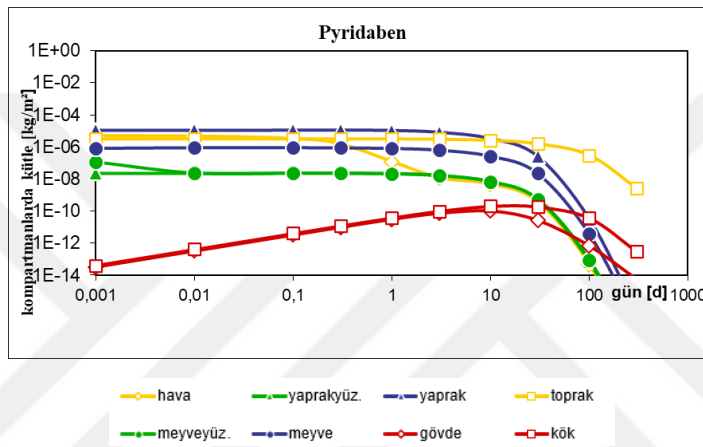
Tablo 5.11. Kompartmanlarda kalıcılık (hıyar)

	Kompartmanlarda Kalıcılık (gün)							
	τ hava	τ toprak	τ yaprak yüz.	τ meyveyüz.	τ yaprak	τ meyve	τ gövde	τ kök
Acetamiprid	0,14	28,51	0,03	4,15	8,11	9,24	1,03	0,20
Pyridaben	0,27	41,81	0,02	0,19	7,76	7,82	7,93	7,89

a)



b)

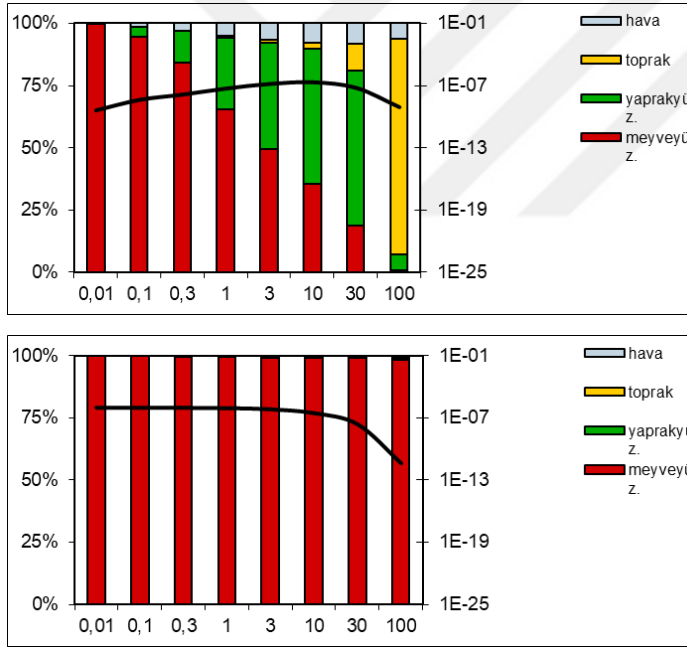


Şekil 5.17. Hıyar bitkisinde kimyasal kütlesi değişimi

Şekil 5.17.'de hıyar bitkisine acetamiprid ve pyridaben uygulaması sonrası kompartmanlarda pestisit kütlesinin zaman bağlı değişimi verilmiştir. İki kimyasalın da uygulamanın hemen ardından sistemin tüm kompartmanlarına giriş yaptığı görülmektedir. Acetamiprid ve pyridaben kütlesi 10.güne kadar artış eğilimi göstermiştir ve daha sonrasında kütle miktarlarında azalma görülmüştür. Yalnızca hava kompartmanında acetamiprid kütlesinin 1. ve 10. günler arasında hızlı bir biçimde azaldığı görülmüştür.

Benzer şekilde acetamiprid uygulamasında yaprak yüzeyinde kimyasal kütlesi diğer kompartmanlara kıyasla daha hızlı azalmıştır. Pyridaben uygulamasında, acetamiprid uygulamasına kıyasla, kök ve gövde ortamlarına daha az kimyasal kütlesi alınmıştır.

Acetamiprid uygulaması simülasyonunda kaynak kompartmanından, hava, giren toplam emisyonun %69,9'u degradasyona uğramaktadır. Hava kompartmanındaki acetamiprid kütlesinin %18,0'i yaprağa, %6,9'u ise yaprak yüzeyine taşınmıştır. Kütle değişimi grafiğinde hava kompartmanında görülen ani kütle azalışı bu süreçlerle ve kimyasalın sahip olduğu düşük buhar basıncı ile ilişkilendirilmektedir. Acetamiprid meyve kompartmanında 8 günde maksimum kütleye ulaşmaktadır. Bu bilgiye göre, hasat zamanında ve meyve kompartmanında acetamiprid kimyasalında bozunum ve taşınım ile kompartman içinden kaybedilen kimyasal kütlesi meyve kompartmanına gelen kimyasal kütlesinden fazladır. Acetamiprid uygulamasında sistemde yüzey akışı %0,55 ve sızma ile kayıplar %1,02 orana sahiptir. Pyridaben uygulamasında hava kompartmanına giren emisyonun %72,2'si degradasyona uğrarken, %25,8'i kaynak kompartmandan yaprağa taşınmaktadır. Yüzey akışı veya sızma ile kayıp süreçleri pyridaben uygulamasında görülmemektedir.



a) Meyve kompartmanında acetamiprid kütlesine diğer kompartmanların katkısı

b) Meyve kompartmanında pyridaben kütlesine diğer kompartmanların katkısı

Şekil 5.18 Meyve kompartmanında kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkısı (hıyar)

Şekil 5.18'de acetamiprid ve pyridaben uygulamasında meyve kompartmanında kimyasal kütlesine diğer kompartmanların katkıları gösterilmektedir. Acetamiprid uygulamasında kimyasalın kısa sürede kompartmanlar arasında taşınabildiği görülmektedir. 0,1.günden itibaren hem yaprak yüzeyinden hem de hava kompartmanından meyve kompartmanına

kimyasal kütlesi taşınmaktadır. 10.günde meyveye kimyasal kütlesi geçişinde yaprak yüzeyi büyük rol oynamaktadır. Yeterince uzun beklendiği takdirde meyve kompartmanına toprak ortamından da kimyasal kütlesinin taşındığı görülebilir. Ancak pratik uygulamada bu kadar uzun sürelerin beklenmesi genelde mümkün olmamaktadır. Pyridaben uygulamasında ise meyveye kimyasal kütlesi geçişi neredeyse yalnızca meyve yüzeyinden görülmektedir (Şekil 5.18).

Acetamiprid uygulaması sonucunda hasatta, meyve kompartmanında kalıntı miktarı 0,05 (mg/kg) olarak bulunmuştur. DynamiCROP vasıtasıyla elde edilen kalıntı değeri yasal mevzuatta belirlenen MRL değeri, 0,3 (mg/kg) değerini aşmamaktadır. Pyridaben uygulamasında, hıyar ürününde kullanım için MRL değeri 0,15 (mg/kg)'dır. Model simülasyonunda elde edilen kalıntı değeri 0,13 (mg/kg) olup, MRL değerini aşmamaktadır.

Yasal mevzuat kapsamında belirlenen yöntem, doz ve bekleme süreleri dikkate alınarak yapılan uygulamaların bazılarında MRL değerlerinin aşılabileceği öngörülmüştür. Model uygulamalarında çevresel sistemin özellikleri ve ürünlere ilişkin parametreler ortalama değerler olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle model uygulamaları ile elde edilen sonuçlar yaklaşık sonuçlar olarak değerlendirilmelidir.

5.2.5. Gerçekçi Senaryo: Birden Fazla Pestisit Uygulamasının Etkisi

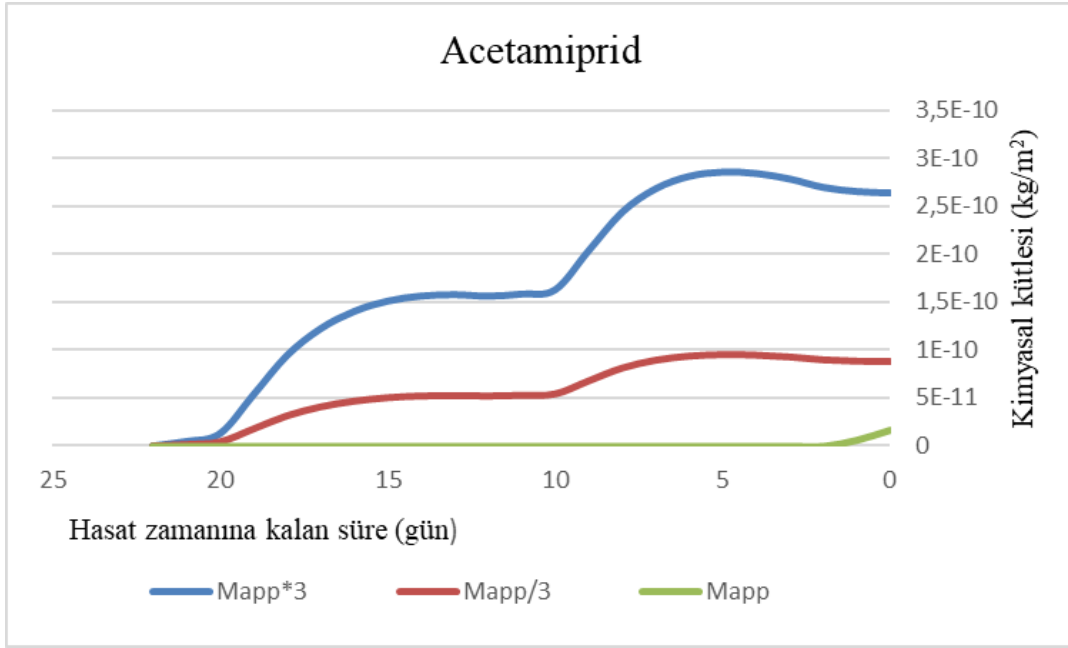
DynamiCROP modeli tek bir pestisit uygulaması yapıldığı varsayılarak geliştirilmiş olsa da Feng ve diğ., 2021 tarafından yapılan çalışmada, birden fazla kez pestisit uygulaması yapıldığında meyvede toplam konsantrasyonun elde edilmesi için Denklem (3.4)

$$C(final) = \sum_{i=1}^n C_{[(i-1)*a+b]} \quad (3.4)$$

geliştirilmiştir.

Denklem (3.4)'de gösterilen n ifadesi toplam pestisit uygulaması sayısını temsil etmektedir. Denklemde a (gün) ifadesi uygulamalar arasında geçen gün sayısını, b (gün) ifadesi ile son pestisit uygulaması ile hasat arasında geçen süreyi temsil etmektedir. $C_{[(i-1)*a+b]}$ (mg/kg) ifadesi ise (i-1)*a+b günü için dynamiCROP tarafından tek uygulama için hesaplanmış kalıntı konsantrasyonunu göstermektedir.

DynamiCROP modelinde oluşturulan acetamiprid kimyasalının değerlendirildiği simülasyonda, üç farklı seçenek incelenmiştir. M_{app} ile ifade edilen değer $6,00E-06 \text{ kg/m}^2$ olarak yasal mevzuatta belirtilen uygulama dozudur. $M_{app} \cdot 3$ ile ifade edilen değer $6,00E-06 \text{ kg/m}^2$ uygulama dozunun hasattan 23, 13 ve 3 gün önce, yani 3 kez uygulandığı seçeneği göstermektedir. $M_{app}/3$ ile ifade edilen değer ise yasal mevzuatta belirtilen $6,00E-06 \text{ kg/m}^2$ uygulama dozunun 3'e bölünerek eşit miktarlarda, hasattan önce 23, 10 ve 3 gün önce uygulandığı simülasyonu ifade etmektedir. Pestisit uygulama yöntemi olarak yaprak yüzeyine uygulama seçilmiştir.

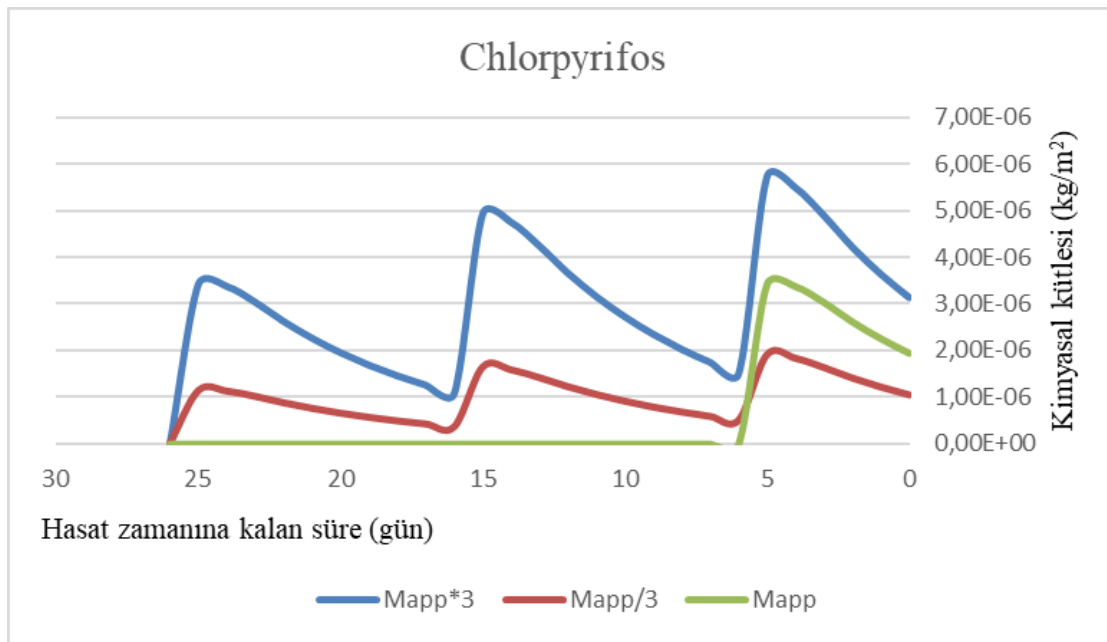


Şekil 5.19 Çoklu acetamiprid uygulaması- meyve kompartmanında kimyasal kütlesi

Farklı pestisit uygulama simülasyonlarında, meyvede kimyasal kütlesi Şekil 5.19'da gösterilmektedir. $M_{app} \cdot 3$ ile ifade edilen, $6,00E-06 \text{ kg/m}^2$ dozunun 3 kez tekrarlandığı uygulamanın meyvede en fazla kalıntıya neden olan seçenek olduğu görülmüştür. Pestisit dozu 3 eşit miktarda uygulandığında, $M_{app}/3$, tek uygulamadan daha fazla kalıntıya neden olmaktadır. Pestisit kütlesi bozunma ve kayıp ile azalmadan tekrar uygulama yapılması nedeniyle meyvede kimyasal kütlesinin tek uygulamaya kıyasla fazla olduğu görülmektedir. Acetamiprid, suda çözünürlüğü yüksek ve bitkiye taşınımı hızlı bir kimyasaldır (Şekil 5.19). Bu bağlamda değerlendirildiğinde tekrarlayan pestisit uygulamalarında meyvede kimyasal kütlesinin artışı beklenen bir sonuçtur. Ek olarak

meyvenin artan yüzey alanına bağlı olarak meyve yüzeyine daha fazla kimyasal birikimi beklenen bir sonuçtur.

DynamiCROP modelinde oluşturulan simülasyonda, chlorpyrifos uygulaması için M_{app} ile ifade edilen değer $8,5E-05 \text{ kg/m}^2$ olarak yasal mevzuatta belirtilen pestisit uygulama dozudur. $M_{app} \cdot 3$ ile ifade edilen değer $8,5E-05 \text{ kg/m}^2$ kütlesinin 27, 17 ve 7 gün önce, 3 kez bitkiye uygulandığı simülasyonu göstermektedir. $M_{app}/3$ ise yasal mevzuatta belirtilen dozun üç eşit kütleye bölünerek hasattan 27, 17 ve 7 gün önce uygulandığı senaryoyu ifade etmektedir. Pestisit uygulama yöntemi olarak yaprak yüzeyine uygulama seçilmiştir.

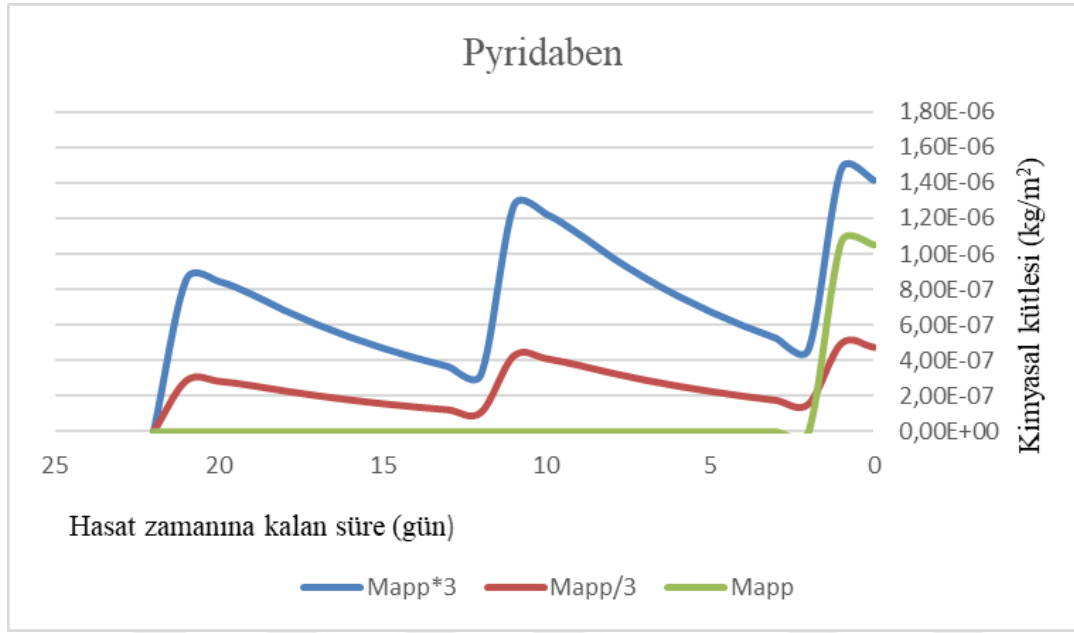


Şekil 5.20. Çoklu chlorpyrifos uygulaması- meyve kompartmanında kimyasal kütlesi

Çoklu chlorpyrifos uygulaması sonucunda meyvede kimyasal kütlesinin değişimi Şekil 5.20’de gösterilmektedir. Meyvede en fazla kimyasal kütlesi, $M_{app} \cdot 3$ ile ifade edilen uygulama durumunda görülmüştür. En az konsantrasyon ise $M_{app}/3$ uygulamasında görülmektedir. Mevzuata uygun şekilde pestisit uygulaması yapıldığında hasat öncesi bekleme süresi 7 gün olarak belirlenmiştir. Bu nedenle M_{app} ile ifade edilen simülasyonda diğerlerine kıyasla kimyasal kütlesinin büyük oranda azaldığı görülmektedir.

Tekrarlayan uygulamalarda meyvede pyridaben kütlesi değişimi Şekil 5.21’de gösterilmektedir. DynamiCROP modelinde oluşturulan simülasyonda, pyridaben M_{app} ile

ifade edilen seçenekte $2,00\text{E-}05 \text{ kg/m}^2$ olarak yasal mevzuatta belirtilen şekilde uygulanmıştır. $M_{\text{app}}*3$ ile belirtilen durumda mevzuatta belirtilen doz 3 kez tekrarlanmış ve hasattan 23, 10 ve 3 gün önce uygulanmıştır. $M_{\text{app}}/3$ ile ifade edilen senaryoda ise mevzuatta belirtilen doz 3 eşit kütleyle bölünerek hasattan 23, 13 ve 3 gün önce uygulanmıştır. Pestisit uygulama yöntemi olarak yaprak yüzeyine uygulama seçilmiştir.



Şekil 5.21. Çoklu pyridaben uygulaması- meyve kompartmanında kimyasal kütlesi

Meyvede en fazla kimyasal kütlesi $M_{\text{app}}*3$ seçeneğinde hesaplanmıştır. Pyridaben, uygulama sonrası meyve kompartmanına meyve yüzeyinden taşınım eğimi göstermektedir (Şekil 5.21). Meyve yüzeyinin büyük oluşu yüzeyden meyve kompartmanına taşınan kimyasal miktarını arttırmaktadır. M_{app} ile ifade edilen uygulamada pestisit kütlesinin fazla olması bu durumda beklenen bir sonuç olmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de yaş sebzelerde pestisit kalıntısı sorununu ortaya koyan kalıntı analizi çalışmalarından yola çıkarak, pestisitlerin çevresel maruziyet risklerinin değerlendirilmesinden kullanılabilecek modelleme yöntemleri değerlendirilmiştir. Tarımsal üretimde hızlı, etkili ve ekonomik olması sebebiyle sıklıkla tercih edilen pestisitler, bilinçsiz ve yanlış kullanım sebebiyle çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturabilmektedir. Pestisit kalıntılarının yasal mevzuat tarafından belirlenen sınırlar içerisinde kullanılmadığında hem ekonomik zarara neden olmaktadır hem de sağlık açısından risk oluşturmaktadır (Tiryaki, 2010). Tarım ürünlerinde MRL değerinin sıklıkla aşılması ve analizlerde yasaklı pestisitlere rastlanması günümüzde uygulanan önlemlerin ve denetimlerin yeterli olmadığını göstermektedir. Kalıpçı ve diğ., 2011 tarafından yapılan çalışmada çiftçilerin pestisit uygulama dozu belirlerken %33 oranında tarım ilacı bayilerine danıştıkları ve %26 oranında ise kendi tecrübelerinden yararlandıkları belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada, araştırma kapsamına dahil edilen çiftçilerin %18.3’ü pestisitlerin ürünlerde kalıntı bırakmayacağını, %7.5’i ise pestisit kalıntıları hakkında bilgi sahibi olmadıklarını belirtmişlerdir (Kalıpçı, 2011). Bu bağlamda değerlendirildiğinde tarımsal üretim aşamasında pestisitlerin özellikleri ve kullanımı hakkında kullanıcı bilgilerinin yetersiz olduğu görülmektedir. Yaş sebze ürünlerindeki pestisit kalıntılarının miktarı, pestisitlerin uygulama şekli, uygulama dozu ve zamanlamasına ve pestisit etken maddesini oluşturan kimyasalın özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada, sebzelerde kalıntı değer sorunu yaratan pestisitlerin çevresel ortamlarda ve bitkideki akıbetini belirleyen fizikokimyasal özellikleri ile çevresel ortam özelliklerinin simülasyon sonuçlarına etkileri tartışılmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak, Türkiye’de üretilen yaş sebzelerde pestisit kalıntılarının analiz edildiği 2010 yılı ve sonrasında yayınlanmış araştırmalar incelenmiştir. İncelenen araştırma sonuçları, Türkiye’de domates, biber ve hıyar bitkilerinde sıklıkla kalıntı limit değerlerini aştığı görülen pestisitlerin tespit edilmesini sağlamıştır. Domates, biber ve hıyar ürünlerinde MRL değerini aştığı tespit edilen pestisitler listelenmiştir. Belirlenen pestisitlerin fiziko-kimyasal özellikleri literatür araştırması ile elde edilmiştir.

Çalışmanın model uygulaması bölümünde, çok ortamlı akıbet modellerinin, pestisitlerin çevresel ve sağlık risklerinin değerlendirilmesi için kullanılabilişliğini göstermek amacı

ile örnek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmasında pestisitler arasında görece daha sık sınır değeri aşımı tespit edilmiş olan pestisitler ilk olarak kimyasal uzay diyagramı ile değerlendirilmiştir. Pestisitlerin kimyasal uzay diyagramında konumları belirlenerek pestisitlerin çevresel ortamlarda bulunabileceği olası konumlarını hakkında öncü bilgiler elde edilmiştir. Pestisitlerin çoğunun kimyasal uzay diyagramında su ve oktanol fazlarında olduğu görülmüştür. Kimyasal uzay diyagramı, detaylı modeller kullanılmadan kimyasalların özellikleri ve çevresel kompartmanların hacimlerine bağlı olarak temel bir değerlendirme sağlamaktadır.

Literatür araştırması ile MRL değeri aşıldığı tespit edilen pestisitler EQC model vasıtasıyla değerlendirilmiştir. EQC model sonuçları incelendiğinde pestisitlerin tamamının toprak kompartmanında en fazla kimyasal kütlesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum emisyon girişinin toprak kompartmanından gerçekleşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Objektif bir sonuç elde edilmesi için farklı kompartmanlardan emisyon girişi yapılarak farklı simülasyon değerlendirmeleri yapılmalıdır. Pestisitlerin kalıcılık değerleri karşılaştırıldığında büyük çoğunluğunun toprak ve sediment kompartmanlarında yüksek kalıcılığa sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, pestisitlerin kimyasal uzay diyagramı içerisindeki konumları ile benzerdir. EQC model vasıtasıyla pestisitlerin yarı ömür değerleri hesaplanmıştır. Yarı ömür değerlerinin geniş bir zaman aralığında çeşitlilik gösterdiği tespit edilmiştir. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben için hava, su, toprak ve sediment ortamlarını kapsayan bir değerlendirme amaçlı çok ortamlı akıbet modeli olan EQC ile seviye-III hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Üç pestisit için de aynı çevresel şartlar altında ve aynı emisyon senaryosu ile yapılan kararlı durum model hesaplamaları, karşılaştırmalı bir değerlendirmeye olanak sağlamıştır. Üç pestisit için dört kompartmandaki birikim miktarları, kompartmanlar arası transfer hızları, advectif ve reaktif süreçler sonucu sistemden kayıplar hesaplanmıştır. Üç pestisit de çevreye salındıkları toprak kompartmanında en yüksek birikime ulaştığı görülmüştür. Tüm pestisitler için sediment kompartmanında düşük birikim tahmin edilmiştir. Ancak su ortamında önemli birikim gösteren acetamiprid, uçuculuğunun da az olması sebebi ile sediment kompartmanında nispeten daha fazla birikmektedir. Ek olarak chlorpyrifos hava kompartmanına geçmektedir. Bu durum hava ortamında taşınarak çevrede daha geniş bir alana yayılabileceğini ifade etmektedir. Üç pestisit, çevresel sistemdeki kalıcılıkları

kıyaslandığında sıralama şu şekildedir: Pyridaben > Chlorpyrifos > Acetamiprid. Tüm kimyasallar için ana kayıp süreci bozunum reaksiyonlarıdır. Chlorpyrifos'un su ve topraktaki reaksiyon yarı ömürlerinin daha yüksek olmasına rağmen pyridabenin sistemdeki kalıcılığı daha yüksek olmuştur. Bunun nedeni, pyridabenin chlorpyrifosa kıyasla daha yüksek hidrofobikliğe ama daha az uçuculuğa sahip olmasıdır. Pestisitlerin çevresel sistem içerisinde dağılımlarının, bozunum ve taşınım süreçlerinin fiziko-kimyasal özellikleri ile uygun şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

DynamiCROP modeli ile oluşturulan simülasyonlarda pestisitlerin bitkilere taşınımı ve meyvede kimyasal birikimi değerlendirilmiştir. İlk olarak DynamiCROP modelinde değerlendirilmesi amacıyla bir temel simülasyon oluşturulmuş ve pestisitlerin fiziko-kimyasal özelliklerinin bitkiye taşınım ve birikim süreçlerine etkisi tartışılmıştır. Temel simülasyon sonuçları pestisit fiziko-kimyasal özelliklerinin, çevresel ortamda ve bitkide akıbetini etkilediğini destekler niteliktedir.

Çevresel parametrelerin pestisitlerin taşınım ve birikimine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla toprakta farklı pH değerleri ve organik karbon oranları belirlenerek model uygulaması yapılmıştır. Değişken olarak belirlenen toprakta pH değerinin, toprakta kimyasal kütlesi ve meyvede kalıntı miktarına belirgin bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Ancak model simülasyonunda seçilen pH değerleri ortalama değerlere yakındır. Bu neden daha geniş seçilmiş bir pH değeri aralığı ile simülasyonun tekrarlanması faydalı olacaktır. Çevresel parametrelerin model sonuçlarına etkisinin tartışıldığı bu bölümde toprakta farklı organik karbon oranı değerlerinin değerlendirildiği bir model simülasyonu oluşturulmuştur. Seçilen her organik karbon oranı değeri için toprakta kimyasal kütlesi ve meyvede kalıntı değerleri hesaplanmıştır. Acetamiprid uygulamasında, organik karbon oranı değeri arttıkça toprakta kimyasal kütlesi arttığı ve meyvede kalıntı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Chlorpyrifos ve pyridaben uygulandığında ise organik karbon oranı değerine bağlı belirgin bir değişim tespit edilmemiştir. Model uygulamasında seçilen çevresel parametreler gerçek çevresel ortamı temsil etmesi hedeflenen ortalama değerlerdir. Çevresel parametrelerin daha detaylı ve kesin değerlerde bilinmesi durumunda gerçek sonuçlara daha yakın değerler elde edilebilir.

İşletme koşullarının değerlendirilmesi amacıyla; farklı uygulama tekniklerinin bitkide pestisit akıbetine etkisini incelemek amacıyla model simülasyonu oluşturulmuştur.

DynamiCROP modeli içerisinde havaya spreyleme, yaprağa spreyleme, toprak yüzeyine uygulama, toprağa ejeksiyon ve sulama suyuna pestisit eklenmesi şeklinde tanımlanan 5 farklı pestisit uygulama tekniği karşılaştırılmıştır. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının domates ürünüde en fazla kimyasal kütesine toprağa enjeksiyon yöntemi ile pestisit uygulaması yapıldığında eriştiği tespit edilmiştir. Bu simülasyonda, her bir pestisit uygulama yöntemi için farklı olan kayıp ve sürüklenme oranlarının meyvede kalıntı miktarına etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. DynamiCROP model ile bitkinin farklı büyüme dönemlerinde pestisit uygulaması yapıldığı düşünülerek model simülasyonu oluşturulmuştur. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları domates bitkisine beş farklı büyüme döneminde uygulanmıştır. Üç pestisit için de pestisit uygulaması ve hasat zamanı arasındaki süre azaldıkça pestisit kalıntı miktarının arttığı tespit edilmiştir.

DynamiCROP dinamik bitki alım modeli kullanılarak domates, biber ve hıyar ürünlerinde pestisitler yasal mevzuatta önerilen şekilde uygulama yapıldığı varsayımı ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda dimethomorph pestisitinin domates ve hıyar bitkilerinde, etoxazole pestisitinin biber ve hıyar bitkisinde, fenazaquin ve malathion pestisitlerinin domates bitkisine, imazalil pestisitinin biber bitkisinde, pirimiphos-methyl pestisitinin ise domates ve hıyar bitkilerinde MRL değerini aştığı görülmüştür. Acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben kimyasalları DynamiCROP modelinde detaylı olarak değerlendirilmiştir. Domates bitkisinde chlorpyrifos ve pyridaben kimyasallarının, biber bitkisinde chlorpyrifos ve hıyar bitkisinde ise acetamiprid kimyasalının MRL değerini aştığı belirlenmiştir. Model uygulaması ile elde edilen sonuçlar ortalama bir tarım ürünü ve ortalama çevresel değerler için hesaplanmış yaklaşık değerleri ifade etmektedir.

DynamiCROP modeli kullanılarak pestisitlerin birden fazla uygulama yapıldığı varsayılan bir simülasyon oluşturulmuştur. Bu uygulamada acetamiprid, chlorpyrifos ve pyridaben pestisitlerinin yasal mevzuatta belirtilen dozun bir kez uygulandığı, uygulama dozunun 3 kez tekrar edildiği ve uygulama dozunun üç eşit kütleyle bölünerek uygulandığı hesaplamalar yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, uygulama dozunun üç kez tekrarlandığı durumda üç pestisit içinde meyvede kalıntı miktarının en fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kimyasal uzay diyagramı, EQC model ve dynamiCROP modeli ile yapılan değerlendirmelerde pestisitlerin fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak benzer bir dağılım ve birikim gösterdiği tespit edilmiştir. Pestisitlerin çevrede hareketini ve birikimi etkileyen en önemli parametrelerden biri pestisitlerin kendi özellikleridir. Bu nedenle pestisitlerin kullanımında uygulama dozu, bekleme süresi ve uygulama yöntemi gibi işletme şartları belirlenirken fiziko-kimyasal özellikler dikkate alınmalıdır. DynamiCROP simülasyonlarında aynı pestisit farklı tarım ürünlerinde farklı miktarlarda kalıntıya neden olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak tarım ürünlerine ait parametrelerin de kimyasalların uygulama dozu ve bekleme süresi özelliklerini belirlerken dikkate alınması gerektiği görülmektedir.

Kimyasal uzay diyagramı, diğer akıbet modellerine kıyasla daha az parametreye ihtiyaç duyan bir uygulamadır. Kimyasalların çevresel sistemde konumları hakkında genel bir bilgi vermektedir. Kimyasal uzay diyagramının kullanımında, diyagramın oluşturulma mantığının bilinmesi ve değerlerin yorumlanması önem taşımaktadır. EQC model, kullanımı kolay bir akıbet modelidir. Modelin ihtiyaç duyduğu parametreler literatür taraması ile kolaylıkla elde edilebilmektedir. Farklı gruplarda kimyasalların çevresel sistem içerisinde konumu ve dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Farklı seviyelerde hesaplama yapılması sayesinde ihtiyaç duyulan verilerin hesaplanması mümkündür. Gerçek çevresel şartlara en yakın değerler seviye-III hesaplama sonuçları ile elde edilebilmektedir. DynamiCROP bu çalışmada kullanılan en karmaşık model uygulamasıdır. Pek çok farklı ve detaylı parametreye ihtiyaç duymaktadır. Model uygulaması ile birlikte kullanıcıya sunulan veri tabanı kullanımı kolaylaştırmaktadır. Model çıktısı olarak geniş kapsamlı ve detaylı sonuçlar elde edilmektedir. DynamiCROP modeli ile elde edilen sonuçların yorumlanması için kullanıcının hem bitki alım süreçlerine hem de kimyasalların özelliklerine hakim olması önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan tüm model uygulamaları Excel dosyası şeklinde bulunmaktadır. Model uygulamalarının kullanıcıya ücretsiz olarak sunulması araştırmacılar için kolaylık sağlamaktadır.

Model uygulamalarının verimli kullanılabilmesi ve gerçek çevresel verilere yakın değerlerin elde edilebilmesi için saha çalışmaları ile desteklenmesi önemlidir. Ancak saha çalışmalarının uzun sürmesi ve beraberinde bir maliyet getirmesi model çalışmalarının

önemini ortaya koymaktadır. Pestisitlerin çevrede taşınımının akıbet modelleri önceden yaklaşık olarak belirlenmesi ile olası çevre sorunları öngörülebilir. Oluşabilecek riskler için önlemler alınabilir. Benzer akıbet modelleri kirlilik sorunun mevcut olduğu bölgeler için kirlilik giderim planlamasına yardımcı olarak kullanılabilir.

Pestisitlerin çevresel modeller ve bitki alım modelleri aracılığıyla değerlendirilmesi, pestisitlerin kullanım ve izin süreçlerinin düzenlenmesinde kullanılabilir. Modeller vasıtasıyla elde edilen sonuçlar ile pestisitlerin kullanım dozu, uygulama şekli, hasat öncesi bekleme süresi ve olası kalıntı miktarı hakkında öngörülebilir. Model uygulamaları pek çok tarım ürünü veya sanayi bitkisine uyarlanabilmektedir. Bu sayede pestisit uygulamalarında, dozajlama, uygulama şekli, hasat öncesi bekleme süresi gibi işletme parametreleri tarımsal ürünler için özelleştirilebilir. Saha araştırmaları ile desteklendiği takdirde model uygulamaları vasıtasıyla pestisitlerin optimum koşullarda kullanımı sağlanabilir. Bu sayede, gereksiz pestisit kullanımı engellenerek ekonomik katkı sağlanabilir. Ek olarak hem çevresel ortamların kirliliği önlenir hem de sağlık riskleri minimize edilebilir. Ayrıca, pestisitlerin çevresel akıbet ve taşınımı için geliştirilmiş modelleri ile bitki alımı modellerinin birleştirilmesi, saha ve bölge ölçeğinde bütüncül analizlere imkân verebilir.

KAYNAKLAR

- Ağar, S., Aydinoğlu, H., Temel, O., İkizünal, K., Ece, T. (1991). History of Pesticide Use, Its Present and Future. *Türk Entomol. Derg*, 15(4), 247–256.
- Akça, M. O., Hisatomi, S., Takemura, M., Harada, N., Nonaka, M., Sakakibara, F., Takagi, K., Turgay, O. C. (2016). 4,4"-DDE and Endosulfan Levels in Agricultural Soils of The Çukurova Region, Mediterranean Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 96(3), 376–382. doi:10.1007/s00128-015-1714-2
- Akdoğan, A., Divrikli, Ü., Elçi, L. (2012). Pestisitlerin Önemi ve Ekosisteme Etkileri. *Academic Food Journal*, 10(1), 125–132. <http://www.academicfoodjournal.com> adresinden erişildi.
- Akyüz, G., Kasap, İ. (2017). Elma Yetiştiriciliğinde Kullanılan Bazı Pestisitlerin Kalıntı Etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(1), 115–118.
- Allen, D. T., Cohen, Y., Kaplan, I. (1989). Intermedia Pollutant Transport: Modeling and Field Measurements. New York: NY: Plenum Publisher.
- Ankara Üniversitesi. (2024). Pestisit Zehirlenmeleri I. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/75289/mod_resource/content/0/Pestisit zehirlenmeleri ve kullanılan antidotlar I.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/75289/mod_resource/content/0/Pestisit%20zehirlenmeleri%20ve%20kullanilan%20antidotlar%20I.pdf) adresinden erişildi.
- Arrebola, J. P., Belhassen, H., Artacho-Cordón, F., Ghali, R., Ghorbel, H., Boussen, H., Perez-Carrascosa, F. M., Expósito, J., Hedhili, A., Olea, N. (2015). Risk of Female Breast Cancer and Serum Concentrations of Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls: A Case–Control Study in Tunisia. *Science of The Total Environment*, 520, 106–113. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2015.03.045
- Atasoy, A. (2019). Yeraltı Sularında Pestisit Kirliliğinin Pestisit Özellikleri ve Kullanım Miktarları Bakımından İrdelenmesi. *Ziraat Mühendisliği*, 368, 46–52. doi:10.33724/zm.627156
- Aytaç, N., Ata Yüzügüllü, D., Demirhindi, H., Gönültaş, T. (2017). Public Health Effects of Pesticide Use. *Archives Medical Review Journal Arşiv Kaynak Tarama Dergisi. Archives Medical Review Journal*, 26(4), 540–551. doi:10.17827/aktd.303904
- Bacanli, M., Erdem, O., Secerli, J., Leblebici, İ. (2021). Immunotoxic Effects of Pesticides. *Advances in Environmental Research*, 81, 191–204. doi:10.5336/PHARMSCI.2020-78665
- Bakirci, G. T., Yaman Acay, D. B., Bakirci, F., Ötleş, S. (2014). Pesticide Residues in Fruits and Vegetables From The Aegean Region, Turkey. *Food Chemistry*, 160, 379–392. doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.051

- Balkan, T., Kara, K. (2019). Tokat İlinde Tüketime Sunulan Domateslerde Neonikotinoid Grubu İnsektisitlerin Kalıntı Düzeylerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 50–58.
- Balkan, T., Kara, K. (2022). Determination of Pesticide Residues and Risk Assessment in Some Vegetables Grown in Tokat Province. *Bitki Koruma Bülteni*, 62(2), 26–35. doi:10.16955/bitkorb.1053952
- Balkan, T., Kara, K. (2022). Tokat ilinde Üretilen Bazı Sebzelerde Pestisit Kalıntı Düzeylerinin Tespiti ve Sağlık Risk Değerlendirmesi. *Bitki Koruma Bülteni*, 62(2), 26–35. doi:10.16955/bitkorb.1053952
- Barlas, N. (1996). Sakarya Havzasında Bazı Çevre Kirleticilerinin Çeşitli Ortam ve Organizmalarda Birikimi ve Balıklar Üzerinde Toksik Etkilerinin Araştırılması.
- Bilgin, B. (2007, 27 Ağustos). Ege ve Akdeniz Bölgelerinde Yetişen Narenciye Ürünlerindeki Pestisit Kalıntı Düzeylerinin Belirlenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Birişik, N., Özdem, A., Karahan, A., Sezgen, M., Ertürk, S., Alkan, M., ... Bayram, Y. (2018). *Teoriden Pratiğe Kimyasal Mücadele*. (N. Birişik, Ed.). Ankara: T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.
- Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı. (2023a). 18 Haziran 2023 tarihinde <https://bku.tarimorman.gov.tr/Duyuru/Bulten?csrc=3056654084353673839> adresinden erişildi.
- Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı. (2023b). <https://bku.tarimorman.gov.tr/> adresinden erişildi.
- Çakmak Sancar, B., Akhan, M., Öztürk, M., Ergün, Ö. (2022). İstanbul’da Satışa Sunulan Bazı Meyve ve Sebzelerde LC-MS/MS ile Pestisit Kalıntılarının Tespiti. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(3), 303–315. doi:10.29050/harranziraat.1063811
- Charles, R. (2004a). Modelling Pesticides Residues. École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Charles, R. (2004b). Modelling Pesticides Residues. University of Geneva.
- Çiftçi, U. (2019a). Çanakkale Pazarında Satılan Domates ve Biberlerde Pestisit Kalıntılarının Araştırılması. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Çiftçi, U. (2019b, 1 Ağustos). Çanakkale Pazarında Satılan Domates ve Biberlerde Pestisit Kalıntılarının Araştırılması. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Çiftçioğlu, G., İssa, G. (2006). Çevre ve Gıdalardaki Pestisit Kalıntılarının Halk Sağlığına Etkisi. *Istanbul Univ. Vet. Fak. Derg.*, 32(3), 9–9.

- Civelek, H. S., Dinçay, O. (2017). Muğla ili Ortaca Bölgesi turunçgil ekosistemlerindeki insektisit kalıntılarının belirlenmesi. *Türk. entomol. bült*, 7(1), 31–40. <http://dx.doi.org/10.16969/teb.94770> adresinden erişildi.
- Çınar, S., Yılmaz, S. N., Aydın, E., Yorulmaz, A. (2017). Gıda ve Yem İçin Hızlı Alarm Sistemi (RASFF) 2009-2016 Türkiye Raporu. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(8), 873. doi:10.24925/turjaf.v5i8.873-882.1155
- Cönger, E., Aksu, P., Yiğit, N., Dokumaci, S., Baloğlu, Z., Burçak, A. A. (2012). Bazı Pestisitlerin Sebzelerdeki Kalıntı Davranışlarının Belirlenmesi Üzerine Çalışmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 52(3), 273–288.
- Delen, N., Durmuşoğlu, E., Güncan, A., Güngör, N., Turgut, C., Burçak, A. (2005). Türkiye’de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Organizmalarda Duyarlılık Azalışı Sorunları. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI: Teknik Kongre* (1–21). <https://www.researchgate.net/publication/269064638> adresinden erişildi.
- Dellivers, J., Bintein, S., Karcher, W. (1995). Chemfrance: A Regional Level III Fugacity Model Applied to France. *Chemosphere*, 30(3), 457–476.
- Doğan, F. N., Karpuzcu, M. E. (2019). Current Status of Agricultural Pesticide Pollution in Turkey and Evaluation of Alternative Control Methods. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(6), 734–747. doi:10.5505/PAJES.2018.53189
- Dülger, H., Tiryaki, O. (2021). Investigation of Pesticide Residues in Peach and Nectarine Sampled from Çanakkale, Turkey, and Consumer Dietary Risk Assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(561). doi:10.1007/s10661-021-09349-8
- Ebru, E. (2009). Ege Bölgesinde İhraç Edilen Bazı Sebze ve Meyvelerin Pestisit Düzeylerinin İncelenmesi E. Ege Üniversitesi.
- EPA. (2002). Acetamiprid. Pesticide Fact Sheet.
- EPI Suite™-Estimation Program Interface | US EPA. (2023). 18 Haziran 2023 tarihinde <https://www.epa.gov/tsca-screening-tools/epi-suite-estimation-program-interface> adresinden erişildi.
- Erbatur, G., Erbatur O. (1995). Doğu Akdeniz Bölgesinde Pestisit Kirliliğinin Araştırılması. Adana.
- Erdoğan, C. (2024). Türkiye’de ve Dünya’da Bitki Koruma Ürünlerinin Kullanımının Değerlendirilmesi ve Öneriler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(2), 382–392. doi:10.18016/ksutarimdog.vi.1402605
- Ersoy, N., Evc, E., Erdo, E., (2011). Determination of Pesticide Residues in Some Vegetable Species by LC-MS/MS and GC-MS. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(3), 79–85.

- Ersoy, N., Tatlı, Ö., Özcan, S., Evcil, E., Coşkun, L., Erdoğan, E. (2019). Konya’da Halkın Tüketimine Sunulan Bazı Yumuşak Çekirdekli Meyve Türlerinde Pestisit Kalıntı Düzeyleri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1), 84–89.
- Ersoy, N., Tatlı, Ö., Özcan, S., Evcil, E., Coşkun, L. Ş., Erdoğan, E. (2011a). Sert Çekirdekli ve Sert Kabuklu Meyve Türlerinde Bazı Pestisit Kalıntıları. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1), 75–83.
- Ersoy, N., Tatlı, Ö., Özcan, S., Evcil, E., Coşkun, L. Ş., Erdoğan, E. (2011b). Determination of Pesticide Residues in Some Vegetable Species by LC-MS/MS and GC-MS. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(3), 79–85.
- European Commission. (2005). Regulation (EC) No 396/2005, Maximum Residue Levels of Pesticides in/on Food and Feed of Plant and Animal. *Official Journal of the European Union*, L70(48), 1–16. https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Legislation/Food_Legislation_Links/Pesticides_Residues_in_food/Regulation_EC_No_396_2005.pdf adresinden erişildi.
- European Commission. (2022). 2021 Annual Report. Alert and Cooperation Network. *Publications office of the European Union*, 28. doi:10.2875/328358
- Fantke, P., Charles, R., Alencastro, L. F. de, Friedrich, R., Jolliet, O. (2011a). Plant uptake of pesticides and human health: Dynamic modeling of residues in wheat and Ingestion Intake. *Chemosphere*, 85(10), 1639–1647. doi:10.1016/J.CHEMOSPHERE.2011.08.030
- Fantke, P., Charles, R., Alencastro, L. F., Friedrich, R., Jolliet, O. (2011b). Plant Uptake of Pesticides and Human Health; Dynamic Modeling of Residues in Wheat and Ingestion Intake. *Chemosphere*, 85, 1639–1647.
- Fantke, P., Jolliet, O., Charles, R., Juraske, R. (2011). dynamiCROP Model. <https://dynamicrop.org/model.php> adresinden erişildi.
- Fantke, P., Juraske, R., Antón, A., Friedrich, R., Jolliet, O. (2011). Dynamic Multicrop Model to Characterize Impacts of Pesticides in Food. *Environmental Science and Technology*, 45(20), 8842–8849. doi:10.1021/es201989d
- Fantke, P., Wieland, P., Wannaz, C., Friedrich, R., Jolliet, O. (2013). Dynamics of Pesticide Uptake Into Plants: From System Functioning to Parsimonious Modeling. *Environmental Modelling and Software*, 40, 316–324. doi:10.1016/j.envsoft.2012.09.016
- FAO. (2021). Pesticide Agricultural Use. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize> adresinden erişildi.
- FAO. (2023a). FAOSTAT: Production: Crops and livestock products.
- FAO. (2023b). FAOSTAT: Trade: Crops and livestock products.

- Feng, X., Pan, L., Jing, J., Zhang, J., Zhuang, M., Zhang, Y., Wang, K., Zhang, H. (2021). Dynamics and Risk Assessment of Pesticides in Cucumber Through Field Experiments and Model Simulation. *Science of the Total Environment*, 773(145615).
- Gao, Y., Zhu, L., Ling, W. (2005). Application of the Partition-Limited Model for Plant Uptake of Organic Chemicals From Soil and Water. *Science of the Total Environment*, 336(1–3), 171–182. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.05.027
- Garrels, R., Mackenzie, F., Hunt, C. (1975). Chemical Cycles and the Global Environment: Assessing Human Influences. Los ALtos: W. Kaufmann.
- Gevao, B., Semple, K. T., Jones, K. C. (1999). Bound Pesticide Residues in Soils: A Review. *Environmental Pollution*, 108(2000), 3–14. www.elsevier.com/locate/envpol adresinden erişildi.
- Göktaş, R. K., Macleod, M. (2017). Hazardous Pollutants in the Water Environment. *Hazardous Pollutants in Biological Treatment Systems* (17–67). doi:10.2166/9781780407708_17
- Göktaş, R. K., Macleod, M. (2017). Hazardous Pollutants in the Water Environment. *Fundamentals and a Guide to Experimental Research* (17–67). IWA. doi:10.2166/9781780407708_17
- Gouin, T., Mackay, D., Webster, E., Wania, F. (2000). Screening Chemicals for Persistence in the Environment. *Environmental Science & Technology*, 34(5), 881–884. doi:10.1021/es991011z
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. (1997). Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 52 - Pestisitler. Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı.
- Hepsağ, F., Kizildeniz, T. (2021a). Pesticide Residues and Health Risk Appraisal of Tomato Cultivated in Greenhouse from the Mediterranean Region of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 22551–22562. doi:10.1007/s11356-020-12232-7/Published
- Hepsağ, F., Kizildeniz, T. (2021b). Pesticide Residues and Health Risk Appraisal of Tomato Cultivated in Greenhouse from the Mediterranean Region of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 22551–22562. doi:10.1007/s11356-020-12232-7
- Hollander, A. (2008). Spatial Variation in Multimedia Mass Balance Models. <http://hdl.handle.net/2066/53744%0A>Please adresinden erişildi.
- Hughes, L., Mackay, D., Powell, D. E., Kim, J. (2012). An Updated State of the Science EQC Model for Evaluating Chemical Fate in the Environment: Application to D5 (decamethylcyclopentasiloxane). *Chemosphere*, 87(2), 118–124. doi:10.1016/j.chemosphere.2011.11.072

- Hwang, J. I., Lee, S. E., Kim, J. E. (2017). Comparison of Theoretical and Experimental Values for Plant Uptake of Pesticide from Soil. *PLoS ONE*, 12(2). doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0172254
- İşiner, B. (2017). Anne ve Kordon Kanında Organoklorin Pestisit Düzeylerinin Belirlenerek Annein Biyokimyasal Parametreleri ve Yenidoğan Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. T.C. Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- İstanbulluoğlu, H., Oğur, R., Güleç, M. (2009). Pestisit Maruziyeti ve Nörolojik Bozukluklar. *Genel Tıp Dergisi*, 19(4), 193–201.
- Jones, B. M., Collins, C. D. (2020). Measuring and Modelling the Plant Uptake and Accumulation of Synthetic Organic Chemicals: With a Focus on Pesticides and Root Uptake. *Handbook of Environmental Chemistry* (C. 100, 131–147). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/698_2020_591
- Kalıpçı, E., Özdemir, C., Öztaş, H. (2011). Education and Information Levels of Farmers Related. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 3(4), 179–187.
- Karaca, C., Büyüktaş, D. (2021). Variation of The Leaf Area Index of Some Vegetables Commonly Grown in Greenhouse Conditions with Cultural Practices. *Horticultural Studies*, 38(2), 56–61. doi:10.16882/hortis.902525
- Karadeniz, H., Yenisoğlu-Karakaş, S. (2015). Spatial Distributions and Seasonal Variations of Organochlorine Pesticides in Water and Soil Samples in Bolu, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3). doi:10.1007/s10661-015-4329-5
- Katsoulas, N., Boulard, T., Tsiropoulos, N., Bartzanas, T., Kittas, C. (2012). Experimental and modelling analysis of pesticide fate from greenhouses: The case of Pyrimethanil on a Tomato Crop. *Biosystems Engineering*, 113(2), 195–206. doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.07.007
- Kaya, T. (2018, 17 Mayıs). İzmir İlindeki Üç Halk Pazarından Alınan Meyve ve Sebze Örneklerindeki Pestisit Kalıntı Miktarlarının Araştırılması. Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Kim, J. H., Kwak, B. K., Shin, C. B., Jeon, W. J., Park, H. S., Choi, K., Yi, J. (2010). Spatial Distribution Multimedia Fate Model: Numerical Aspects and Ability for Spatial Analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 34(9), 2279–2290. doi:10.1016/j.apm.2009.10.036
- Kula, E. P., Göktaş, R. K. (2023). Evaluation of the Environmental Exposure Risks of Pesticides Used in Vegetable Production in Türkiye. *Environmental Research and Technology*, 7(March), 83–96. doi:10.35208/ert.1337726

- Kwizera, V. (2017). Acetamiprid, İmıdacloprıd ve Spinosad Etken Maddeli İnspektisitlerin Bazı Entomopatojen Nematodlar Üzerine Etkilerinin Araştırılması. T.C. ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ.
- Li, Z. (2022). Modeling Plant Uptake of Organic Contaminants by Root Vegetables: The Role of Diffusion, Xylem, and Phloem Uptake Routes. *Journal of Hazardous Materials*, 434. doi:10.1016/j.jhazmat.2022.128911
- Mackay, D., Peterson, S., Tam, D. (1991). Assessments of Chemical Fate in Canada: Continued Development of a Fugacity Model. A report prepared for Health and Welfare Canada. Canada.
- Mackay, Don. (2004). Finding Fugacity Feasible, Fruitful, and Fun. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(10), 2282–2289. doi:10.1897/03-465
- Mackay, Donald. (1979). Finding Fugacity Feasible. *Environmental Science & Technology*, 13(10), 1218–1223. doi:10.1021/es60158a003
- Mackay, Donald, Di Guardo, A., Paterson, S., Cowan, C. E. (1996). Evaluating the Environmental Fate of a Variety of Types of Chemicals Using the EQC Model. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(9), 1627–1637. doi:10.1002/etc.5620150929
- Mackay, Donald, Di Guardo, A., Paterson, S., Kicsi, G., Cowan, C. (1996). Assessing the Fate of New and Existing Chemicals: A Five-Stage Process. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(9), 1618–1626.
- Mackay, Donald, Di Guardo, A., Paterson, S., Kicsi, G., Cowan, C., Kane, D. (1996). Assessment of Chemical Fate in the Environment Using Evaluative, Regional and Local-Scale Models: Illustrative Application to Chlorobenzene and Linear Alkylbenzene Sulfonates. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(9), 1638–1648.
- Mackay, Donald, Parnis, J. M. (2021). Multimedia Environmental Models: The Fugacity Approach (Third.). Taylor and Francis.
- MacLeod, M., Woodfine, D. G., Mackay, D., McKone, T., Bennett, D., Maddalena, R. (2001). BETR North America: A Regionally Segmented Multimedia Contaminant Fate Model for North America. *Environmental Science and Pollution Research*, 8(3), 156–163. doi:10.1007/BF02987379
- McKone, T. E. (1993). CalTOX, A Multimedia Total Exposure Model for Hazardous-Waste Sites; Part 1, Executive summary.
- Mermer, S., Yalcin, M., Turgut, C. (2020). The Uptake Modeling of DDT and Its Degradation Products (o,p'-DDE and p,p'-DDE) from Soil. *SN Applied Sciences*, 2(4). doi:10.1007/s42452-020-2577-7

- Namiki, S., Otani, T., Seike, N. (2013). Fate and Plant Uptake of Persistent Organic Pollutants in Soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59, 669–679. doi:10.1080/00380768.2013.813833
- National Library of Medicine. (2024). PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> adresinden erişildi.
- Osaili, T. M., Al Sallagi, M. S., Dhanasekaran, D. K., Bani Odeh, W. A. M., Al Ali, H. J., Al Ali, A. A. S. A., Radwan, H., Obaid, R. S., Holley, R. (2022). Pesticide Residues in fresh Vegetables Imported into the United Arab Emirates. *Food Control*, 133. doi:10.1016/j.foodcont.2021.108663
- Otaç, C., Güverener, A. (1959). Hexachlorobenzenle İlaçlanmış Tohumluk Buğdaylarda Hexachlorobenzen Tayini. *Bitki Koruma Bülteni*, 1(2), 26–29.
- Özay, Ö., Arslantaş, D. (2016). Pestisit Maruziyeti ve Nöropsikiyatrik Etkileri. *Oomangazi Journal of Medicine*, 38(10), 42–48. doi:10.20515/otd.88785
- Özdemir, S., Öztürk Kurt, B. (2020). Organofosfatlı Bir Insektisit: Klorpirifos. *OSMANGAZİ Journal of Medicine*, 44(1), 139–147. doi:10.20515/otd.796303
- Özpolat Çakar, N., Kutsal, D., Kiran, S. (2020). Pesticide Exposure and Chronic Kidney Disease Among Agricultural Workers. *Ankara Medical Journal*, 20(3), 761–772. doi:10.5505/amj.2020.37029
- Öztaş, N. B. (2008). Pesticide Pollution in Surface and Ground Water of An Agricultural Area, Kumluca, Turkey. Middle East Technical University.
- Pesticide Action Network. (2023). Pesticides And Children. <https://www.panna.org/resources/pesticides-and-children/> adresinden erişildi.
- Pesticide Properties DataBase. (2023). Pesticide Properties DataBase. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/> adresinden erişildi.
- Pesticides Properties DataBase. (2023). <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> adresinden erişildi.
- Polat, B., Tiryaki, O. (2018). Çanakkale İli Açık Alan Domates Yetiştiriciliğinde Pestisit Kalıntılarının Quechers Yöntemi İle Araştırılması. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(1), 71–79.
- Povey, A. C., McNamee, R., Alhamwi, H., Stocks, S. J., Watkins, G., Burns, A., Agius, R. (2014). Pesticide Exposure and Screen-Positive Neuropsychiatric Disease in British Sheep Farmers. *Environmental Research*, 135, 262–270. doi:10.1016/J.ENVRES.2014.09.008
- Racke, K. D. (2003). Release of Pesticides into the Environment and Initial Concentrations in Soil, Water, and Plants. *Pure and Applied Chemistry*, 75(11–12), 1905–1916. doi:10.1351/pac200375111905

- RASFF Window. (2023). RASFF Window. <https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/search> adresinden erişildi.
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., Frede, H. G. (2007). Mitigation Strategies to reduce Pesticide Inputs into Ground and Surface Water and Their Effectiveness; A Review. *Science of the Total Environment*, 384(1–3), 1–35. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.04.046
- Rein, A., Legind, C. N., Trapp, S. (2011). New Concepts for Dynamic Plant Uptake Models. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 22(1–2), 191–215. doi:10.1080/1062936X.2010.548829
- Rong-Rong, Z., Che-Sheng, Z., Zhong-Peng, H., Xiao-Meng, S. (2012a). Review of Environmental Multimedia Models. *Environmental Forensics*, 13(3), 216–224. doi:10.1080/15275922.2012.702328
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., Imboden, D. M. (2017a). Environmental Organic Chemistry. www.wiley.com. adresinden erişildi.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., Imboden, D. M. (2017b). Environmental Organic Chemistry (Third Edit.). New Jersey: Wiley. www.wiley.com. adresinden erişildi.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., Thukral, A. K. (2019). Worldwide Pesticide Usage and Its Impacts on Ecosystem. *SN Applied Sciences*. doi:10.1007/s42452-019-1485-1
- Sharp, D. S., Eskenazi, B., Harrison, R., Callas Arz, P., Smith, A. H. (1986). Delayed Health Hazards of Pesticide Exposure. *Annual Reviews Public Health*, 7, 441–71. www.annualreviews.org adresinden erişildi.
- Slotkin, T. A., Oliver, C. A., Seidler, F. J. (2005). Critical Periods for the Role of Oxidative Stress in the Developmental Neurotoxicity of Chlorpyrifos and Terbutaline, Alone or in Combination. *Developmental Brain Research*, 157(2), 172–180. doi:10.1016/J.DEVBRAINRES.2005.04.001
- Sofuoglu, A., Cetin, E., Bozacioglu, S. S., Sener, G. D., Odabasi, M. (2004). Short-term Variation in Ambient Concentrations and Gas/Particle Partitioning of Organochlorine Pesticides in Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 38(27), 4483–4493. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.05.036
- Soydan, D. K., Turgut, N., Yalçın, M., Turgut, C., Binnur, P., Karakuş, K. (y.y.). Evaluation of Pesticide Residues in Fruits and Vegetables from the Aegean Region of Turkey and Assessment of Risk to Consumers. doi:10.1007/s11356-021-12580-y/Published

- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021a). Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği. *Resmi Gazete Sayı:31611*. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=38965&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden erişildi.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği (2021). Türkiye. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/09/20210927M1-1.htm> adresinden erişildi.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği Rehberi.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023a). Tarla ve Bahçe Bitkileri Üretim Miktarı. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Urunler-Ve-Uretim> adresinden erişildi.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023b). Resmi Tarımsal İlaç İstatistikleri. <https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Menu/115/Resmi-Tarimsal-Ilac-Istatistikleri> adresinden erişildi.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023c). Yasaklanan Bitki Koruma Ürünleri Aktif Madde Listesi. *T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı*. 18 Haziran 2023 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/Konu/934/Yasaklanan-Bitki-Koruma-Urunleri-Aktif-Madde-Listesi> adresinden erişildi.
- Taşova, H., Akın, A. (2013). Marmara Bölgesi Topraklarının Bitki Besin Maddesi Kapsamlarının Belirlenmesi, Veri Tabanının Oluşturulması ve Haritalandırılması. *Toprak Su Dergisi*, 2(2), 83–95.
- Tatlı, Ö. (2006, 24 Mart). Ege Bölgesine Özgü Bazı Yaş Meyve, Sebze ve Kurutulmuş Gıda Ürünlerinde Pestisit Kalıntı Düzeylerinin Tespiti. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Technical University of Denmark. (2022). DynamiCrop Model. <http://dynamicrop.org/> adresinden erişildi.
- Thibodeaux, L. J., Mackay, D. (2011). Handbook of Chemical Mass Transport in the Environment. CRC Press.
- Tiryaki, O. (2016). Türkiye’de Yapılan Pestisit Kalıntı Analiz ve Çalışmaları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 32(1), 72–80. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/25541/269489> adresinden erişildi.
- Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S., Seyrani, E. Ü., Fakültesi, Z., Koruma Bölümü, B. (2010). Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 154–169.

- Tiryaki, O., Temur, C. (2010b). The Fate of Pesticide in the Environment. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 4(10), 29–38.
- Toptanci, İ., Kiralan, M., Ramadan, M. F. (2021). Levels of Pesticide Residues in Fruits and Vegetables in the Turkish Domestic Markets. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(29), 39451–39457. doi:10.1007/s11356-021-13538-w
- Tosun, N., Erkan, S., Karsavuran, Y. (2000). Pestisit Uygulamalarının Yaraltı Suları Üzerindeki Olumsuz Etkileri. *GAP - Çevre Kongresi* (0–12). Şanlıurfa.
- Trapp, S. (2002). Dynamic Root Uptake Model for Neutral Lipophilic Organics. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(1), 203–206. doi:10.1002/etc.5620210128
- Trapp, S. (2007). Fruit Tree Model for Uptake of Organic Compounds from Soil and Air. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 18(3–4), 367–387. doi:10.1080/10629360701303693
- Trapp, Stefan. (2015a). Uptake of Organic Chemicals into Plants Models, Equations and Exercises. Kongens Lyngby. http://homepage.env.dtu.dk/stt/PhD_course_2013website/index.htm adresinden erişildi.
- Trapp, Stefan. (2015b). Calibration of a Plant Uptake Model with Plant- And Site-Specific Data for Uptake of Chlorinated Organic Compounds into Radish. *Environmental Science and Technology*, 49(1), 395–402. doi:10.1021/es503437p
- Trapp, Stefan, Matthies, M. (1998). Chemodynamics. Trent University. (2023). Equilibrium Criterion Model. <https://www.trentu.ca/cemc/resources-and-models/eqc-equilibrium-criterion-model> adresinden erişildi.
- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3). doi:10.3390/ijerph18031112
- TÜİK. (2023). Bitki Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2023-49535> adresinden erişildi.
- Uçkun, A. (2017). Ecotoxicological Evaluation of Pesticide Pollution in Ataturk Dam Lake (Euphrates River), Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(1), 313–321. doi:10.4194/1303-2712-v17
- Wania, F., Mackay, D. (1999). The evolution of Mass Balance Models of Persistent Organic Pollutant Fate in the Environment. *Environmental Pollution*, 100(1–3), 223–240. www.elsevier.com/locate/envpol adresinden erişildi.

- Yalçın, M., Turgut, C. (2016). Determination of Pesticide Residues in Tomatoes Collected from Aydın Province of Turkey. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, *LIX*, 547–551.
- Yalçın, M., Turgut, C. (2016). Determination of Pesticide Residues in Tomatoes Collected from Aydın Province of Turkey. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, *LIX*, 547–551.
- Yıldırım, İ., Çiftçi, U. (2022). Monitoring of Pesticide Residues in Peppers from Çanakkale (Turkey) Public Market Using QuEChERS Method and LC-MS/MS and GC-MS/MS Detection. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194. doi:10.1007/s10661-022-10253-y





EKLER

Ek-A

Tablo A.1. Pestisitlere ait MRL değerleri ve hasat öncesi bekleme süresi

<i>Pestisit Etken Madde</i>	<i>Pestisit Sınıfı</i>	<i>Pestisit Grubu</i>	<i>MRL Değeri (mg/kg)</i>			<i>Hasat Öncesi Bekleme Süresi</i>		
			<i>Domates</i>	<i>Biber</i>	<i>Hıyar</i>	<i>Domates</i>	<i>Biber</i>	<i>Hıyar</i>
Acetamiprid	İnsektisit	Neonikotinoid	0,5	0,3	0,3	3 gün	3 gün	3 gün
Alpha - Endosulfan	İnsektisit	Organoklorlu	Yasaklı (2010)			-	-	-
Beta - Endosulfan	İnsektisit	Organoklorlu	Yasaklı (2010)			-	--	-
Bromopropylate	Akarisit	Difenil	Yasaklı (2011)			-	-	-
Carbendazim	Fugasit	Kabamatlı	Yasaklı (2011)			-	-	-
Chlormequat chloride	Bitki Büyüme Düzenleyicisi	Kuaterner amonyum bileşigi	0,01	-	-	-	-	-
Chlorpyrifos	İnsektisit	Organofosfatlı	Yasaklı (2020)			-	-	-
Clofentezine	Akarisit		-	-	0,2			3 gün
Cymoxanil	Fugasit	Siyanoasetamid	0,4	-	0,08	7 gün	-	3 gün
Cyproconazole	Fugasit	Triazol	Veri Yok			Veri Yok	Veri Yok	Veri Yok
Dichlorvos	İnsektisit	Organofosfatlı	Yasaklı (2011)			-	-	-
Dimethomorph	Fugasit	Morfolin	1	1	0.5	7 gün	1 gün	7 gün
Ethion	İnsektisit	Organofosfatlı	Yasaklı (2010)			-	-	-

Tablo A.1. (Devam) Pestisitlere ait MRL değerleri ve hasat öncesi bekleme süresi

Etofenprox	İnsektisit	Piretroid	0,7	-	-	3 gün	-	-
Etiozazole	Akarisit	Difenil	0,07	0,01	0,02	3 gün	3 gün	3 gün
Fenarimol	Fugasit	Pirimidin	Yasaklı (2011)			-	-	-
Fenazaquin	Akarisit	Kinazolin	0,05	-	-	3 gün	-	-
Formetanate - HCl	İnsektisit	Formamidin	0,3	-	0,01	14 gün	-	7 gün
Imazalil	Fugasit	İmidazol	0,3	0,01	0,5	3 gün	3 gün	3 gün
Imidacloprid	İnsektisit	Neonikotinoid	-	-	-	-	-	-
Iprodione	Fugasit	Diklorofenil	Yasaklı (2018)			-	-	-
Malathion	İnsektisit	Organofosfatlı	0,02	-	-	7 gün	-	-
Methomyl	İnsektisit	Kabamatlı	Yasaklı (2021)			-	-	-
Metrafenone	Fugasit	Benzofenon	0,6	2	0,5	3 gün	3 gün	1 gün
Omethoate	İnsektisit	Organofosfatlı	Yasaklı (2012)			-	-	-
Oxamyl	İnsektisit	Kabamatlı	Yasaklı (2012)			-	-	-

Tablo A.1.(Devam) Pestisitlere ait MRL değerleri ve hasat öncesi bekleme süresi

Pendimethalin	Herbisit	Dinitroanilin	0,05	-	-	Dikim Öncesi	-	-
Pirimiphos - Methyl	İnsektisit	Organofosfatlı	0,01	-	0,01	7 gün	-	7 gün
Pyridaben	İnsektisit	Piridazinon	0,15	0,3	0,15	3 gün	3 gün	3 gün
Tebuconazol	Fugasit	Triazol	0,9	0,6	0,6	7 gün	3 gün	3 gün
Tetradifone	Akarisit	Difenil	Yasaklı (2011)			-	-	-
Triazophos	İnsektisit	Organofosfatlı	Yasaklı (2010)			-	-	-
Triadimenol	Fugasit	Triazol	Yasaklı (2021)			-	-	-
Trifloxystrobin	Fugasit	Strobilurin	0,7	0,4	0,3	3 gün	3 gün	3 gün

Tablo A.2. Pestisitlere ait fiziko-kimyasal özellikler

Pestisit Madde	Etken	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Oktanöl Paylaşım (logK _{ow})	- Su Oranı	Suda Çözünürlük (mg/l, 20°C)	Buhar Basıncı (mPa, 20°C)	Yarılma Ömrü		
							Toprak	Su	Sediment
Acetamiprid		222.67	0.8		2950	1.73*10 ⁻⁰⁴	1.6	4.7	337.5*
Alpha - Endosulfan		406.93	4.74		0.32	8.3	50	-	-
Beta - Endosulfan		406.93	3.83		0.45	-	-	-	-
Bromopropylate		428.1	5.4		0.1	0.011	59	4	63
Carbendazim		191.21	1.48		8.0	0.09	40	7.9	33.7
Chlormequat chloride		158.07	-3.47		886000	1.0 * 10 ⁻⁰³	27.4	0.5	3.75
Chlorpyrifos		350.58	4.7		1.05	1.43	386	5	36.5
Clofentezine		303.15	4.09		0.0342	6.0 * 10 ⁻⁰⁴	69.8	2.1	9.6
Cymoxanil		198.18	0.67		780	0.15	1.7	0.3	0.3
Cyproconazole		291.78	3.09		93	0.026	142	-	1000
Dichlorvos		220.98	1.9		18000	2100	2	-	0.22
Dimethomorph		387.86	2.68		28.95	9.7 * 10 ⁻⁰⁴	72.7	10	38
Ethion		384.48	5.07		2	0.2	90	-	-
Etofenprox		376.49	6.9		0.0225	8.13 * 10 ⁻⁰⁴	11	5.7	13.3
Etoxazole		359.42	5.52		0.07	0.007	19.3	1.45	79.5
Fenarimol		331.20	3.69		13.7	0.065	250	4	Stabil
Fenazaquin		306.40	5.51		0.102	1.90 * 10 ⁻⁰²	45	-	-
Formetanate -HCl		257.8	-0.0014		822000	1.60 * 10 ⁻⁰³	12.9	0.3	0.3
Imazalil		297.18	2.56		184	0.158	76.3	7.8	117
Imidacloprid		255.66	0.57		610	4.0 * 10 ⁻⁰⁷	191	30	129
Iprodione		330.17	3.0		6.8	0.0005	36.2	2.0	4.0
Malathion		330.36	2.75		148	3.1	0.17	0.4	0.4
Methomyl		162.21	0.09		55000	2.13 * 10 ⁻⁰⁶	7	2.9	3.7

Tablo A.2.(Devam) Pestisitlere ait fiziko-kimyasal özellikler

Metrafenone	409.27	4.3	0.492	0.153	200.9	3.9	9.3
Omethoate	213.2	-0.9	500000	19.0	0.1	-	4.5
Oxamyl	219.26	-0.44	184100	0.018	5.3	-	0.7
Pendimethalin	281.31	5.4	0.33	3.34	182.3	4	16
Pirimiphos - Methyl	305.33	4.2	11	$2.00 * 10^{-03}$	39	-	-
Pyridaben	364.93	6.37	0.022	0.001	55	1.18	17.5
Tebuconazol	307.82	3.7	36	$1.30 * 10^{-03}$	63	42.6	365
Tetradifone	356.06	4.61	0.078	$3.20 * 10^{-05}$	112	-	-
Triazophos	313.3	3.55	35	1.33	44	35	35
Triadimenol	295.76	3.18	72	0.0005	250	53	91
Trifloxystrobin	408.37	4.5	0.61	$3.40 * 10^{-03}$	0.34	1.1	2.4

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- Kula, E.P.,** Göktaş, R. K. (2024). Domates Üretiminde Yaygın Olarak Kullanılan Pestisitlerin Kalıntı Miktarlarının Dinamik Bitki Alımı Model Simülasyonları İle Değerlendirilmesi. *VII. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi*, Bursa, Türkiye. 30 Mayıs- 1 Haziran 2024
- Kula, E. P.,** Göktaş, R. K. (2024). Evaluation of the environmental exposure risks of pesticides used in vegetable production in Türkiye. *Environmental Research and Technology*, 7(1), 83-96. <https://doi.org/10.35208/ert.13377>



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2016 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2020 yılında mezun oldu. 2021 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

