



Co-funded by  
the European Union

“Funded by the Erasmus+ Program of the European Union. However, European Commission and Turkish National Agency cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein”

# *Çiftçilerin Kontrollü Pestisit Kullanımı Konusunda Farkındalığının Artırılması*



“Çevresel Sürdürülebilirlik için Pestisit Kullanımını Azaltma ve Alternatif Mücadele Yöntemleri Konusunda Çiftçilerin Bilinçlendirilmesi; Tüketici için Güvenli Gıda”

[SafeFoodTR]

2025-1-TR01-KA220-VET-000349539

2026



UNIVERSITY  
OF AGRONOMIC SCIENCES  
AND VETERINARY MEDICINE  
OF BUCHAREST



Co-funded by  
the European Union

“Funded by the Erasmus+ Program of the European Union. However, European Commission and Turkish National Agency cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein”

# *Çiftçilerin Kontrollü Pestisit Kullanımı Konusunda Farkındalığının Artırılması*



**“Çevresel Sürdürülebilirlik için Pestisit Kullanımını Azaltma ve Alternatif Mücadele Yöntemleri Konusunda Çiftçilerin Bilinçlendirilmesi; Tüketici için Güvenli Gıda”**

**[SafeFoodTR]**

**2025-1-TR01-KA220-VET-000349539**

**Lider:** Gaziantep Üniversitesi (Gaziantep, Türkiye)

**Hazırlayan:** Mihai Gîdea, Mona Elena Popa, Mihaela Geicu-Cristea, Bükreş Tarım Bilimleri ve Veterinerlik Üniversitesi (Bükreş, Romanya)

**Bükreş, 2026**

# İçindekiler

Giriş .....	5
<b>1. Pestisitlerin Rolü ve Kontrollü Kullanım Kavramı.....</b>	<b>6</b>
1.1. Modern Tarımda Pestisitlerin Önemi .....	6
1.2. Pestisitlerin Faydaları, Riskleri ve Kontrollü Kullanım Gerekliliği .....	7
1.3. Temkinli Yaklaşım İlkesi ve Halk Sağlığının Korunması .....	8
1.4. Pestisit Kullanımının Kullanıcı Sorumluluğu ve Sosyal Etkisi .....	9
<b>2. Bilimsel temel: Toksikoloji, Ekotoksikoloji ve Maruz Kalma.....</b>	<b>11</b>
2.1. Doz-Tepki ilişkisi ve Akut ve Kronik Etkiler .....	11
2.2. Maruz Kalma Yolları: Deri Yoluyla, Solunum Yoluyla ve Ağız Yoluyla .....	12
2.3. Hedef Dışı Organizmalar Üzerindeki Etkiler .....	13
2.4. Kalıcılık, Hareketlilik ve Biyobirikim .....	15
2.5. İnsanlar ve Çevre İçin Risk Değerlendirmesi.....	16
<b>3. Aktif maddeler, Formülasyonlar, Pestisitlerin Yönetimi ve Uygulanması .....</b>	<b>18</b>
3.1. Aktif Madde ve Formüle Edilmiş Ürün .....	18
3.2. Hedef Organizmaya Göre Pestisitlerin Sınıflandırılması.....	19
3.3. Pestisitlerin Etki Mekanizmaları: Kontakt, Sistemik ve Translaminar .....	21
3.4. Pestisit Direnç Yönetimi (HRAC, FRAC, IRAC) .....	22
3.6. Uyumluluklar, Uyumsuzluklar ve Fitotoksisite .....	26
3.7. Ürünlerin Dozajı ve Konsantrasyonu .....	28
3.8. Karıştırma Oranı ve Su Hacmi .....	29
3.9. Pestisit Uygulama Yöntemleri (zemin, lokal, drone) .....	30
3.10. Püskürtücü Türleri .....	31
3.11. Ekipman Kalibrasyonu .....	34
3.12. Bakım ve Teknik Kontrol.....	36
3.13. Sürüklenme ve Ürün Kayıpları.....	38
3.14. Modern Risk Azaltma Teknolojileri.....	40

<b>4. Mevzuat ve Kurumsal Çerçeve .....</b>	<b>43</b>
4.1. Avrupa Birliği'nin Pestisitlerle İlgili Mevzuatı .....	43
4.2. Romanya'daki Ulusal Düzenlemeler .....	45
4.3. Ürün Ruhsatlandırma ve Kullanım Kısıtlamaları .....	46
4.4. MADR, ANF, APIA, AFIR, AFM'nin rolü .....	48
4.5. Kullanıcıların Sertifikasyonu ve Resmi Kontroller .....	50
<b>5. Operatör Koruması ve İş Güvenliği .....</b>	<b>52</b>
5.1. Mesleki Riskler .....	52
5.2. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) .....	54
5.3. Kabinler ve Filtreler Aracılığıyla Koruma .....	55
5.5. İlk Yardım ve Kaza Yönetimi .....	59
<b>6. Çevre ve Gıda Zincirinin Korunması .....</b>	<b>61</b>
6.1. Toprak, Su ve Havayı Koruma .....	61
6.2. Biyoçeşitliliğin ve Tozlayıcıların Korunması .....	62
6.3. Tampon Bölgeler ve Uygulama Kısıtlamaları .....	64
6.4. Pestisit Kalıntıları ve MRL'ler (Maksimum Kalıntı Limitleri) .....	66
6.5. İzlenebilirlik, Hasat Öncesi Bekleme Süresi (PHI) ve Gıda Güvenliği .....	68
<b>7. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) .....</b>	<b>72</b>
7.1. IPM Prensipleri .....	72
7.2. Ürün İzleme .....	73
7.3. Pestisitlere Alternatifler .....	74
7.4. Direncin Önlenmesi .....	76
7.5. Denetim ve Raporlama .....	77
<b>Kaynaklar .....</b>	<b>78</b>

## Giriş

Bu kılavuz, modern tarımda pestisitlerin sorumlu kullanımına yönelik kapsamlı, pratik ve bilimsel temelli bir çerçeve sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Bitki koruma ürünleri, mahsul verimliliğini, kalitesini ve gıda güvenliğini sağlamada çok önemli bir rol oynar. Aynı zamanda, bu ürünlerin kullanımı, uygun şekilde yönetilmezse insan sağlığı, çevre ve hedef olmayan organizmalar için riskler içerir. Bu nedenle kılavuz, kontrollü kullanım, risk bilinci, mevzuata uygunluk ve Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) ilkelerinin sistematik uygulanmasına dayanan dengeli bir yaklaşımı desteklemektedir.

Günümüzde tarım, daha az kaynakla daha fazla üretim yaparken, aynı zamanda çevre ve gıda güvenliği standartlarını da karşılamak zorunda olduğu için giderek artan bir baskı altında faaliyet göstermektedir. Bu bağlamda, pestisit kullanıcıları teknik bilgilerini yasal sorumluluklar ve iyi mesleki uygulamalarla birleştirmelidir. Pestisitlerin nasıl çalıştığını anlamak — toksikolojik ve ekotoksikolojik etkilerden maruz kalma yollarına ve çevresel davranışlarına kadar — bu alanda bilinçli kararlar almak için çok önemlidir. Doğru ürün seçimi, formülasyon bilgisi, ekipman kalibrasyonu, uygulama teknikleri ve direnç yönetimi stratejileri de aynı derecede önemlidir.

Kılavuz, temel kavramlardan uygulamalı pratiğe doğru ilerleyecek şekilde yapılandırılmıştır. Öncelikle pestisitlerin rolü, faydaları ve riskleri ile önlem alma ve halk sağlığını koruma gerekliliği açıklanmaktadır. Ardından risk ve maruz kalmanın bilimsel temelleri sunulmakta, bunu aktif maddeler, formülasyonlar, uygulama teknolojileri ve ekipman yönetimi hakkında ayrıntılı teknik kılavuzlar izlemektedir. Uyum ve izlenebilirliği desteklemek için Avrupa Birliği ve ulusal düzeydeki yasal ve kurumsal çerçeve özetlenmektedir. Özel bölümlerde operatör güvenliği, çevre koruma, gıda zinciri güvenliği ve kalıntı kontrolü ele alınmaktadır. Kılavuzun temel dayanağı, önleme, izleme, eşik değerine dayalı müdahale ve mümkün olduğunda kimyasal olmayan kontrol yöntemlerine öncelik vermeyi teşvik eden Entegre Zararlı Yönetimi'dir. Mahsul izleme, kimyasal pestisitlere alternatifler, direnç önleme ve denetim ve raporlama uygulamaları, sürdürülebilir bitki koruma için temel araçlar olarak sunulmaktadır. Genel olarak, bu kılavuz çiftçilerin, danışmanların, operatörlerin ve teknik

personelin daha güvenli, daha verimli ve daha sürdürülebilir bitki koruma uygulamalarını benimsemelerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Bilimsel bilgileri, yasal gereklilikleri ve saha düzeyindeki çözümleri bir araya getirerek, insan sağlığını ve çevreyi korurken üretkenliği de sınırlamayan modern bir tarım sistemine katkıda bulunmaktadır.

## **1. Pestisitlerin Rolü ve Kontrollü Kullanım Kavramı**

### **1.1. Modern Tarımda Pestisitlerin Önemi**

Pestisit kullanımı, modern tarımın temel bileşenlerinden biridir ve mahsul verimliliğini, hasat istikrarını ve gıda güvenliğini sağlamada belirleyici bir rol oynar. Zararlı organizmaları önlemek, yok etmek veya kontrol etmek amacıyla kullanılan maddeler veya madde karışımları olarak tanımlanan pestisitler bitkileri; yabancı otlardan, hastalıklardan ve zararlılardan korumaya, üretim kayıplarını azaltmaya ve tarım ürünlerinin kalitesini artırmaya katkıda bulunur.

Bitki koruma önlemlerinin alınmaması durumunda, mahsul kayıpları %30-40'a ulaşabilir ve belirli iklimsel veya epidemiyolojik koşullarda bu oran daha da artabilir. Zararlı böcekler, patojenler ve yabancı otlar, mahsullerle temel kaynaklar olan su, besin maddeleri ve ışık için rekabet eder ve bitkilerin normal gelişimlerini etkiler. Pestisitlerin doğru kullanımıyla çiftçiler bu olumsuz etkileri sınırlayabilir ve tarımsal üretimi sabit bir seviyede tutabilir.

Bir diğer önemli husus da ürün kalitesinin iyileştirilmesidir. Pestisitler, gıda güvenliğini tehlikeye atabilecek küf oluşumunu, böcek istilasını veya patojenlerle kontaminasyonu önleyerek mahsul hasarını azaltmaya yardımcı olur. Böylece, elde edilen ürünler daha homojen, kalite açısından daha istikrarlı ve pazar gereksinimlerine daha uygun hale gelir.

Küresel olarak, pestisitler, özellikle nüfus artışı ve iklim değişikliği karşısında gıda güvenliğini desteklemede stratejik bir rol oynamaktadır. Tarım sistemleri üzerindeki baskı artmaktadır ve biyolojik faktörlerin neden olduğu mahsul kayıpları önemli ekonomik ve sosyal sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle bitki koruma, gıda mevcudiyetini ve tarım pazarlarının istikrarını sağlamada kilit bir unsur haline gelmektedir.

Ancak, pestisitlerin önemi yalnızca ekonomik verimlilikle sınırlı değildir. Kullanımları, insan sağlığı ve çevrenin korunmasını dikkate alan sürdürülebilir bir tarım sistemine entegre edilmelidir. Pestisitler, yanlış kullanıldığında hedef olmayan organizmalar, biyolojik çeşitlilik, toprak ve su kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Bu nedenle rolleri, tarımsal faydalar ve potansiyel riskler arasındaki denge içinde analiz edilmelidir.

Modern tarımda pestisitler, önleyici tedbirler, mahsul izleme ve sadece gerekli olduğunda tedavi uygulamalarını içeren entegre stratejiler kapsamında kullanılır. Bu yaklaşım, kimyasallara bağımlılığı azaltır ve verimlilikten ödün vermeden çevresel etkiyi sınırlar.

Sonuç olarak, pestisitler bitki koruma ve gıda güvenliği için vazgeçilmez bir araçtır. Modern tarımda önemi yadsınamaz olmakla birlikte, tarımsal verimliliği ve sağlık ile çevrenin korunmasını sağlamak için kontrollü ve sorumlu bir şekilde ve mevzuata uygun olarak kullanılmalrı gerekmektedir.

## **1.2. Pestisitlerin Faydaları, Riskleri ve Kontrollü Kullanım Gerekliliği**

Pestisit kullanımı, modern tarımda en önemli yeniliklerden biri olmuştur ve tarımsal üretimde verimlilik ve istikrarın artmasına kararlı bir şekilde katkıda bulunmuştur. Yabani otların, hastalıkların ve zararlıların etkili bir şekilde kontrol edilmesine olanak sağlaması sayesinde pestisitler, koruyucu önlemlerin alınmaması durumunda toplam üretimin %30'unu aşabilen mahsul kayıplarını azaltmayı mümkün kılar [1]. Bu husus, küresel nüfus artışı ve gıda güvenliğinin sağlanması ihtiyacı bağlamında çok önemlidir.

Pestisit kullanımının en önemli faydalarından biri, mahsul veriminin artmasıdır. Kaynaklar için rekabeti sınırlayarak ve biyolojik saldırıları önleyerek, bitkilerin genetik üretim potansiyellerini daha etkili bir şekilde kullanabilmelerini sağlamaktadırlar. Pestisitler ayrıca, ticari görünümü ve gıda güvenliğini tehlikeye atabilecek mantar hastalıkları, böcek istilaları ve kontaminasyon vakalarını azaltarak tarım ürünlerinin kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunur [2].

Ekonomik düzeyde, pestisit kullanımı mahsul kayıplarıyla ilişkili finansal riskleri azaltarak ve daha öngörülebilir üretim sağlayarak çiftliklerin rekabet gücünü destekler. Ayrıca, üretim istikrarı, gıda fiyatlarının tüketiciler için uygun bir seviyede tutulmasına katkıda bulunur [3].

Ancak, pestisit kullanımının faydaları, insan sağlığı ve çevre için bir dizi önemli riskle birlikte gelir. Tarım işçilerinin mesleki maruziyeti ve genel nüfusun kontamine gıda veya su tüketimi yoluyla maruziyeti, akut ve kronik olumsuz etkilere yol açabilir. Bildirilen etkiler arasında cilt ve göz tahrişi, solunum bozuklukları, sinir sistemi hasarı, endokrin bozuklukları ve bazı durumlarda kronik hastalıklar geliştirme riskinde artış yer almaktadır [4].

Ekolojik açıdan bakıldığında, pestisitler tozlayıcılar, su faunası ve toprak mikroorganizmaları dahil olmak üzere hedef olmayan organizmaları etkileyebilir. Toprak ve yüzey veya yeraltı sularının kirlenmesi, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem işleyişi üzerinde uzun süreli etkilere neden olabilir [5]. Ayrıca, pestisitlerin uygunsuz kullanımı, aktif maddelere karşı

direnç gelişmesini teşvik ederek tedavilerin etkinliğini azaltır ve daha yüksek dozlarda veya daha agresif ürünlerin kullanılmasını gerektirir [6].

Bu nedenle, pestisitlerin kontrollü kullanımının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kontrollü kullanım; önerilen dozlara, uygulama koşullarına, çevresel kısıtlamalara ve operatör koruma standartlarına sıkı sıkıya uyulması anlamına gelir. Kontrollü kullanım aynı zamanda pestisitlerin; önleyici, biyolojik ve tarımsal teknik yöntemlere öncelik veren ve kimyasalları yalnızca kesinlikle gerekli olduğunda kullanan Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) sistemine entegre edilmesini de içerir [7].

Avrupa ve ulusal düzenlemeler, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı için yasal çerçeveyi oluşturur ve ürün ruhsatlandırma, kullanıcı eğitimi, çevre koruma ve gıda kalıntılarının izlenmesi konusunda gereklilikler getirir. Bu önlemler, tarımsal verimliliği tehlikeye atmadan pestisitlerle ilişkili riskleri azaltmayı amaçlamaktadır [8].

Ayrıca, pestisitlerin kontrollü kullanımı, tüketicilerin gıda güvenliğine olan güvenini artırmaya katkıda bulunur. Maksimum kalıntı sınırlarına ve hasat öncesi aralıklarına uyulması, piyasaya sürülen tarım ürünlerinin halk sağlığı için kabul edilemez riskler oluşturmasını sağlar [9].

Sonuç olarak, pestisitler tarıma vazgeçilemez faydalar sağlar, ancak kullanımları göz ardı edilemeyecek riskler içerir. Yalnızca kontrollü, sorumlu ve iyi düzenlenmiş kullanımla, mahsulleri koruma ihtiyacı ile insan sağlığını ve çevreyi koruma yükümlülüğü arasında bir denge sağlanabilir.

### **1.3. Temkinli Yaklaşım İlkesi ve Halk Sağlığının Korunması**

Önlem ilkesi, modern sağlık ve çevre koruma politikalarının temel dayanaklarından biridir ve özellikle pestisit kullanımı alanında da uygulanmaktadır. Bu ilke, bilimsel kanıtların tam olarak kesin olmadığı, ancak insan sağlığı veya ekosistemler için potansiyel risklere dair makul göstergeler bulunduğu durumlarda bile önleyici tedbirlerin alınmasını gerektirir [10].

Pestisitler bağlamında, önlem ilkesi özellikle aktif maddelerin ve ticari ürünlerin ruhsatlandırılması sürecinde uygulanır. Kanserojenlik, mutajeniklik, üreme toksisitesi veya endokrin etkileri gibi özellikler gösteren maddeler, ilgili risklerin boyutu konusunda henüz mutlak bir fikir birliği olmasa bile kısıtlanabilir veya yasaklanabilir [11]. Bu yaklaşım, nüfusun potansiyel olarak tehlikeli maddelere maruz kalmasını önlemeyi ve halk sağlığı üzerindeki uzun vadeli olumsuz etkileri azaltmayı amaçlamaktadır.

Halk sağlığının korunması, tarım ve çevre politikalarının öncelikli hedeflerinden biridir. Pestisitlere maruz kalma; gıda tüketimi, içme suyu, kirli hava veya tarım işçilerinin mesleki

maruziyeti gibi çeşitli yollardan gerçekleşebilir. Epidemiyolojik çalışmalar, belirli pestisitlere kronik maruziyet ile endokrin bozuklukları, nörolojik hastalıklar, solunum hastalıkları ve belirli kanser türleri gibi rahatsızlıkların ortaya çıkması arasında bağlantı olduğunu göstermiştir [12].

Halk sağlığının korunmasında önemli bir husus, gıda ürünlerinde maksimum kalıntı limitlerinin (MRL) belirlenmesi ve uygulanmasıdır. Bu limitler, normal gıda tüketiminin nüfus için kabul edilemez bir risk oluşturmaması için toksikolojik değerlendirmeler ve maruz kalma çalışmalarına dayalı olarak belirlenir. Gıdalardaki pestisit kalıntılarının sürekli izlenmesi, potansiyel aşımaların tespit edilmesine yardımcı olur ve düzeltici önlemlerin uygulanmasını sağlar [13].

Önlem ilkesi, profesyonel pestisit kullanıcılarının eğitimi için gerekliliklere de yansımaktadır. Operatörler, kullandıkları maddelerle ilişkili risklerin farkında olmalı ve uygun kişisel koruma önlemlerini almalıdır. Kişisel koruyucu ekipman kullanımı, kullanım ve uygulama prosedürlerine uyum ve gereksiz maruziyetten kaçınma, olumsuz sağlık etkilerini önlemede kilit unsurlardır [14].

Halk sağlığının korunması sadece tarım işletmecileriyle sınırlı olmayıp, genel nüfusu da kapsamaktadır. Konut alanları, okullar, parklar ve diğer kamusal alanlar, kazara maruz kalma riskini azaltmak için pestisit kullanımına ilişkin katı kısıtlamalara tabidir. Ayrıca, bitki sağlığı tedavilerinin bildirilmesi ve tampon bölgelere uyulması da yerel bitki toplulukların korunmasına katkıda bulunmaktadır [15].

Önlem ilkesinin uygulanmasının bir diğer önemli unsuru, aktif maddelerin periyodik olarak yeniden değerlendirilmesidir. Yeni bilimsel veriler elde edildikçe, yetkililer daha önce güvenli kabul edilen ürünleri piyasadan çekmeye veya kısıtlamaya karar verebilirler. Bu dinamik süreç, uzun vadede halk sağlığını koruma taahhüdünü yansıtmaktadır [16].

Sonuç olarak, önlem ilkesi, pestisit kullanımıyla ilişkili riskleri yönetmek için temel bir yaklaşımı temsil eder. Bu ilkenin uygulanmasıyla, yetkililer ve kullanıcılar insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin önlenmesine katkıda bulunur ve nüfus için yüksek düzeyde koruma sağlar. Bu ilkenin mevzuata, tarım uygulamalarına ve mesleki davranışlara entegre edilmesi, pestisitlerin sorumlu ve sürdürülebilir kullanımının temelidir.

#### **1.4. Pestisit Kullanımının Kullanıcı Sorumluluğu ve Sosyal Etkisi**

Pestisitlerin kullanımı sadece teknik beceriler değil, aynı zamanda yüksek düzeyde mesleki ve sosyal sorumluluk da gerektirir. Bitki koruma ürünlerinin kullanıcıları — çiftçiler, operatörler, teknisyenler ve danışmanlar — bu maddeleri mevzuata, etiket talimatlarına ve sürdürülebilir kullanım ilkelerine uygun olarak uygulamakla yükümlüdür. Bu gerekliliklere

uyulmaması, insan sağlığı, çevre ve tarım-gıda sistemine olan kamu güveni açısından ciddi sonuçlar doğurabilir [17].

Kullanıcı sorumluluğu, izin verilen ürünlerin seçilmesiyle başlar ve dozajlara, uygulama zamanlamasına, hava koşullarına ve kişisel koruyucu önlemlere uyumla devam eder. Profesyonel kullanıcılar, kullanılan maddelerle ilişkili riskleri anlamaları ve uygun önleyici davranışları benimsemeleri için eğitilmeli ve sertifikalandırılmalıdır [18]. Yeni düzenlemeler, aktif maddeler ve uygulama teknolojileri hakkındaki bilgileri güncellemek için sürekli eğitim şarttır.

Mesleki sorumluluğun temel unsurlarından biri, kişinin kendi sağlığını ve çevresindekilerin sağlığını korumaktır. Pestisitlere uygun olmayan şekilde maruz kalmak sadece operatörü değil, aile üyelerini, iş arkadaşlarını ve o bölgede yaşayan insanları da etkileyebilir. Riskleri azaltmak için, kullanım prosedürlerine uyum, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve uygun atık yönetimi temel önlemlerdir [19].

Pestisit kullanımının sosyal etkisi, gıda güvenliği ve tarım uygulamalarına ilişkin kamuoyunun algısıyla yakından bağlantılıdır. Tüketiciler, gıdaların nasıl üretildiğine, kalıntı düzeyine ve çevreye etkisine giderek daha fazla ilgi göstermektedir. Kontaminasyon veya uygunsuz kullanımla ilgili herhangi bir olay, kamuoyunun güvenini sarsabilir ve tarım sektörüne karşı olumsuz tepkilere yol açabilir [20].

Aynı zamanda, pestisitlerin sorumlu kullanımı modern tarımın olumlu imajının güçlendirilmesine katkıda bulunabilir. İyi uygulamaları takip eden, IPM ilkelerini uygulayan ve yetkililerle ve tüketicilerle şeffaf bir şekilde iletişim kuran çiftçiler, güvenlik, sürdürülebilirlik ve kaliteye olan bağlılıklarını gösterirler [21].

Sosyal sorumluluk, çocuklar, yaşlılar ve tarım işçileri gibi savunmasız grupların korunmasını da içerir. Halka açık alanlar, açık uygulama kısıtlamalarıyla korunmalı ve bölge halkı bitki sağlığı tedavileri hakkında bilgilendirilmelidir. Bu önlemler, kazara maruz kalma risklerini azaltmaya ve sosyal kabul düzeyini artırmaya yardımcı olur [22].

Pestisit kullanıcıları da çevreyi ve doğal kaynakları korumada önemli bir rol oynar. Tampon bölgelere uyum, kazara dökülmelerin önlenmesi ve ambalajların uygun şekilde yönetilmesi, toprak, su ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki olumsuz etkileri azaltır. Sorumlu uygulamaları benimseyerek, kullanıcılar ekolojik dengenin korunmasına ve gelecek nesillerin korunmasına katkıda bulunurlar [23].

Sonuç olarak, pestisit kullanımı yüksek derecede mesleki ve sosyal sorumluluk gerektiren bir faaliyettir. Kullanıcı davranışları, insan sağlığını, çevre kalitesini ve halkın tarıma bakış açısını doğrudan etkiler. Kullanıcılar mevzuata uyarak, iyi uygulamaları benimseyerek ve şeffaf

bir şekilde iletişim kurarak, pestisitlerin güvenli, etkili ve sosyal olarak kabul edilebilir kullanımına katkıda bulunabilirler.

## **2. Bilimsel temel: Toksikoloji, Ekotoksikoloji ve Maruz Kalma**

### **2.1. Doz-Tepki İlişkisi ve Akut ve Kronik Etkiler**

Doz-yanıt ilişkisi, toksikolojide temel bir kavramdır ve pestisit kullanımıyla ilişkili risklerin değerlendirilmesinin temelini oluşturur. Bu kavram, bir organizmanın maruz kaldığı madde miktarı ile ortaya çıkan biyolojik etkinin yoğunluğu arasındaki bağlantıyı tanımlar. Genel olarak, doz arttıkça, olumsuz etkilerin olasılığı da artar, ancak bunların niteliği ve şiddeti, maddenin toksik özelliklerine, maruz kalma süresine ve maruz kalan organizmanın özelliklerine bağlıdır [24].

Pestisit toksikolojisinde, iki ana etki kategorisi ayırt edilir: akut etkiler ve kronik etkiler. Akut etkiler, nispeten yüksek bir madde dozuna maruz kaldıktan kısa bir süre sonra ortaya çıkar ve cilt tahrişi, solunum bozuklukları, mide bulantısı, baş dönmesi, kasılmalar veya ciddi vakalarda ciddi zehirlenme ve ölüm gibi semptomları içerebilir [25]. Bu etkiler, özellikle koruyucu önlemler alınmadığında, bitki koruma ürünlerini kullanan ve uygulayan tarım işletmecileri için özellikle önemlidir.

Kronik etkiler, uzun süreler boyunca düşük dozda pestisitlere tekrar tekrar maruz kalımdan sonra ortaya çıkar. Bunlar arasında endokrin bozukluklar, sinir sistemi hasarı, üreme sorunları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ile belirli kanser türlerine yakalanma riskinde artış sayılabilir [26]. Akut etkilerin aksine, kronik etkiler yavaş gelişir ve çok sayıda dış faktörden etkilenebilir, bu nedenle tespit edilmesi daha zordur.

Pestisitlerle ilişkili riskleri değerlendirmek için, Kabul Edilebilir Günlük Alım Miktarı (ADI) ve Akut Referans Doz (ARfD) gibi toksikolojik referans değerleri kullanılır. Bu değerler deneysel çalışmalara dayalı olarak belirlenir ve genel nüfus için güvenli kabul edilen maruz kalma düzeylerini gösterir [27]. Halk sağlığını korumak için bu sınırlara uyulması çok önemlidir.

Doz-yanıt ilişkisinin bir diğer önemli yönü, etki eşiklerinin varlığıdır. Etki eşiği birçok pestisit için, tespit edilebilir herhangi bir yan etki görülmeyen bir dozun altında olduğu kabul edilir. Ancak, genotoksik veya endokrin etkileri olan bazı maddeler için, çok düşük dozlar bile önemli sonuçlara yol açabilir, bu da önlem ilkesinin uygulanmasını haklı kılar [28].

Tarımda, uygulanan dozun kontrol edilmesi, tedavinin etkinliğini sağlamak ve riskleri sınırlamak için çok önemlidir. Çok düşük dozlar, verimsizliğe ve direnç gelişmesine yol açabilirken, çok yüksek dozlar ise operatörler, tüketiciler ve çevre için toksisite riskini artırır [29]. Bu nedenle, ürün etiketinde önerilen dozlara sıkı sıkıya uyulması temel bir gerekliliktir.

Genel popülasyonun pestisitlere maruz kalması, esas olarak kalıntı içeren gıdaların tüketilmesi yoluyla gerçekleşir. Risk değerlendirmeleri, hem kalıntı miktarını hem de farklı popülasyon gruplarının beslenme alışkanlıklarını dikkate alır. Kalıntı izleme ve izin verilen maksimum limitlere uyum, olumsuz sağlık etkilerini önlemek için temel araçlardır [30].

Sonuç olarak, doz-cevap ilişkisi, pestisitlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamada merkezi bir unsurdur. Akut ve kronik etkiler arasında ayırım yapmak, toksikolojik referans değerlerini belirlemek ve önerilen dozlara uymak, bitki koruma ürünlerinin güvenli ve sorumlu kullanımını için esastır.

## **2.2. Maruz Kalma Yolları: Deri Yoluyla, Solunum Yoluyla ve Ağız Yoluyla**

Pestisitlere maruz kalma çeşitli yollarla gerçekleşebilir; bunların en önemlileri deri yoluyla, solunum yoluyla ve ağız yoluyla maruz kalmadır. Bu yolları anlamak, insan sağlığına yönelik riskleri değerlendirmek ve kullanıcılar ile genel nüfus için uygun koruyucu önlemler oluşturmak açısından hayati önem taşır.

### **◆ Deri Yoluyla**

Pestisitlere maruz kalma birkaç yol aracılığıyla gerçekleşebilir; bunların en önemlileri deri yoluyla, solunum yoluyla ve ağız yoluyla maruz kalmadır. Bu yolları anlamak, insan sağlığına yönelik riskleri değerlendirmek ve kullanıcılar ile genel popülasyon için uygun koruyucu önlemler oluşturmak için esastır.

Deri yoluyla maruz kalma, tarım operatörleri arasında pestisitlerle en yaygın temas yoludur. Maddelerin taşınması, depolanması, solüsyonların hazırlanması, uygulama veya ekipman temizliği sırasında cilde bulaşmasıyla meydana gelir. Cilt, özellikle yağda çözünürlüğü yüksek olan bazı pestisitleri emebilir ve emilim oranı maddenin türüne, temas süresine ve maruz kalan bölgeye bağlıdır [31]. En savunmasız bölgeler; özellikle kişisel koruyucu ekipman bulunmadığında eller, ön kollar, yüz ve boyundur. Tekrarlanan dermal maruziyet kaşıntıya, dermatite, alerjik reaksiyonlara ve bazı durumlarda toksik maddelerin sistemik emilimine yol açabilir [32]. Bu nedenle eldiven, tulum ve diğer koruyucu ekipmanların kullanımını riski azaltmak için esastır.

### ◆ Solunum Yoluyla

Solunum yoluyla maruz kalma, özellikle rüzgarlı koşullarda veya ince spreyler kullanıldığında, uygulama sırasında pestisit parçacıklarının veya buharlarının solunmasıyla gerçekleşir. Bu maruz kalma yolu özellikle tehlikelidir çünkü solunan maddeler hızla akciğerlere ulaşabilir ve ardından kan dolaşımına girebilir [33]. Solunum yoluyla maruz kalma belirtileri arasında solunum yolu tahrişi, öksürük, nefes alma zorlukları, baş dönmesi ve ciddi vakalarda sinir sistemi hasarı yer alabilir. Uygun filtrelelere sahip koruyucu maskelerin kullanılması, hava koşullarına uyum sağlanması ve kapalı alanlarda ilaçlama yapmaktan kaçınılması, bu tür maruziyeti önlemek için temel önlemlerdir [34].

### ◆ Ağız Yoluyla

Ağız yoluyla maruz kalma, esas olarak pestisit kalıntıları ile kirlenmiş yiyecek veya suyun yutulmasıyla meydana gelir. Ayrıca, kontamine olmuş ellerle yiyecek tüketilmesi veya pestisitlerin gıda için tasarlanmış kaplarda uygunsuz şekilde saklanması yoluyla kazara da gerçekleşebilir [35]. Tekrar tekrar yutulan küçük dozlar bile, özellikle çocuklar ve diğer savunmasız gruplar üzerinde kronik sağlık etkilerine sahip olabilir. Bu nedenle, maksimum kalıntı limitlerine (MRL'ler) uyulması, gıdaların uygun şekilde yıkanması ve bitki koruma ürünlerinin güvenli bir şekilde depolanması, tüketiciyi korumak için temel önlemlerdir [36].

Maruz kalma yollarını değerlendirmenin önemi: Maruz kalma yollarını değerlendirmek, yüksek riskli durumların belirlenmesine ve uygun önleyici tedbirlerin uygulanmasına olanak tanır. Tarım operatörleri için hem deri hem de solunum yoluyla gerçekleşen birleşik maruziyet en sık rastlanırken, genel popülasyon için gıda yoluyla ağızdan maruz kalma temel endişe kaynağıdır [37]. Avrupa ve ulusal düzenlemeler, tam da bu maruz kalma biçimlerini sınırlamak için kullanıcı eğitimi, koruyucu ekipman kullanımı ve bekleme sürelerine uyum konusunda katı gereklilikler getirmektedir [38]. Ek olarak, kalıntı izleme ve risk değerlendirmeleri halk sağlığının korunmasında yüksek bir seviyenin sürdürülmesine yardımcı olur.

Sonuç olarak, pestisitlere maruz kalma cilt, solunum ve ağız yoluyla gerçekleşebilir. Bu yolların her biri, iyi uygulamaları takip ederek, koruyucu ekipman kullanarak ve mevcut düzenlemeleri sıkı bir şekilde uygulayarak önemli ölçüde azaltılabilecek riskler sunar.

### 2.3. Hedef Dışı Organizmalar Üzerindeki Etkiler

Pestisitler, tarımsal mahsullere zarar veren organizmalarla mücadele etmek için tasarlanmıştır, ancak kullanımları hedef dışı organizmalar üzerinde de önemli etkilere sahip olabilir. Bunlar arasında tozlayıcılar, sucul organizmalar, toprak mikroorganizmaları, kuşlar, memeliler ve doğal ekosistemlerin diğer bileşenleri yer alır. Bu organizmalar üzerindeki etki;

biyoçeşitliliği, ekosistem işleyişini ve tarım ile çevre için temel olan ekosistem hizmetlerini etkileyebilir [39].

- **Tozlayıcılar Üzerindeki Etkiler:**

Arılar başta olmak üzere tozlayıcı böcekler, bazı insektisitlere karşı aşırı derecede duyarlıdır. Maruz kalma; ilaçlanmış bitkilerle doğrudan temas, kontamine olmuş nektar ve polenlerin tüketilmesi veya ilaç sürüklenmesi yoluyla gerçekleşebilir. Öldürücü olmayan (subletal) dozlar bile arıların yön bulma, uçuş yeteneği, beslenme davranışı ve bağışıklık sistemini etkileyebilir [40]. Birçok mahsulün verim için tozlaşmaya bağımlı olması nedeniyle, tozlaştırıcı popülasyonlarının azalması tarımsal üretim için ciddi sonuçlar doğurabilir.

- **Sucul Organizmalar Üzerindeki Etkiler:**

Pestisitler; yüzey akışı, toprak yıkanması veya ilaç sürüklenmesi yoluyla yüzeysel sularına karışabilir. Sucul ortamda balıkları, amfibileri ve omurgasızları etkileyerek ölümlere, üreme bozukluklarına ve davranış değişikliklerine neden olabilirler [41]. Düşük konsantrasyonlar bile besin zincirlerini bozabilir ve sucul ekosistemlerin biyoçeşitliliğini azaltabilir.

- **Toprak ve Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkiler:**

Toprak; besin döngülerine ve verimliliğin korunmasına katkıda bulunan bakteriler, mantarlar ve omurgasızlar gibi çok çeşitli organizmalar içerir. Pestisitler; mikrobiyal toplulukların yapısını değiştirerek biyolojik aktiviteyi ve toprağın tarımsal üretimi destekleme kapasitesini azaltabilir [42]. Zamanla bu etkiler toprak bozulmasına ve verim düşüşüne yol açabilir.

- **Karasal Fauna Üzerindeki Etkiler:**

Kuşlar ve memeliler, kontamine olmuş yiyecek veya suyun yutulması ya da ilaçlanmış yüzeylerle doğrudan temas yoluyla pestisitlere maruz kalabilirler. Bazı maddeler akut zehirlenmeye neden olabilirken, diğerleri hormonal bozukluklar, üreme sorunları veya sinir sistemi hasarı gibi kronik etkilere yol açabilir [43]. Bir besin kaynağı olarak böceklerin azalması, böcekçil türleri de dolaylı olarak etkiler.

- **Biyobirikim ve Dolaylı Etkiler:**

Bazı pestisitler çevrede kalıcı olabilir ve canlı organizmalarda birikebilir. Besin zincirleri yoluyla bu maddeler, avcılar ve dolaylı olarak insanlar da dahil olmak üzere besin zincirinin en üstündeki organizmalarda yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir [44]. Biyobirikim, ekolojik riskleri artırır ve maddelerin ruhsatlandırılmasından önce sıkı bir değerlendirmeye tabi tutulmasını haklı çıkarır.

### **Etkiyi Azaltmaya Yönelik Önlemler:**

Avrupa mevzuatı, belirli maddelerin kullanımına kısıtlamalar getirmekte, yüzeysel suların çevresinde tampon bölgeler oluşturmakta ve hedef dışı organizmaları korumak için özel uygulama koşulları öngörmektedir. Entegre Zararlı Yönetimi'nin (IPM) ve alternatif yöntemlerin kullanımının teşvik edilmesi, çevre üzerindeki kimyasal baskının azaltılmasına yardımcı olur [45].

Sonuç olarak; pestisitler mahsul koruma için gerekli olsa da, hedef dışı organizmalar üzerinde önemli etkilere sahip olabilirler. Biyoçeşitliliğin korunması; titiz bilimsel değerlendirmelere dayalı sorumlu kullanımı, mevzuata uyumu ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesini gerektirir.

### **2.4. Kalıcılık, Hareketlilik ve Biyobirikim**

Kalıcılık, hareketlilik ve biyobirikim; pestisitlerin çevredeki davranışlarını belirleyen ve ekotoksikolojik risklerini etkileyen üç temel özelliktir. Bu özelliklerin anlaşılması, pestisitlerin ekosistemler üzerindeki etkisini değerlendirmek ve çevreyi ile insan sağlığını korumaya yönelik önlemler oluşturmak için temel teşkil eder.

#### **➤ Pestisitlerin Çevredeki Kalıcılığı**

Kalıcılık, bir maddenin uygulamadan sonra uzun bir süre boyunca çevrede aktif kalma yeteneğini ifade eder. Bazı pestisitler fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçlerle hızla parçalanırken, diğerleri toprakta, suda veya tortularda aylarca, hatta yıllarca kalabilir [46]. Yüksek kalıcılık, hedef dışı organizmaların maruz kalma riskini artırır ve maddelerin ekosistemlerde birikmesini neden olur.

Kalıcılığı etkileyen faktörler arasında aktif maddenin kimyasal yapısı, iklim koşulları, toprak tipi, mikrobiyolojik aktivite ve ortamın pH değeri yer alır. Düşük sıcaklıklar ve azalmış mikrobiyal aktivite, pestisitlerin parçalanmasını yavaşlatabilir ve çevredeki ömürlerini uzatabilir [47].

#### **➤ Pestisit Taşınımı**

Taşınım, pestisitlerin uygulama alanından yüzey suları, yeraltı suları veya hava gibi diğer çevresel bölmelere hareket etme yeteneğini tanımlar. Pestisitler süzülme, yüzey akışı, erozyon veya ilaç sürüklenmesi yoluyla taşınabilir [48].

Sudaki çözünürlüğü yüksek ve toprak parçacıklarına ilgisi düşük olan maddeler, yeraltı suyu kirliliği açısından daha yüksek bir risk taşır. Buna karşılık, toprağa güçlü bir şekilde bağlanan pestisitler, erozyon yoluyla sulara taşınabilir [49]. Yüksek taşınım, içme suyu kaynaklarının kirlenme olasılığını artırır ve sucul organizmaları etkiler.

### ➤ **Canlı Organizmalarda Biyobirikim**

Biyobirikim, bir kimyasal maddenin emilim hızı atılım hızını aştığında, canlı organizmaların dokularında birikmesi sürecidir. Yağda çözünen lipofilik pestisitler, yüksek biyobirikim potansiyeline sahiptir [50].

Besin zincirleri yoluyla bu maddeler biyolojik birikime (biyomagnifikasyon) uğrayabilir; yani yırtıcı kuşlar veya etçil memeliler gibi daha yüksek seviyelerdeki organizmalarda giderek artan konsantrasyonlara ulaşabilirler [51]. Bu fenomen; üreme bozuklukları, sinir sistemi hasarı ve artan ölüm oranları dahil olmak üzere ciddi toksik etkilere neden olabilir.

#### **Ekolojik ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkiler**

Kalıcılık, taşınım ve biyobirikim, hedef dışı organizmaların maruz kalma süresini ve alanını artırdıkları için pestisitlerin ekolojik risklerini büyütür. Toprak ve su kirliliği biyoçeşitliliği etkileyebilirken, biyobirikim flora ve fauna üzerinde uzun vadeli sonuçlar doğurabilir [52].

İnsan sağlığı açısından bu özellikler, kontamine olmuş gıdaların veya kirlenmiş suyun tüketilmesi yoluyla kronik maruz kalma riskini artırır. Düşük konsantrasyonlar bile, özellikle kalıcı maddeler söz konusu olduğunda kümülatif etkilere sahip olabilir [53].

#### **Kontrol ve Düzenleyici Önlemler**

Avrupa mevzuatı, kalıcılık, taşınım ve biyobirikim potansiyelinin değerlendirilmesi de dahil olmak üzere pestisitlerin ruhsatlandırılması için katı kriterler getirmektedir. Yüksek risk taşıyan maddeler kısıtlanabilir veya piyasadan çekilebilir. Hassas suları ve ekosistemleri korumak için tampon bölgeler, uygulama kısıtlamaları ve özel koşullar da belirlenmiştir [54].

Sürdürülebilir tarım uygulamalarının ve Entegre Zararlı Yönetimi'nin (IPM) teşvik edilmesi de kalıcı maddelere olan bağımlılığın azaltılmasına ve çevresel etkinin sınırlandırılmasına katkıda bulunur [55].

Sonuç olarak; kalıcılık, taşınım ve biyobirikim, pestisitlerin çevredeki davranışlarını ve kullanımlarıyla ilişkili risk düzeyini belirleyen temel faktörlerdir. Bu özelliklerin titizlikle değerlendirilmesi ve kontrol önlemlerinin uygulanması, ekosistemlerin ve insan sağlığının korunması için esastır.

### **2.5. İnsanlar ve Çevre İçin Risk Değerlendirmesi**

Risk değerlendirmesi, pestisit kullanım yönetiminin merkezi bir unsurudur ve insan sağlığı ile çevreyi korumayı amaçlar. Bu bilimsel süreç; bitki korumada kullanılan kimyasal maddelere maruz kalınmasıyla ilişkili potansiyel olumsuz etkilerin tanımlanmasına, karakterize edilmesine ve miktarının belirlenmesine olanak tanır. Risk değerlendirmesi; tehlikelerin analizi, maruz kalma seviyeleri ve doz-tepki ilişkisine dayanmaktadır [56]

### ◆ Risk Değerlendirmesinin Aşamaları

Risk değerlendirme süreci birkaç temel adımdan oluşur. İlk adım, aktif maddenin akut, kronik, kanserojen, mutajenik veya endokrin etkileri dahil olmak üzere toksik özelliklerinin analiz edilmesini içeren tehlike tanımlamasıdır [57]. Bunu, kabul edilebilir günlük alım miktarı (ADI) ve akut referans doz (ARfD) gibi toksikolojik referans değerlerini belirleyen tehlike karakterizasyonu izler.

Üçüncü aşama, farklı popülasyon gruplarının (operatörler, tüketiciler, bölge sakinleri) maruz kalabileceği madde miktarını tahmin eden maruz kalma değerlendirmesidir. Bu aşamada maruz kalma yolları, temas sıklığı ve maruz kalma süresi dikkate alınır [58]. Son olarak risk karakterizasyonu, riskin kabul edilebilir olup olmadığını veya risk azaltma önlemleri gerektirip gerektirmediğini belirlemek için tehlike ve maruz kalma bilgilerini birleştirir.

### ◆ İnsan Sağlığı İçin Risk Değerlendirmesi

İnsan sağlığı için risk değerlendirmesi; hem pestisit kullanıcılarının mesleki maruziyetini hem de genel popülasyonun gıda, su ve hava yoluyla maruz kalmasını ele alır. Tarım operatörleri, hazırlama ve uygulama sırasında konsantre ürünlerle doğrudan temas edebildikleri için en fazla maruz kalan grup olarak kabul edilir [59].

Tüketiciler için risk, esas olarak gıdalardaki kalıntılar üzerinden değerlendirilir. Kalıntı seviyelerinin Maksimum Kalıntı Limitlerinin (MRL) altında olup olmadığı ve kümülatif maruziyetin toksikolojik referans değerlerini aşıp aşmadığı kontrol edilir [60]. Çocuklar, hamileler ve yaşlılar; özel dikkat gerektiren hassas gruplardır.

### ◆ Çevresel Risk Değerlendirmesi

Çevresel risk değerlendirmesi; tozlaştırıcılar (polinatörler), sucul organizmalar, kuşlar ve toprak mikroorganizmaları dahil olmak üzere pestisitlerin hedef dışı organizmalar üzerindeki etkisini analiz eder. Maddelerin kalıcılığı, çevredeki taşınımı ve biyobirikim potansiyelleri dikkate alınır [61].

Değerlendirme modelleri; toprak, su ve havadaki pestisit konsantrasyonlarını tahmin ederek bunları farklı türler için belirlenmiş toksisite eşikleriyle karşılaştırır. Risklerin kabul edilemez olduğu düşünülürse, kullanım kısıtlamaları getirilebilir veya ruhsatlar geri çekilebilir [62].

### ◆ Risk Yönetimi

Risk yönetimi, maruz kalma ve olumsuz etkileri azaltmaya yönelik önlemlerin alınmasını içerir. Bunlar arasında dozların sınırlandırılması, tampon bölgelerin oluşturulması, koruyucu ekipman kullanılması, belirli dönemlerde uygulamaların kısıtlanması ve IPM'nin teşvik edilmesi sayılabilir [63].

Ayrıca, yeni bilimsel verileri dahil etmek ve koruma önlemlerini buna göre uyarlamak için aktif maddelerin periyodik olarak yeniden değerlendirilmesi de önemlidir [64].

#### ◆ Risk Değerlendirmesinin Önemi

Risk değerlendirmesi, halk sağlığının korunmasına, çevrenin korunmasına ve tüketicilerin gıda güvenliğine olan güveninin sürdürülmesine katkıda bulunur. Sıkı ve şeffaf bir değerlendirme yoluyla, yetkililer pestisitlerin ruhsatlandırılması ve kullanımı konusunda bilinçli kararlar alabilirler [65].

Sonuç olarak, insanlar ve çevre için risk değerlendirmesi, pestisitlerin sorumlu ve sürdürülebilir kullanımını sağlayan karmaşık ancak vazgeçilmez bir süreçtir. Modern tarımın faydalarını, sağlığı ve ekosistemleri koruma ihtiyacıyla dengelemeye olanak tanır.

### 3. Aktif maddeler, Formülasyonlar, Pestisitlerin Yönetimi ve Uygulanması

#### 3.1. Aktif Madde ve Formüle Edilmiş Ürün

Bitki koruma alanında, *aktif madde (etkin madde)* ile *formüle edilmiş ürün (ticari ürün)* arasında net bir ayrım yapmak çok önemlidir. Bu ayrım; tedavilerin etkinliği, kullanıcı güvenliği, çevresel etki ve bitki sağlığı mevzuatına uyum üzerinde doğrudan etkilere sahiptir.

Aktif madde, pestisit hedef organizma (yabancı otlar, böcekler, mantarlar vb.) üzerindeki etkisinden sorumlu olan kimyasal veya biyolojik bileşendir. Ürünün etki mekanizmasını, toksisitesini ve kontrol spektrumunu belirleyen asıl unsurdur. Glifosat (herbisit), tebuconazole (fungisit) ve deltamethrin (insektisit) aktif maddelere örnektir. Aktif maddeler, insan sağlığı ve çevre üzerindeki risklere yönelik titiz bilimsel değerlendirmeler sonucunda Avrupa Birliği düzeyinde onaylanır [66].

Bitki Koruma Ürünü (BKÜ) olarak bilinen formüle edilmiş ürün, aktif maddenin kullanıcılara sunulduğu ticari formdur. Aktif maddeye ek olarak; ürünün stabilitesini, etkinliğini, uygulanabilirliğini ve güvenliğini artırmaya yarayan bir dizi yardımcı bileşen (çözücüler, dağıtıcılar, emülgatörler, stabilizatörler, adjuvanlar) içerir [67].

Bu yardımcı bileşenlerin (ko-formülasyonların) kendilerinin bir pestisit etkisi yoktur; ancak aktif maddenin bitkiye nasıl ulaştığını, nasıl emildiğini ve biyolojik etkisini nasıl gösterdiğini doğrudan etkilerler. Örneğin, dağıtıcı maddeler maddenin suda çözünmesini kolaylaştırırken, adjuvanlar (yardımcı maddeler) solüsyonun yaprak yüzeylerine yapışma özelliğini artırabilir [68].

Temel bir husus şudur ki; tarımda yasal olarak sadece ruhsatlı formüle edilmiş ürünler kullanılabilir. Çiftçilerin aktif maddeleri saf halleriyle kullanmalarına veya ev yapımı karışımlar hazırlamalarına izin verilmez. Her bir formüle edilmiş ürün; risk değerlendirmelerinin ardından belirlenen belirli ürünler, dozlar, uygulama zamanları ve özel koşullar için ruhsatlandırılmıştır [69].

Aktif madde ile formüle edilmiş ürün arasındaki farklar risk değerlendirmesine de yansır. Aktif maddenin toksisitesi ayrı olarak analiz edilir ancak nihai ürün bir bütün olarak test edilir; çünkü yardımcı bileşenler emilimi ve maruz kalan organizmalar üzerindeki etkileri değiştirebilir. Bazı formülasyonlar, aynı aktif maddeyi içermelerine rağmen diğerlerinden daha tahriş edici olabilir veya daha kolay solunabilir [70].

Ek olarak, aynı aktif madde farklı formülasyonlara sahip (örneğin SC, WG, OD, EW) birkaç ticari üründe bulunabilir. Doğru formülasyonun seçilmesi sadece uygulamanın etkinliğini değil, aynı zamanda operatörün maruz kalma riskini ve çevre üzerindeki etkisini de doğrudan etkiler [71].

Yasal perspektiften bakıldığında; aktif maddeler Avrupa düzeyinde onaylanırken, formüle edilmiş ürünler yerel kullanım koşullarına bağlı olarak ulusal düzeyde ruhsatlandırılır. Romanya'da, Bitki Koruma Ürünlerinin değerlendirilmesi ve ruhsatlandırılmasından Ulusal Bitki Sağlığı Kurumu (ANF) sorumludur [72].

Aktif madde ile formüle edilmiş ürün arasındaki farkı anlamak, pestisitlerin doğru kullanımı için esastır. Çiftçiler, uygulama etkinliğini sağlamak, sağlığı ve çevreyi korumak için ürün etiketine danışmalı, önerilen dozlara uymalı ve yalnızca onaylı ürünleri kullanmalıdır.

Sonuç olarak; aktif madde pestisitinin biyolojik etkisini belirlerken, formüle edilmiş ürün pratik kullanım için güvenli ve ruhsatlı formu temsil eder. Bu ayrım, bitki koruma ürünlerinin sorumlu ve yasalara uygun uygulanması için temel teşkil eder.

### **3.2. Hedef Organizmaya Göre Pestisitlerin Sınıflandırılması**

Pestisitler, etki ettikleri hedef organizma türüne göre sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma; uygun bitki koruma ürününün seçilmesi, uygulamaların etkinliğinin sağlanması ve hedef dışı organizmalar ile çevre üzerindeki etkinin sınırlandırılması açısından temel önem taşır. Tarımsal uygulamalarda ana kategoriler şunlardır: herbisitler, fungusitler, insektisitler, akarisitler, nematisitler ve rodentisitler [73].

#### **● Herbisitler**

Herbisitler, su, besin maddeleri ve ışık için kültür bitkileriyle rekabet eden yabancı otları kontrol etmek amacıyla kullanılır. Bunlar; sadece belirli yabancı ot türlerini etkileyen selektif (seçici) veya tüm yeşil bitkileri yok eden total (topyekün) herbisitler olabilir. Herbisitler,

yabancı otların biyolojisine ve korunan ürüne bağlı olarak çıkış öncesi (pre-emergence) veya çıkış sonrası (post-emergence) uygulanabilir [74].

Yabancı otlar, üretim kayıplarının ana kaynaklarından birisidir ve herbisit kullanımı verimin artırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunur. Ancak, yanlış uygulama, kültür bitkilerinde fitotoksiteye (bitki zehirlenmesine) ve aktif maddelere karşı direnç gelişimine yol açabilir [75].

### ● **Fungisitler**

Fungisitler; külleme, pas, mildiyö veya çürüklük gibi fitopatojenik mantarların neden olduğu hastalıkları kontrol etmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu maddeler; enfeksiyonları önleyerek veya halihazırda yerleşmiş patojenlerin gelişimini durdurarak kontakt (temas etkili), sistemik veya translaminar (yaprak bir yüzünden diğerine geçen) şekilde etki gösterebilirler [76].

Mantar hastalıkları, hem gıda miktarını hem de gıda güvenliğini etkileyerek ürün verimini ve kalitesini büyük ölçüde düşürebilir. Fungisit kullanımı birçok üretim sistemi için esastır; ancak uygulama etkinliğinin kaybolmasını önlemek amacıyla mutlaka direnç yönetimi programları çerçevesinde yürütülmelidir [77].

### ● **İnsektisitler**

İnsektisitler; beslenerek doğrudan veya hastalık bulaştırarak dolaylı yoldan ürünlere zarar verebilen zararlı böcekleri kontrol etmek için kullanılır. Bu ürünler; temas (kontakt), mide (sindirim) veya sistemik etkilere sahip olabilir ve böceklerin sinir sistemi, sindirim sistemi veya gelişim süreçleri üzerinde etkili olabilir [78].

İnsektisitler ürünlerin korunmasına yardımcı olsa da tozlayıcılar (polinatörler) ve zararlıların doğal avcıları gibi yararlı böcekleri de etkileyebilirler. Bu nedenle, kullanımları dikkatle planlanmalı ve sürdürülebilir koruma stratejilerine entegre edilmelidir [79].

### ● **Akarisitler, nematisitler, and rodenticides**

Akarisitler, bahçecilik ve süs bitkisi ürünlerinde önemli hasarlara neden olabilen akarları (miteları) kontrol etmek için kullanılır. Nematisitler ise bitki kök sistemini etkileyen ve besin alımını azaltan fitopatojenik nematodları (kök kurtlarını) hedef alır [80].

Rodentisitler, depolama tesislerinde, tarlalarda ve tarımsal altyapıda hasara yol açabilen kemirgenleri kontrol etmeyi amaçlar. Hedef dışı yaban hayatı ve insan sağlığına yönelik riskler nedeniyle, bu ürünlerin kullanımı sıkı bir şekilde düzenlenmiştir [81].

### **Hedef Organizmaya Göre Sınıflandırmanın Önemi**

Pestisitlerin hedef organizmaya göre sınıflandırılması, çiftçilerin tespit edilen bitki sağlığı sorununa göre en uygun ürünü seçmelerine olanak tanır. Uygun olmayan bir ürün kullanmak

sadece etkisiz olmakla kalmaz; aynı zamanda kirlilik riskini, gereksiz maruziyeti ve direnç gelişimini de artırabilir [82].

Ayrıca bu sınıflandırma; mevzuatlarda, eğitim programlarında ve risk değerlendirmelerinde kullanılarak pestisitlerin akılcı ve sorumlu kullanımına katkıda bulunur [83].

Sonuç olarak; pestisitler, uygulamaların etkinliğini sağlamak ve çevreyi korumak amacıyla hedef organizmaya göre sınıflandırılır. Herbisitler, fungusitler, insektisitler ve diğer kategoriler ürün korumada önemli bir rol oynar; ancak bunların kullanımı gerekçelendirilmiş, sorumlu ve sürdürülebilir bir yönetim sistemine entegre edilmiş olmalıdır.

### **3.3. Pestisitlerin Etki Mekanizmaları: Kontakt, Sistemik ve Translaminar**

Bir pestisitinin etki mekanizması; aktif maddenin hedef organizmaya nasıl girdiğini, bitki içinde nasıl dağıldığını ve istenen biyolojik etkiyi nasıl ürettiğini tanımlar. Bu mekanizmalara dayanarak pestisitler temel olarak kontakt (temas etkili), sistemik veya translaminar ürünler olarak sınıflandırılır. Bu etki mekanizmalarını anlamak; uygun ürünün seçilmesi, uygulamanın etkinliğinin sağlanması ve çevre ile hedef dışı organizmalara yönelik risklerin azaltılması açısından esastır [84].

#### **■ Temas Etkili Pestisitler**

Temas (Kontakt) Etkili Pestisitler, etkilerini yalnızca solüsyonun hedef organizma ile doğrudan temas ettiği bölgelerde gösterirler. Bitkinin içine nüfuz etmezler ve iletim sistemi (vasküler sistem) yoluyla taşınmazlar. Etkinlikleri büyük ölçüde, uygulama koşullarına ve uygulama yapılan yüzeyin üniform (tekdüze/eşit) şekilde kaplanmasına bağlıdır [85].

Bu tür ürünler, bitki yüzeyinde bulunan böcekleri ve mantar hastalıklarını kontrol etmek için yaygın olarak kullanılır. En büyük avantajları, hızlı etki göstermeleri ve bitki dokularında birikme riskinin daha düşük olmasıdır. Bununla birlikte, temas etkili pestisitler yağmurla kolayca yıkanabilirler ve etkinliklerini sürdürebilmek için tekrarlanan uygulamalar gerektirirler [86].

Güvenlik açısından bakıldığında; temas etkili pestisitler, madde yüzeyde kaldığı, ciltle temas edebileceği veya aerosol (havadaki zerrecik) olarak solunabileceği için uygulama sırasında operatörler için artan bir risk oluşturabilir [87].

#### **■ Sistemik Pestisitler**

Sistemik pestisitler, bitki tarafından emilir ve iletim demetleri (ksilem ve floem) aracılığıyla bitkinin farklı kısımlarına taşınır. Bu sayede, sprey solüsyonu ile doğrudan kaplanmamış olan bölgeleri bile koruyabilirler. Bu etki şekli, özellikle bitki dokularının içinde gelişen zararlılar ve hastalıklarla mücadelede son derece yararlıdır [88].

Sistemik pestisitlerin en büyük avantajı, yüksek etkinlikleri ve daha uzun süreli koruma sağlamalarıdır. Ancak bu maddeler, bitkinin yenilebilir kısımlarına da ulaşabilir; bu durum, maksimum kalıntı limitlerinin aşılmasını önlemek için hasat öncesi bekleme süresine (PHI) kesinlikle uyulmasını gerektirir [89]. Çevresel açıdan bakıldığında ise sistemik pestisitler, nektar veya polende bulunmaları durumunda tozlayıcılar (polinatörler) dahil olmak üzere hedef dışı organizmalar üzerinde etki yaratabilirler [90].

#### ■ **Translaminar Pestisitler**

Translaminar pestisitler, bitkinin tamamına taşınmaksızın yaprak dokusuna nüfuz eder ve yaprağın bir yüzünden diğerine geçerler. Bu etki şekli, doğrudan ilaçlamanın zor olduğu yaprak alt yüzeylerinde gelişen patojenlerin veya böceklerin kontrolünde oldukça yararlıdır [91].

Translaminar ürünler, kontakt ve sistemik pestisitlerin bazı avantajlarını bir araya getirir. Sadece kontakt etkili ürünlere göre daha iyi bir koruma sağlarlar, ancak sistemik pestisitlerle karşılaştırıldığında bitki sisteminin genelinde birikme riskleri daha düşüktür [92].

#### **Etki Mekanizması Seçiminin Önemi**

Doğru etki mekanizmasının seçilmesi, bitki koruma uygulamalarının etkinliği için esastır. Çiftçiler; zararlı türüne, ürünün gelişim aşamasına ve çevresel koşullara bağlı olarak kontakt, sistemik veya translaminar ürünler arasından seçim yapabilirler [93].

Ayrıca, farklı etki mekanizmalarına sahip ürünlerin münavebeli (dönüşümlü) olarak kullanılması, direnç gelişimini önlemeye yardımcı olur. Aynı mekanizmaya sahip pestisitlerin tekrar tekrar kullanılması, dirençli popülasyonların seçilmesini tetikleyerek uygulamaların etkinliğini azaltabilir [94].

#### **Güvenlik ve Çevre Üzerindeki Etkileri**

Etki mekanizması, pestisit kullanımıyla ilişkili riskleri de etkiler. Sistemik ürünler gıdalarda kalıntı oluşturabilirken, kontakt ürünler operatörün maruziyetini artırabilir. Bu nedenle, etiket üzerindeki talimatlara uyulması, koruyucu ekipman kullanılması ve iyi tarım uygulamalarının hayata geçirilmesi zorunludur [95].

Sonuç olarak; pestisitler kontakt, sistemik veya translaminar yollarla etki edebilir ve her bir yöntemin kendine özgü avantajları ile sınırlamaları vardır. Bu mekanizmaları anlamak; bitki koruma ürünlerinin etkili ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayarak ürünlerin, insan sağlığının ve çevrenin korunmasına katkıda bulunur.

#### **3.4. Pestisit Direnç Yönetimi (HRAC, FRAC, IRAC)**

Pestisit direnci, modern tarımın karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan birini temsil eder. Bu durum, zararlı organizma popülasyonlarının, daha önce etkili olan bitki sağlığı uygulamalarından sağ çıkma yeteneği geliştirmesiyle ortaya çıkar. Bu fenomen, doğal seçilimin

bir sonucudur: Hayatta kalmayı destekleyen genetik mutasyonlara sahip bireyler, bu özelliklerini sonraki nesillere aktarır ve kullanılan ürünlerin etkinliğinin azalmasına yol açar [96].

Direnç; herbisitleri, fungusitleri ve insektisitleri etkileyerek yabancı otlarda, mantarlarda ve böceklerde görülebilir. Aynı etki mekanizmasına sahip maddelerin tekrar tekrar kullanılması, yanlış dozlar ve uygulama rotasyonu eksikliği bu süreci hızlandırır [97]. Sonuçlar ciddidir: Artan üretim maliyetleri, verim kayıpları ve daha agresif veya daha pahalı ürünler kullanma ihtiyacı.

Direnci önlemek ve yönetmek amacıyla, üç referans kuruluş tarafından koordine edilen uluslararası sınıflandırma sistemleri ve tavsiyeler geliştirilmiştir:

**HRAC** – Herbisit Direnç Aksiyon Komitesi (Yabancı ot ilaçları için)

**FRAC** – Fungisit Direnç Aksiyon Komitesi (Mantar ilaçları için)

**IRAC** – İnsektisit Direnç Aksiyon Komitesi (Böcek ilaçları için)

Bu kuruluşlar, aktif maddeleri etki mekanizmalarına göre sınıflandırır ve pestisitlerin akılcı kullanımı için rehber ilkeler sağlarlar [98].

#### ➤ **Herbisit Direnci (HRAC)**

Yabancı otlar söz konusu olduğunda; direnç, genellikle aynı herbisit aynı alanda üst üste yıllarca kullanıldığında ortaya çıkar. HRAC, herbisitleri numaralandırılmış gruplara ayırır ve her grup spesifik bir etki mekanizmasına karşılık gelir (örneğin; ALS inhibitörleri, ACCase inhibitörleri vb.) [99].

Direnci önlemek için farklı gruplardan herbisitlerin münavebeli (dönüşümlü) kullanılması, farklı mekanizmalara sahip maddelerin karışımlarının tercih edilmesi ve ürün münavebesi (ekim nöbeti) ile mekanik toprak işleme gibi agroteknik yöntemlerin sürece entegre edilmesi önerilmektedir [100].

#### ➤ **Fungisit Direnci (FRAC)**

Fungisitler, patojenlerin çok hızlı üreyebilmesi ve kısa sürede mutasyon geliştirebilmesi nedeniyle direnç oluşumuna karşı özellikle hassastır. FRAC, fungusitleri etki mekanizmalarına göre sınıflandırır (örneğin; mitokondriyal solunum inhibitörleri, sterol biyosentez inhibitörleri) [101].

Direnci sınırlandırmak için FRAC; fungusitlerin dönüşümlü kullanılmasını, çoklu etki alanına (multisite) sahip ürünlerin tercih edilmesini ve uygulamaların yalnızca hastalık riski gerekçelendirildiğinde yapılmasını önermektedir [102].

### ➤ **Insektisit Direnci (IRAC)**

Böcekler; sinir sistemlerindeki değişiklikler, maddelerin detoksifikasyonu (zehirsizleştirilmesi) veya ürünle temastan kaçınma yoluyla direnç geliştirebilirler. IRAC, insektisitleri böcekler üzerindeki etki mekanizmalarına göre gruplara ayırır (örneğin; sodyum kanalı modülatörleri, asetilkolinesteraz inhibitörleri) [103].

Yönetim stratejileri; insektisit rotasyonunu, ekonomik zarar eşiklerinin kullanılmasını ve doğal avcılarının kullanımı gibi biyolojik yöntemlerin entegrasyonunu içerir [104].

#### **Direnç Yönetiminin Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) ile Bütünleştirilmesi**

Direnç yönetimi, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) ilkeleriyle yakından ilişkilidir. IPM; kimyasal, biyolojik ve agroteknik yöntemlerin bir arada kullanılmasını teşvik ederek, pestisitlerin zararlı popülasyonları üzerinde uyguladığı seçim baskısını azaltır [105].

Çiftçiler, IPM (Entegre Zararlı Yönetimi) uygulayarak, çevreyi ve insan sağlığını korurken aynı zamanda pestisitlerin uzun vadeli etkinliğini de sürdürebilirler.

#### **HRAC, FRAC ve IRAC Tavsiyelerine Uyulmasının Önemi**

HRAC, FRAC ve IRAC tarafından geliştirilen kılavuzlar, pestisitlerin sorumlu kullanımına ilişkin temel bilgiler sağlar. Bu tavsiyelere uyulması, direnç gelişiminin önlenmesine, tedavilerin etkinliğinin korunmasına ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olur [106].

Sonuç olarak, direnç yönetimi, sürdürülebilir pestisit kullanımının temel bir bileşenidir. Aktif maddeleri dönüşümlü olarak kullanarak, etki şekillerini değiştirerek ve kimyasal olmayan yöntemleri entegre ederek, çiftçiler etkili bitki koruması ve tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlayabilirler.

#### **3.5. Pestisitlerin Ticari Formülasyonları: SC, EW, OD, WG, SG**

Ticari formülasyon, aktif maddenin kullanıcılara sunulduğu fiziksel-kimyasal formu temsil eder. Formülasyon seçimi, tedavinin biyolojik etkinliğini, operatör güvenliğini, çevresel etkiyi ve depolama ve uygulama sırasında ürün stabilitesini etkiler. Modern formülasyonlar, aktif maddenin dağılımını, bitkilere yapışmasını ve emilimini optimize ederken, maruz kalma risklerini ve çevresel kayıpları azaltmak için tasarlanmıştır [107].

Tarımsal uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan formülasyonlar süspansiyon konsantresi (SC), su içinde yağ emülsiyonları (EW), yağ dispersiyonları (OD), suda dağılıbilir granüller (WG) ve çözünür granüller (SG)dir.

#### **Süspansiyon Konsantresi (SC)**

**SC (Süspansiyon Konsantresi)** formülasyonları, genellikle su gibi bir sıvı içinde dağılmış çok ince aktif madde katı parçacıkları içerir. Bu formülasyonlar organik çözücüler

içermez, bu da onları geleneksel çözücü bazlı formülasyonlara kıyasla kullanıcılar için daha güvenli ve çevre için daha az tehlikeli hale getirir [108]. SC'nin avantajları arasında iyi stabilite, kolay kullanım ve düşük yanıcılık riski sayılabilir. Ancak, homojen bir süspansiyon sağlamak ve partiküllerin çökmesini önlemek için sürekli çalkalanmaları gerekir [109].

- **Suda Yağ Emülsiyonu (EW)**

**EW (Suda Yağ Emülsiyonu)** formülasyonları, emülgatörler kullanılarak bir sulu fazda dağılmış ince yağ damlacıklarından oluşur. Agresif organik çözücülere başvurmadan yağda çözünen aktif maddelerin kullanımına olanak tanırırlar [110].

EW formülasyonları, yaprak yüzeyine iyi yapışma ve aktif maddenin eşit dağılımını sağlar. Ayrıca, klasik emülsifiye edilebilir konsantrelerle karşılaştırıldığında operatör için daha düşük toksisite riski sunar [111].

- **Yağ Dispersiyonu (OD)**

**OD (Yağ Dispersiyonu)** formülasyonları, yağ fazında dağılmış aktif maddenin katı parçacıklarını içerir. Yağ, aktif maddenin bitki dokularına nüfuz etmesini kolaylaştırdığı için, bunlar çoğunlukla herbisitler ve insektisitler için kullanılır [112].

OD, katı ve sıvı formülasyonların avantajlarını bir araya getirir: iyi stabilite, yüksek verimlilik ve yapraklara daha iyi yapışma. Ancak, cilt tahrişi riski daha yüksek olabilir ve uygun koruyucu önlemler alınması gerekebilir [113].

- **Suda Dispersible Granüller (WG)**

**WG (Suda Dispersible Granüller)** formülasyonları, suda hızla parçalanarak bir süspansiyon oluşturan katı granüllerdir. Tozlara göre daha az toz ürettikleri ve operatörler için daha güvenli oldukları için tercih edilirler [114].

WG formülasyonları, hassas dozajlama, iyi stabilite ve kullanım kolaylığı sağlar. Parçacık soluma riskini azaltır ve daha çevre dostudur [115].

- **Çözünür Granüller (SG)**

**SG (Çözünür Granüller)** formülasyonları, suda tamamen çözünerek gerçek bir çözelti oluşturan granüllerdir. Aktif maddenin eşit dağılımını sağlarlar ve sürekli karıştırma gerektirmezler [116].

SG formülasyonları kullanımı kolaydır, düşük toz riski taşır ve hassas uygulama sağlar. Ancak, tüm aktif maddeler bu formda formüle edilemez [117].

### **Doğru formülasyonu seçmenin önemi**

Uygun formülasyonun seçimi, mahsulün türüne, hedef organizmaya, hava koşullarına, uygulama ekipmanına ve güvenlik gerekliliklerine bağlıdır. Modern formülasyonlar,

sürüklenmeyi, ürün kayıplarını ve operatörün maruz kalmasını azaltmak için tasarlanmıştır [118].

Ayrıca, fizikokimyasal özellikler ürün kullanımıyla ilişkili riskleri etkilediği için, mevzuat her formülasyonun ayrı ayrı onaylanmasını gerektirmektedir [119].

Sonuç olarak, ticari SC, EW, OD, WG ve SG formülasyonları, pestisit kullanımının etkinliği ve güvenliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Her formülasyonun özelliklerini anlamak, çiftçilerin en uygun ürünü seçmelerine, riskleri azaltmalarına ve çevreyi ve insan sağlığını korumalarına olanak tanır.

### 3.6. Uyumluluklar, Uyumsuzluklar ve Fitotoksisite

Pestisit uyumluluğu, farklı bitki koruma ürünlerinin, etkinliklerini kaybetmeden, istenmeyen kimyasal reaksiyonlara yol açmadan veya tedavi edilen mahsuller üzerinde olumsuz etkiler yaratmadan karıştırılabilme ve aynı anda uygulanabilme yeteneğini ifade eder. Modern tarım uygulamalarında, bitki koruma ürünlerinin karışımlarının kullanımı yaygındır, çünkü bu, tarlada yapılan geçiş sayısını, işletme maliyetlerini ve işçilik süresini azaltır. Ancak, bu karışımlar dikkatle hazırlanmalıdır, çünkü fiziksel, kimyasal veya biyolojik uyumsuzluklar ortaya çıkabilir ve bu da tedavinin etkinliğini ve mahsullerin güvenliğini tehlikeye atabilir [120].

- **Fiziksel Uyumluluk**, püskürtücü tankındaki karışımın stabilitesini ifade eder. Fiziksel olarak uyumlu ürünler, faz ayrışması, çökelme veya aşırı köpürme olmadan homojen bir çözelti oluşturur. Fiziksel uyumsuzluk durumunda, katı birikintiler, topaklanmalar veya aşırı köpürme meydana gelebilir ve bu da nozul tıkanmasına, çözeltinin dengesiz dağılımına ve bitki sağlığı tedavisinin etkinliğinin azalmasına neden olabilir [121].
- **Kimyasal Uyumluluk**, aktif maddeler arasında veya aktif maddeler ile yardımcı maddeler arasında kimyasal reaksiyonların olmaması anlamına gelir. Bazı kombinasyonlar, aktif maddelerin bozulmasına, çözeltinin pH değerinde değişikliklere veya kararsız bileşiklerin oluşumuna neden olarak, uygulanan pestisitlerin etkinliğinin azalmasına yol açabilir [122].
- **Biyolojik Uyumluluk**, ürünlerin karışım halinde kullanıldığında biyolojik etkinliğinin korunmasını içerir. Bir karışım fiziksel ve kimyasal olarak stabil olsa bile, maddeler arasında antagonistik etkileşimler meydana gelebilir ve bu da haşere, hastalık veya yabancı ot kontrolünün etkinliğini azaltabilir [123].
- **Uyumsuzluklar**, süspansiyon konsantreleri, yağ emülsiyonları veya dağılıbilir granüller gibi farklı formülasyonlara sahip ürünleri içeren karışımlarda yaygındır, ancak yüksek sertlikte veya yüksek tuz içeriğine sahip su kullanıldığında da ortaya çıkabilir.

Su sıcaklığı ve ürünlerin tanka eklenme sırası da karışımın kararlılığını etkileyebilir [124]. Uyumsuzlukların sonuçları arasında tortu oluşumu, faz ayrışması veya aşırı köpürme sayılabilir ve bunlar uygulama kalitesini ve ekipman performansını etkiler [125].

Fitotoksisite, bitkilerin pestisit uygulamasına verdikleri olumsuz tepkiyi temsil eder ve yaprak yanıkları, renk değişikliği, yaprak deformasyonu, büyüme geriliği veya ciddi durumlarda bitkinin ölümü gibi semptomlarla kendini gösterir. Aşırı dozlar, elverişsiz sıcaklık veya nem koşullarında uygulama, mahsule uygun olmayan ürünlerin kullanımı veya uyumsuz karışımlar sonucu ortaya çıkabilir [126].

Fitotoksik etkiler sadece mahsullerin görsel görünümünü etkilemekle kalmaz, aynı zamanda verim ve mahsul kalitesinde önemli bir düşüşe de yol açabilir. Fitotoksisiteye duyarlılık, tür, çeşit, bitki gelişiminin aşaması ve çevre koşullarına bağlı olarak değişir ve bazı mahsuller diğerlerine göre çok daha hassastır [127].

Pestisit uyumluluğu ve fitotoksisite riski, ürün formülasyonunun türü, çözeltiyi hazırlamak için kullanılan suyun pH'ı, maddelerin tanka eklenme sırası, uygulama sırasındaki hava koşulları ve mahsulün fizyolojik durumu gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Teknik ve biyolojik sorunları önlemek için etiket üzerindeki talimatlara uymak ve uyumluluk kılavuzlarına başvurmak çok önemlidir [128].

Yeni bir karışım hazırlamadan önce, şeffaf bir kaptaki küçük ölçekli bir uyumluluk testi yapılması önerilir. Bu test, çökelme, faz ayrışması veya çözelti kıvamındaki değişiklikler gibi istenmeyen reaksiyonların gözlemlenmesini sağlar [129]. Bu basit yöntem, ekonomik kayıpları ve mahsul için riskleri önleyebilir.

Fitotoksisiteyi önlemek için önerilen dozlara sıkı sıkıya uyulması, ürünlerin en uygun zamanlarda uygulanması, aşırı sıcaklık koşullarında işlemlerden kaçınılması ve yalnızca belirli mahsuller için onaylanmış ürünlerin kullanılması gerekir. Bu önlemler bitkileri korumaya ve mahsullerin üretim potansiyelini korumaya yardımcı olur [130].

Pestisit uyumluluğu, tedavilerin daha verimli olmasını sağladığı ve maliyetleri düşürdüğü için modern tarımda önemli bir rol oynarken, fitotoksisitenin önlenmesi, mahsul sağlığının korunması ve yüksek kaliteli verim elde edilmesi için gereklidir [131].

Sonuç olarak, uygun uyumluluk yönetimi ve fitotoksisitenin önlenmesi, sorumlu pestisit kullanımının temel bileşenleridir. Teknik önerilere uyararak ve iyi tarım uygulamalarını uygulayarak, bitki sağlığı tedavilerinin etkinliği ve tarımsal mahsullerin korunması sağlanabilir.

### 3.7. Ürünlerin Dozajı ve Konsantrasyonu

Bitki koruma ürünlerinin doz ve konsantrasyonunun doğru belirlenmesi, kontrollü ve güvenli pestisit kullanımının temel unsurlarından biridir. Doz, birim alan başına uygulanan formüle edilmiş ürün veya aktif maddenin miktarını (kg/ha veya L/ha) ifade ederken, konsantrasyon belirli bir su hacminde çözünen ürünün oranını (örneğin, L/100 L) ifade eder. Her iki parametre de biyolojik etkinlik, toksikoloji ve risk değerlendirme çalışmaları sonucunda belirlenir ve ürün etiketinde zorunlu olarak belirtilir [132].

Onaylanan doza uyum, zararlı organizmalar üzerinde istenen etkiyi elde etmek ve mahsuller, operatörler, tüketiciler ve çevre için riskleri önlemek açısından çok önemlidir. Aşırı doz, yaprak yanıkları, vejetatif organların deformasyonu, verim düşüşü ve aşırı durumlarda mahsul kaybı şeklinde kendini gösteren fitotoksisiteye neden olabilir. Ayrıca, aşırı miktarda pestisit uygulamak, tarım ürünlerindeki kalıntı düzeyini artırır ve toprak ve yeraltı suyu kirliliği riskini artırır [133].

Öte yandan, yetersiz dozlama, tedavi etkinliğinin düşmesine, zararlıların hayatta kalmasına ve direnç gelişmesine yol açabilir. Yetersiz dozların tekrar tekrar kullanılması, dirençli popülasyonların seçimini hızlandırarak, aktif maddelerin uzun vadeli etkinliğini azaltır ve ek kimyasal müdahalelere olan ihtiyacı artırır [134].

Sprey çözeltisinin konsantrasyonu, kullanılan su hacmi ve hektar başına doz ile ilişkilendirilmelidir, böylece uygulanan toplam aktif madde miktarı onaylanmış değerlere karşılık gelir. Örneğin, aynı doz, konsantrasyonu uygun şekilde ayarlayarak farklı su hacimleri kullanılarak uygulanabilir. Uygun bir konsantrasyon seçmek, bitki yüzeyinin eşit şekilde kaplanmasına ve çözeltinin toprağa akmasını sınırlamaya yardımcı olur [135].

Bitki koruma ürününün etiketinde, izin verilen maksimum doz, uygulama sayısı, uygulamalar arasındaki aralık ve hasat öncesi bekleme süresi ile ilgili zorunlu bilgiler yer alır. Bu talimatlar bilimsel değerlendirmelerden kaynaklanır ve kesinlikle uygulanmalıdır. Etiket talimatlarına uymamak, mevzuat ihlali teşkil eder ve tarımsal sübvansiyonların kaybı da dahil olmak üzere idari cezalarla sonuçlanabilir [136].

Doz, mahsul yoğunluğu, büyüme aşaması, istila düzeyi ve iklim koşulları gibi tarımsal faktörlere göre de uyarlanmalıdır. Biyokütle miktarı düşük olan genç mahsullerde, yaprakların aşırı doyumunu önlemek için uygun dozların uygulanması önerilirken, yoğun mahsullerde tedavinin etkinliğini sağlamak için eşit bir kaplama gereklidir [137].

Formülasyon türü de aktif maddenin dağılımını etkiler. Süspansiyon konsantreleri veya emülsiyonlar gibi sıvı formülasyonlar eşit dağılım sağlarken, katı formülasyonlar, sprey çözeltilerinde konsantrasyon değişikliklerini önlemek için uygun şekilde çözülmelidir [138].

Sonuç olarak, bitki sağlığı ürünlerinin dozaj ve konsantrasyonunun belirlenmesi ve doğru bir şekilde uygulanması, tedavilerin etkinliği, direnç oluşumunun önlenmesi, çevrenin korunması ve gıda güvenliğinin sağlanması için temel koşullardır. Teknik ve yasal tavsiyelerin titizlikle uygulanması, modern tarımda pestisitlerin sorumlu kullanımına katkıda bulunur.

### **3.8. Karıştırma Oranı ve Su Hacmi**

Karıştırma oranı ve su hacmi, bitki koruma ürünlerinin uygulanmasında temel teknik parametrelerdir ve aktif maddenin dağılımının homojenliği, tedavinin biyolojik etkinliği, ürünlerdeki kalıntı seviyesi ve çevresel etki üzerinde belirleyici bir rol oynarlar. Bu parametreler, onaylanmış doz, mahsul türü, bitkinin gelişim aşaması ve uygulama için kullanılan ekipmanın özellikleri ile yakın bir korelasyon içinde doğru bir şekilde belirlenmelidir [139].

Karıştırma oranı, bitki koruma ürününün miktarı ile püskürtme çözeltilerini hazırlamak için kullanılan su hacmi arasındaki oranı ifade eder ve genellikle 100 litre su başına litre veya kilogram ürün şeklinde ifade edilir. Bu değer, birim alan başına uygulanan toplam ürün miktarını temsil eden hektar başına doz ile karıştırılmamalıdır. Karıştırma oranının amacı, kullanılan su hacmi ve püskürtme ekipmanının teknik performansı ile uyumlu, yeterli bir çözeltiler konsantrasyonu sağlamaktır [140].

Su hacmi, hektar başına uygulanan toplam çözeltiler miktarını ifade eder ve bitki yüzeyinin kaplanma oranını belirlemede kilit öneme sahiptir. Yetersiz hacim, aktif maddenin dengesiz dağılımına ve tedavi etkinliğinin azalmasına neden olabilirken, aşırı hacim toprak akışını, ürün kaybını ve yüzey ve yeraltı sularının kirlenme riskini artırır [141].

Geleneksel tarım uygulamalarında, su hacimleri mahsul türüne ve bitki örtüsünün yoğunluğuna göre değişir. Tarla bitkileri için genellikle 200 ila 400 L/ha arasında hacimler kullanılırken, meyve bahçeleri ve bağlar gibi çok yıllık bitkiler için hacimler, taç yapısına ve püskürtme ekipmanının türüne bağlı olarak 500-1000 L/ha'ya ulaşabilir. Seçilen su hacmi ne olursa olsun, hektar başına uygulanan ürün dozu sabit kalmalı ve çözeltiler konsantrasyonu buna göre ayarlanmalıdır. Bu nedenle, su hacminin değiştirilmesi, aktif maddenin aşırı veya yetersiz dozlanmasına yol açmamalıdır [142].

Karıştırma oranının ve su hacminin doğru belirlenmesi, kullanılan ürünün türü, etki şekli (temas veya sistemik), mahsulün gelişim aşaması, zararlı istilası seviyesi, nozul türü, çalışma basıncı ve ekipman hızı gibi çeşitli teknik ve biyolojik faktörlere bağlıdır [143].

Püskürtme çözeltisi, ürünlerin tanka eklenme sırasına uyularak ve karışımın sürekli karıştırılması sağlanarak dikkatlice hazırlanmalıdır. Homojen olmayan bir çözelti, aktif maddenin düzensiz uygulanmasına neden olabilir, bu da fitotoksisiteyi artırabilir veya yetersiz tedavi edilmiş alanlar bırakarak bitki sağlığı kontrolünün etkinliğini düşürebilir [144].

Su hacmi de damlacıkların boyutunu ve sürüklenme riskini etkiler. Çok ince damlacıkların oluşumuyla ilişkili çok düşük hacimler, sürüklenme ve komşu alanların kirlenme riskini önemli ölçüde artırabilir. Öte yandan, yeterli hacimler, çözeltinin yaprak yüzeyine daha iyi yapışmasına ve aktif maddenin bitki örtüsüne daha etkili bir şekilde nüfuz etmesine katkıda bulunur [145].

Sonuç olarak, bitki sağlığı tedavilerinin etkinliğini sağlamak, ürün kayıplarını azaltmak, çevresel etkiyi sınırlamak ve insan tüketimi için güvenli tarım ürünleri üretmek için karıştırma oranı ve su hacmi kesin olarak belirlenmeli ve bunlara uyulmalıdır.

### **3.9. Pestisit Uygulama Yöntemleri (zemin, lokal, drone)**

Bitki koruma ürünlerinin uygulama yöntemi, bitki sağlığı tedavilerinin etkinliğini, ürünlerdeki kalıntı düzeyini, operatörlerin güvenliğini ve çevre üzerindeki etkiyi doğrudan etkiler. Optimum yöntem, mahsul türü, hedef organizma, saha koşulları, mevcut ekipmanın özellikleri ve mevcut yasal gerekliliklere göre seçilmelidir [146]. Doğru uygulama, biyolojik verimliliği en üst düzeye çıkarmaya ve pestisit kullanımıyla ilişkili riskleri azaltmaya katkıda bulunur.

◆ **Zemin uygulama**, geleneksel tarımda en yaygın kullanılan yöntemdir ve çok yıllık bitkiler için tasarlanmış çekili veya kendinden tahrikli püskürtücüler veya atomizörler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, dozun, su hacminin ve çözeltinin ilaçlanan alan üzerinde eşit dağılımının hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlar. Çalışma basıncını ayarlayarak ve uygun nozulları seçerek, uygulama mahsulün ve çevre koşullarının özelliklerine uyarlanabilir [147]. Bununla birlikte, zemin uygulaması nispeten yüksek su tüketimi gerektirir ve toprak sıkışmasını teşvik edebilir; ayrıca ıslak, çamurlu veya engebeli arazilerde makinelerin erişimi sınırlıdır. Bu sınırlamalara rağmen, toprak koşulları tarım makinelerinin hareketine izin verdiğinde, bu yöntem çoğu tarla bitkisi ile meyve bahçeleri ve bağlar için önerilir [148].

◆ **Lokal uygulama**, yalnızca yabancı otlar, hastalıklar veya zararlılardan etkilenen alanların, örneğin mahsul şeritleri, istila noktaları veya zararlı yoğunluğunun yüksek olduğu alanların işlenmesini içerir. Bu yöntem, hassas tarıma özgüdür ve müdahalenin gerekli olduğu alanlarla uygulamayı sınırlayarak kullanılan toplam pestisit miktarını azaltmayı amaçlamaktadır [149]. Lokal uygulama, bitki koruma ürünlerinin tüketimini önemli ölçüde azaltır, mahsul kalıntılarını sınırlar ve hedef olmayan organizmaları korur, aynı zamanda tedavi maliyetlerinin düşmesine de katkıda bulunur. Bu yöntem, yabancı ot kontrolü, şerit tedavileri ve çok yıllık mahsullerde nokta tedavilerinde sıklıkla kullanılır [150].

◆ **Drone Uygulaması**, çağdaş tarımda hızla yaygınlaşan modern bir teknolojidir. Dronlar, erişilmesi zor alanlara, zorlu arazi koşullarına sahip arazilere veya toprak sıkışmasına duyarlı mahsullere pestisitlerin uygulanmasını sağlar. Bu hava platformları, genellikle 10 ila 30 L/ha arasında değişen küçük miktarlarda su kullanır ve çözeltinin hassas bir şekilde uygulanmasını ve eşit dağılımını sağlayan GPS sistemleri ile donatılmıştır [151]. Bu yöntemin avantajları arasında operatörün toksik maddelere maruz kalmasının azalması, su ve bitki koruma ürünlerinde tasarruf ve yer ekipmanlarının giremediği alanlarda hızlı müdahale imkanı sayılabilir. Ancak drone uygulaması, sıkı havacılık güvenliği düzenlemelerine tabidir ve rüzgarlı koşullarda sürüklenme riski artar. Drone kullanımı sertifikalı operatörler ve özel izinler gerektirir [152], [153].

Her uygulama yönteminin belirli bir kullanım alanı vardır. Yüzey uygulaması en çok yönlü olanıdır ve çalışma parametrelerinin ayrıntılı teknik kontrolüne olanak tanır, lokal uygulama pestisit tüketimi açısından en verimli olanıdır ve drone uygulaması özellikle zorlu araziler ve özel durumlarda hızlı müdahale için uygundur [154]. Doğru yöntemi seçmek, tedavi verimliliğini artırmaya, kalıntı seviyelerini azaltmaya ve çevreyi korumaya yardımcı olur.

Sonuç olarak, pestisit uygulama yöntemleri, tedavi hedefleri, saha koşulları ve güvenlik gerekliliklerine göre seçilmelidir. Yerden, lokalize ve drone uygulamaları, sürdürülebilir tarım ilkelerine uygun olarak bitki koruma ürünlerinin kontrollü, verimli ve sorumlu kullanımına yönelik tamamlayıcı çözümler sunar.

### 3.10. Püskürtücü Türleri

Pestisitlerin verimli ve güvenli bir şekilde uygulanması, esasen kullanılan püskürtücü tipine, tasarım özelliklerine, tedavi edilen mahsule uygunluğuna, çiftlik büyüklüğüne ve çevre koşullarına bağlıdır. Püskürtücüler, doğru dozajlama, çözeltinin eşit dağılımı ve sürüklenme

veya akma yoluyla kayıpların azaltılmasını sağlamak için tasarlanmıştır, böylece operatörün, çevrenin ve tarım mahsullerinin korunmasına katkıda bulunurlar [155].

Bu ekipmandaki teknolojik gelişmeler, sürdürülebilir tarım ilkeleriyle uyumlu olarak, aktif maddelerin tüketimini optimize eden ve bitki sağlığı tedavilerinin verimliliğini artıran gelişmiş kontrol sistemlerinin entegrasyonunu mümkün kılmıştır [156].

#### ➤ **Püskürtücülerin Genel Sınıflandırması**

Püskürtücüler, hareket şekline, enerji kaynağına, tank kapasitesine ve tarımsal kullanımına göre sınıflandırılabilir. Bu açıdan, manuel ve taşınabilir püskürtücüler, monte püskürtücüler, çekili püskürtücüler, kendinden tahrikli püskürtücüler ve bağlar, meyve bahçeleri ve korunan mahsullerde özel uygulamalar için tasarlanmış ekipmanlar ayırt edilebilir.

Bu teknolojik çeşitlilik, uygulama çözümlerinin her çiftliğin kendine özgü özelliklerine uyarlanmasına olanak tanıyarak, tedavi verimliliğinin artırılmasına ve çevre kirliliği risklerinin azaltılmasına katkıda bulunur [157].

#### ➤ **Manuel ve Taşınabilir Püskürtücüler**

Sırt çantası püskürtücüler veya taşınabilir atomizörler olarak da bilinen manuel püskürtücüler, çoğunlukla evlerde, bahçelerde, seralarda ve küçük tarım alanlarında kullanılır. Manuel, elektrikli veya içten yanmalı motorlarla çalıştırılabilirler ve genellikle 5 ila 20 litre arasında değişen tanklarla donatılmıştır [158].

Bu ekipmanın başlıca avantajları, düşük satın alma maliyeti, yüksek hareket kabiliyeti ve yerel uygulamaları hassas bir şekilde kontrol etme imkanıdır. Aynı zamanda, kullanımları, düşük çalışma kapasiteleri, operatörden gereken fiziksel çaba ve özellikle konsantre çözeltilerle çalışırken pestisitlere doğrudan maruz kalma riskinin artması gibi sınırlamalara sahiptir [159].

#### ➤ **Montajlı Püskürtücüler**

Takılı püskürtücüler, traktörün üç noktalı bağlantı sistemine takılır ve genellikle küçük ve orta ölçekli çiftliklerde tarla bitkilerinin bitki sağlığı tedavisi için kullanılır. Bu makineler genellikle 300 ila 1.200 litre arasında değişen tanklarla donatılmıştır [160].

Tasarım açısından, 8 ila 18 metre arasında çalışma genişliğine sahip püskürtme bomları, çözeltilerin homojenliğini korumak için hidrolik karıştırma sistemleri, basınç ve akış kontrol mekanizmaları ve farklı uygulama türlerine uyarlanmış değiştirilebilir nozullarla donatılmıştır [161].

Bu özellikler, kabul edilebilir bir hassasiyet ve verimlilik düzeyinde tekdüze ve kontrollü uygulamalar yapılmasına olanak tanır.

### ➤ **Çekili Püskürtücüler**

Çekili püskürtücüler, 2.000-6.000 litrelik tanklarla donatılmış orta ve yüksek kapasiteli makinelerdir ve büyük ölçekli tarımsal işlemler için tasarlanmıştır. Traktörlerle çekilirler ve gelişmiş akış ve basınç kontrol sistemlerine sahiptirler [162].

Bu tür makinelerin başlıca avantajları arasında yüksek verimlilik, zeminde iyi stabilite, genellikle 24 metreden uzun geniş bomların kullanılabilmesi ve değişken uygulama için GPS sistemleriyle entegrasyon sayılabilir [163].

Çekili püskürtücüler kullanılarak, aktif maddelerin tüketimi optimize edilerek ve bitki koruma solüsyonunun eşit dağılımı sağlanarak geniş alanlar kısa sürede işlenebilir.

### ➤ **Kendinden Tahrikli Püskürtücüler**

Kendinden tahrikli püskürtücüler, pestisit uygulama ekipmanlarının teknolojik zirvesini temsil eder. Kendi motorları, klimalı kabinleri ve bilgisayarlı uygulama kontrol sistemleri ile donatılmıştır [164].

Teknik açıdan bakıldığında, bu makineler 1,8 metreye kadar ulaşabilen yüksek yerden yükseklik, 24-36 metre çalışma genişliği, otomatik dozaj sistemleri ve uygulama parametrelerinin gerçek zamanlı izleme imkanı ile karakterize edilir [165].

Yüksek verimlilik, operatör konforu ve pestisit maruziyet risklerinin önemli ölçüde azaltılması gereken büyük ticari çiftliklerde kullanılırlar.

### ➤ **Özel Mahsuller için Makineler**

Bağlar, meyve bahçeleri ve diğer çok yıllık mahsuller için, bitki sağlığı çözeltilisinin bitkilerin yoğun yaprak örtüsüne nüfuz etmesini sağlamak üzere tasarlanmış atomizörler ve hava akımı püskürtücüler kullanılır [166].

Bu ekipman, ince parçacıklar üretir, çözeltiliyi taşımak için hava akımlarını kullanır ve ulaşılması zor alanlar da dahil olmak üzere yaprakların eşit şekilde işlenmesini sağlar [167].

Seralar ve solaryumlar gibi korunan alanlarda, düşük basınçlı püskürtücüler veya otomatik sisleme sistemleri kullanılır. Bunlar, kullanılan aktif madde miktarını azaltır ve operatörün pestisitlere maruz kalmasını sınırlar [168].

### ➤ **Modern Sistemler ve Akıllı Teknolojiler**

Modern püskürtücüler, GPS sistemleri, otomatik bölüm kontrolü, bitki örtüsü sensörleri ve değişken oran uygulama sistemleri gibi hassas tarım teknolojileriyle entegre edilmiştir [169]. Bu teknolojiler, dozları mahsullerin gerçek ihtiyaçlarına göre uyarlayarak pestisit tüketimini azaltmaya, çevresel etkiyi sınırlamaya ve bitki koruma uygulamalarının verimliliğini artırmaya yardımcı olur [170].

## **Sonuç**

Püskürtücü tipinin seçimi, çiftliğin büyüklüğü, mahsul türleri, mevcut kaynaklar ve çevre koruma gereklilikleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Uygun ekipmanın kullanılması, sürdürülebilir tarım ilkeleri ve mevcut mevzuata uygun olarak pestisitlerin güvenli, verimli ve sorumlu bir şekilde uygulanmasına önemli ölçüde katkıda bulunur [171].

### **3.11. Ekipman Kalibrasyonu**

Püskürtme ekipmanının kalibrasyonu, doğru dozajlama, püskürtme çözeltisinin eşit dağılımı ve çevre kirliliği ve operatörün maruz kalmasıyla ilgili risklerin azaltılması amacıyla pestisitlerin doğru ve güvenli bir şekilde uygulanmasında temel bir adımdır. Uygun olmayan kalibrasyon, düşük bitki sağlığı verimliliğine neden olan yetersiz dozajlamaya veya mahsuller, toprak, su ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan aşırı dozajlamaya yol açabilir [171].

Kalibrasyon, bitki koruma ürünlerinin uygulanmasının önerilen dozlara ve her mahsulün teknolojik gereksinimlerine uygun olmasını sağlamak için ekipmanın çalışma parametrelerini gerçek çalışma koşullarına uyarlamayı amaçlamaktadır [172].

#### **● Kalibrasyonun Önemi**

Doğru kalibrasyon, birim alan başına uygulanan çözelti hacminin ürün etiketindeki talimatlara ve mahsulün teknolojik gerekliliklerine uygun olmasını sağlar. Kalibrasyon yapılmadığında, basınç değişiklikleri, nozul aşınması veya hareket hızındaki değişiklikler önemli dozaj hatalarına yol açabilir [173].

Kalibrasyonun başlıca faydaları arasında pestisitlerin rasyonel kullanımı, tedavi verimliliğinin artırılması, sürüklenme ve sızıntı nedeniyle kayıpların azaltılması, çevrenin ve operatörün korunması ve bitki koruma ürünlerinin kullanımına ilişkin yasal gerekliliklere uyum sayılabilir [174].

#### **● Kalibrasyona Tabi Bileşenler**

Püskürtücünün kalibrasyonu, birkaç işlevsel bileşenin kontrol edilmesini ve ayarlanmasını içerir. Bunların en önemlileri nozul akış hızı, çalışma basıncı, hareket hızı, bom çalışma genişliği ve çözelti dağıtımının homojenliğidir [175].

Bu unsurların her biri, hektar başına uygulanan çözelti miktarını ve bitki koruma işleminin kalitesini doğrudan etkiler, bu nedenle ayarlamaları titizlikle yapılmalıdır [176].

#### **● Nozulların Kontrolü ve Ayarlanması**

Nozullar, aşınmaya en çok maruz kalan bileşenlerdir ve uygulanan hacim ve damlacık boyutu üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptirler. Kalibrasyon işlemi sırasında, her bir nozulun

akış hızı ölçülür ve üretici tarafından sağlanan nominal değerlerle karşılaştırılır.  $\pm 10$ 'dan fazla farklar, arızalı veya aşınmış nozulların değiştirilmesi gerektiğini gösterir [177].

Etkili bir kaplama ve dispersiyon yoluyla minimum kayıp elde etmek için nozul tipi seçimi, uygulanan ürün, çalışma basıncı, sürüklenme riski ve işlenen mahsule göre yapılmalıdır [178].

#### ● **Basınç Ayarı**

Çalışma basıncı, hem püskürtme çözeltisinin akış hızını hem de püskürtme damlacıklarının boyutunu etkiler. Yüksek basınçlar, sürüklenme riskini artıran ince damlacıklar oluştururken, çok düşük basınçlar yaprak yüzeyinin yetersiz kaplanmasına neden olabilir [179].

Optimum basınç, nozul tipi, istenen çözelti hacmi, hava koşulları ve uygulanan tedavinin türüne (herbisit, fungusit veya insektisit) göre belirlenir [180].

#### ● **Seyir Hızının Belirlenmesi**

Ekipmanın seyahat hızı, uygulama oranını doğrudan etkiler. Akış hızında karşılık gelen bir ayarlama yapılmadan hızın artırılması, hektar başına uygulanan çözelti miktarını azaltırken, çok düşük bir hız aşırı dozajlamaya yol açar [181].

Hız, pratikte bilinen bir mesafe kat edilerek ve gereken süre ölçülerek belirlenir. Elde edilen değerler daha sonra kalibrasyon hesaplamalarında kullanılarak çalışma parametreleri doğru şekilde ayarlanır [182].

#### ● **Uygulama Oranının Hesaplanması**

Hektar başına litre cinsinden ifade edilen uygulama oranı, nozul akış hızı, çalışma genişliği ve seyahat hızına göre hesaplanır. Kullanılan genel formül şöyledir:

$$N \text{ (L/ha)} = (600 \times Q) / (L \times V)$$

burada Q, bir nozülün akış hızını litre/dakika cinsinden, L nozüller arasındaki mesafeyi metre cinsinden ve V seyahat hızını kilometre/saat cinsinden ifade eder [183].

Bu hesaplama, önerilen doza uymak ve bitki koruma çözeltisinin eşit dağılımını sağlamak için ekipman parametrelerinin hassas bir şekilde ayarlanmasına olanak tanır [184].

#### ● **Dağılımın Eşitliğini Kontrol Etme**

Çözeltinin tüm çalışma genişliği boyunca eşit dağılımı, damlama tepsisi testleri veya suya duyarlı kağıt kullanılarak değerlendirilir. Düzensiz birikintilerin olduğu alanlar, bom hizalaması, basınç farkları veya arızalı nozulların varlığı ile ilgili sorunları gösterir [185].

Düzenli dağılımın korunması, yüksek biyolojik verimlilik elde edilmesine, zararlıların direnç geliştirme riskinin azaltılmasına ve hem mahsulün hem de toprağın korunmasına katkıda bulunur [186].

### ● Kalibrasyon Sıklığı

Püskürtme ekipmanı, her çalışma sezonunun başında, nozullar değiştirildikten sonra, onarımlardan sonra, çalışma hızı veya basıncı değiştirildiğinde ve kullanım sırasında periyodik olarak kalibre edilmelidir [187].

Bu adımın ihmal edilmesi, yanlış pestisit uygulaması ve bitki sağlığı güvenlik standartlarına uyulmaması riskini önemli ölçüde artırır [188].

### Sonuç

Püskürtme ekipmanının kalibrasyonu, pestisitlerin sorumlu bir şekilde uygulanması için temel bir koşuldur. Çalışma parametrelerinin doğru ayarlanması, doğru dozajlamayı sağlar, çevresel etkiyi en aza indirir ve operatörün sağlığını korur. Kalibrasyonu tarımsal işletmelerin teknolojik rutinine entegre etmek, tarımsal üretimin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaya katkıda bulunur [189].

### 3.12. Bakım ve Teknik Kontrol

Pestisit uygulama sürecinde püskürtme ekipmanının doğru, güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için bakım ve teknik muayene çok önemlidir. Bitki koruma ekipmanı yoğun mekanik, kimyasal ve iklimsel streslere maruz kalır ve bu da aşınma, arıza ve uygulama doğruluğunun kaybına yol açabilir. Uygun bakımın yapılmaması, çözeltilerin düzensiz uygulanması, sızıntı veya sürüklenme nedeniyle kayıplar ve operatörün tehlikeli maddelere maruz kalma riskini artırır [190].

Teknik bakım, çalışma parametrelerini üretici tarafından önerilen sınırlar içinde tutmayı, ekipmanın ömrünü uzatmayı ve bitki koruma ürünlerinin kullanımına ilişkin yasal gerekliliklere uymayı amaçlamaktadır [191].

#### ➤ Önleyici Bakımın Önemi

Önleyici bakım, püskürtme ekipmanındaki olası arızaları, pestisit uygulamasının kalitesini etkilemeden önce erken aşamada tespit etmek ve gidermek için yapılır. Düzenli denetimler ve planlı bakım çalışmaları, büyük arızaları önleyebilir ve tüm bileşenlerin en iyi şekilde çalışmasını sağlayabilir [192].

Bu yaklaşım, arıza süresini azaltmaya, onarım maliyetlerini düşürmeye ve hem operatör hem de çevre için yüksek bir güvenlik seviyesini korumaya yardımcı olur [193].

#### ➤ Teknik Kontrole Tabi Bileşenler

Püskürtme ekipmanının teknik muayenesi, bitki koruma çözeltilerinin dozajını ve dağılımını doğrudan etkileyen işlevsel tertibatlara odaklanır. Bunlar arasında tank, pompa, filtreleme sistemi, borular, nozullar, püskürtme bomu ve basınç ve akış kontrol sistemleri bulunur [194].

Tankın bütünlüğü, kazara sızıntıları önlemek için çok önemlidir ve filtreleme sistemi, nozul tıkanmasını ve akış değişikliklerini önlemek için temiz tutulmalıdır [195].

#### ➤ **Pompa ve Hidrolik Sistemin Bakımı**

Pompa, püskürtücünün merkezi bileşenidir ve çözeltinin sistemde dolaşmasını sağlar. Bakımı, sızıntı kontrolü, hareketli parçaların yağlanması ve çalışma basıncının kontrolünü içerir [196].

Pompa arızaları, akış değişikliklerine, dengesiz dağılıma ve çözelti kayıplarına yol açarak, tedavi verimliliğini ve operatör güvenliğini etkileyebilir [197].

#### ➤ **Nozulların Temizliği ve Bakımı**

Nozullar, püskürtme sisteminin en hassas bileşenleridir ve dikkatli bakım gerektirir. Nozullar, deliklere zarar verebilecek metal nesnelere kullanılmadan, temiz su ve özel fırçalarla temizlenmelidir [198].

Aşınmış veya tıkanmış nozullar düzensiz damlacıklar üretir ve akış hızını değiştirir, bu da dozajın yetersiz veya aşırı olmasına neden olabilir. Uygulama doğruluğunu korumak için nozulların düzenli olarak değiştirilmesi önemlidir [199].

#### ➤ **Püskürtme Bomlarının Kontrolü**

Püskürtme bomu düzgün bir şekilde hizalanmalı ve mahsulün üzerinde sabit bir yükseklikte tutulmalıdır. Mekanik deformasyon, titreşim ve bağlantı noktalarının aşınması, çalışma genişliği boyunca çözeltinin eşit dağılımını etkileyebilir [200]. Bom yapısının düzenli olarak incelenmesi, yetersiz veya aşırı işlem görmüş alanların önlenmesine yardımcı olur ve sürüklenme kayıplarını azaltır [201].

#### ➤ **Kullanım Sonrası Ekipmanın Temizlenmesi**

Her uygulamadan sonra, püskürtme ekipmanı pestisit kalıntılarını gidermek için uygun şekilde yıkanmalıdır. Temizlik, sonraki mahsullerin kirlenmesini, bileşenlerin korozyonunu ve operatörün kazara maruz kalmasını önler [202]. Toprak ve su kirliliğini önlemek için durulama suyu çevre koruma yönetmeliklerine uygun olarak yönetilmelidir [203].

#### ➤ **Periyodik Teknik Kontroller**

Birçok Avrupa ülkesinde, püskürtme ekipmanları yetkili kurumlar tarafından yapılan periyodik teknik denetimlere tabidir. Bu denetimler, güvenlik gerekliliklerine uygunluğu, bileşenlerin düzgün çalışmasını ve uygulama standartlarına uyumu garanti eder [204].

Ekipmanın teknik sertifikasyonu, kullanıcılar arasında profesyonellik düzeyinin artmasına ve pestisit kullanımıyla ilişkili risklerin azaltılmasına katkıda bulunur [205].

### ➤ **Ekipman Bakımında Operatörün Rolü**

Operatör, ekipmanın iyi çalışma koşullarında tutulmasında önemli bir rol oynar. Üreticinin talimatlarına uymak, günlük kontroller yapmak ve arızaları bildirmek, uygulama sürecinin güvenliğine katkıda bulunur [206].

Personelin uygun şekilde eğitilmesi, teknik hatalar ve iş kazaları riskini azaltır [207].

### **Sonuç**

Püskürtme ekipmanının bakımı ve teknik denetimi, pestisitlerin güvenli ve verimli bir şekilde uygulanması için temel öneme sahiptir. Düzenli denetimler, uygun temizlik ve bakım prosedürlerine uyum sayesinde, çözeltinin eşit dağılımı sağlanır, operatörün sağlığı korunur ve çevresel etki en aza indirilir. Bu uygulamaların çiftlik rutinlerine entegre edilmesi, bitki koruma ürünlerinin kullanımında sürdürülebilirliğin ve sorumluluğun artmasına katkıda bulunur [208].

### **3.13. Sürüklenme ve Ürün Kayıpları**

Sürüklenme ve ürün kayıpları, pestisit uygulamasıyla ilişkili önemli sorunlardır ve tedavilerin etkinliğini, çevre korumasını ve operatör güvenliğini doğrudan etkiler. Sürüklenme, rüzgar, hava akımları ve atmosferik koşulların etkisiyle püskürtülen çözelti parçacıklarının hedef alanın dışına taşınması anlamına gelir. Ürün kayıpları, sızıntı, buharlaşma veya düzensiz birikme yoluyla da meydana gelebilir ve bu da mahsule ulaşan aktif madde miktarını azaltır [209].

Bu fenomenler, uygulama etkinliğinin azalmasına, komşu alanların kirlenmesine ve insan sağlığı ve ekosistemler için risklere yol açar [210].

#### ✓ **Sürüklenme Türleri**

Sürüklenme, birincil sürüklenme ve ikincil sürüklenme olarak sınıflandırılabilir. Birincil sürüklenme, püskürtme sırasında ince damlacıkların rüzgarla uygulama alanının dışına taşınmasıyla meydana gelir. İkincil sürüklenme, ilk birikimden sonra, aktif maddelerin buharlaşması veya toprak ve bitki yüzeylerinden parçacıkların yeniden süspansiyonu yoluyla meydana gelir [211].

Her iki sürüklenme türü de hava, toprak ve yüzey suyu kirliliğine katkıda bulunarak hedef olmayan organizmaları etkileyebilir [212].

#### ✓ **Sürüklenmeyi Etkileyen Faktörler**

Sürüklenmenin yoğunluğu, rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve nemi, damlacık boyutu, çalışma basıncı, nozul tipi ve püskürtme bomu yüksekliği gibi çeşitli faktörlerden etkilenir [213].

3-4 m/s'den daha hızlı rüzgarlar, partikül yer değiştirme riskini önemli ölçüde artırır ve yüksek sıcaklıklar, aktif maddelerin buharlaşmasını ve uğmasını teşvik eder [214].

15

#### ✓ Akış ve Buharlaşma Yoluyla Ürün Kayıpları

Hava sürüklenmesine ek olarak, özellikle uygulanan hacim çok yüksek olduğunda veya yapraklar damlacıkları tutamadığında, toprakta çözeltili akışı yoluyla ürün kayıpları meydana gelebilir. İnce damlacıkların hızlı buharlaşması, haşere kontrolü için kullanılabilir aktif madde miktarını azaltır [215].

Bu kayıplar, dozajın yetersiz kalmasına yol açarak tedavinin etkinliğini olumsuz etkiler ve ek uygulamalar gerektirir [216].

#### ✓ Çevre ve Sağlık Etkisi

Sürüklenme ve ürün kayıpları, yüzey sularını, toprağı ve koruma alanları veya komşu mahsuller gibi hassas alanları kirleterek çevreyi ciddi şekilde etkileyebilir [217].

Nüfusun ve operatörlerin havadaki pestisitlere maruz kalması, tahriş, zehirlenme ve kronik etkiler dahil olmak üzere olumsuz sağlık etkileri riskini artırır [218].

#### ✓ Sürüklenmeyi Azaltmak için Teknik Önlemler

Sürüklenmenin azaltılması, uygun nozul seçimi, orta düzeyde basınç kullanımı, optimum bom yüksekliğinin korunması ve elverişsiz hava koşullarında püskürtme yapılmaması ile sağlanır [219].

Sürüklenmeyi önleyici nozullar, havada taşınmaya daha az duyarlı olan daha büyük damlacıklar üretirken, otomatik bölüm kontrol sistemleri gereksiz uygulamaları sınırlamaya yardımcı olur [220].

#### ✓ Kayıpların Önlenmesinde Operatörün Rolü

Operatör, sürüklenme ve ürün kayıplarının azaltılmasında önemli bir rol oynar. Ürün etiketindeki önerilere uymak, çalışma parametrelerini saha koşullarına göre ayarlamak ve uygulamayı sürekli izlemek, tedavi doğruluğunun artırılmasına katkıda bulunur [221].

Operatörlerin profesyonel eğitimi, pestisitlerin sorumlu kullanımında belirleyici bir faktördür [222].

#### ✓ Tampon Bölgeler ve Hassas Alanların Korunması

İlaçlanan alanlar ile su yolları, konutlar veya hassas mahsuller arasında tampon bölgeler oluşturmak, sürüklenme yoluyla kontaminasyon riskini azaltmak için önemli bir önlemdir [223].

Bu bölgelere uyum, biyolojik çeşitliliğin korunmasına ve olumsuz çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunur [224].

### ✓ **Kayıpların İzlenmesi ve Verimliliğin Değerlendirilmesi**

Ürün kayıpları, suya duyarlı kağıt, damlacık toplayıcılar ve dijital izleme sistemleri kullanılarak değerlendirilebilir. Bu yöntemler, düzensiz uygulama alanlarının belirlenmesi ve püskürtme teknolojilerinin ayarlanmasına olanak tanır [225].

İzleme, uygulama uygulamalarının sürekli iyileştirilmesine ve pestisit tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunur [226].

### **Sonuç**

Sürüklenme ve ürün kayıpları, pestisit uygulamasının verimliliğini ve güvenliğini etkileyen kritik faktörlerdir. Uygun teknik önlemlerin alınması, hava koşullarının dikkate alınması, operatörlerin eğitilmesi ve modern teknolojilerin kullanılmasıyla bu riskler önemli ölçüde azaltılabilir. Uygun sürüklenme yönetimi, çevrenin korunmasına, insan sağlığına ve bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına katkıda bulunur [227].

### **3.14. Modern Risk Azaltma Teknolojileri**

Tarımdaki teknolojik gelişmeler, hem operatörler hem de çevre ve tüketiciler için pestisit kullanımıyla ilişkili riskleri azaltmak üzere tasarlanmış modern çözümlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu teknolojiler, uygulama doğruluğunu artırmayı, sürüklenmeyi sınırlamayı, aktif madde tüketimini azaltmayı ve operasyonel güvenliğini artırmayı amaçlamakta ve böylece bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına katkıda bulunmaktadır [220].

Dijital sistemler, sensörler, akıllı ekipmanlar ve hassas tarım teknolojilerinin entegrasyonu ile pestisit uygulaması gerçek saha koşullarına uyarlanabilir ve ekosistemler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler azaltılabilir [221].

#### ● **Hassas Tarım ve Değişken Oranlı Uygulama**

Hassas tarım, toprak, bitkiler ve çevre koşullarının mekansal ve zamansal değişkenliğine göre tarımsal ürünlerin farklılaştırılmış yönetimini sağlayan bir dizi teknoloji ve uygulamayı temsil eder. Bu sistemin temel amacı, dozları arazinin her bir alanının gerçek ihtiyaçlarına uyarlayarak pestisitler dahil girdilerin kullanımını optimize etmek ve böylece tek tip uygulama ile ilişkili ekolojik ve ekonomik riskleri azaltmaktır [221].

Değişken oran uygulaması (VRA), bitki koruma ürününün uygulanan miktarını bitki örtüsü yoğunluğu, yabancı ot istilası seviyesi, mahsulün sağlık durumu veya toprak özellikleri gibi parametrelere göre otomatik olarak ayarlamaktan oluşur [222].

Farklılaştırılmış uygulama, saha verilerinin toplanması ve analizine dayanır, ardından bu veriler GPS sistemleri ve elektronik akış kontrolü ile donatılmış püskürtme ekipmanları tarafından kullanılan uygulama haritalarına dönüştürülür. Ana aşamalar arasında sensörler,

insansız hava araçları veya uydu görüntüleri aracılığıyla veri toplama, uzamsal değişkenliğin analizi, uygulama haritalarının geliştirilmesi ve farklılaştırılmış pestisit uygulaması yer alır [223].

Kullanılan veriler, makinelere monte edilmiş optik sensörler, uydu görüntüleri, multispektral insansız hava araçları, toprak analizleri ve bitki sağlığı değerlendirmelerinden elde edilir. Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) gibi bitki örtüsü indeksleri, mahsul sağlığının değerlendirilmesine ve biyotik veya abiyotik stresden etkilenen alanların belirlenmesine olanak tanır [224].

Değişken oranlı uygulama, pestisit tüketiminin azaltılması, tedavilerin biyolojik verimliliğinin artırılması, çevresel etkinin azaltılması ve üretim maliyetlerinin optimize edilmesi gibi önemli faydalar sağlar [225]. Araştırmalar, bu teknolojilerin kullanımının, tedavilerin etkinliğini azaltmadan pestisit tüketiminde %20 ila %60 arasında bir azalmaya yol açabileceğini göstermektedir [226].

Farklılaştırılmış herbisit uygulaması durumunda, modern sistemler otları otomatik olarak algılayabilir ve sadece istila edilmiş alanlarda püskürtmeyi etkinleştirebilir, bu da kullanılan herbisit miktarının azalmasına, toprak kirliliğinin sınırlandırılmasına ve direnç gelişme riskinin azalmasına yol açar [227].

Yapay zeka algoritmaları, gerçek zamanlı olarak çekilen görüntülerden hastalıkları, zararlıları ve yabancı otları tanıyabilir ve otomatik püskürtmeyi kontrol ederek kararların doğruluğunu ve müdahale hızını artırabilir [228].

Ancak, VRA'nın uygulanması yüksek yatırımlar, operatör eğitimi, kaliteli verilere erişim ve ekipman ile yazılım arasında uyumluluk gerektirir. Verilerin yanlış yorumlanması, yetersiz dozajlama veya etkisiz tedavilere yol açabilir [229].

Sonuç olarak, hassas tarım ve değişken oranlı uygulama, pestisit kullanımıyla ilişkili riskleri azaltmak, çevre korumasına katkıda bulunmak ve bitki sağlığı tedavilerinin verimliliğini artırmak için gerekli araçlardır [230].

#### ● GPS Sistemleri ve Otomatik Bölüm Kontrolü

GPS sistemlerinin püskürtücülere entegrasyonu, makinelerin hassas bir şekilde yönlendirilmesini ve çakışmaların veya işlenmemiş alanların ortadan kaldırılmasını sağlar. Otomatik bölüm kontrolü, halihazırda işlenmiş sektörlerde püskürtmeyi durdurarak aşırı dozajlamayı önler ve ürün kayıplarını azaltır [231].

Bu teknolojiler, hassas mahsullerin korunmasına, uygulama homojenliğinin artırılmasına ve pestisit tüketiminin optimize edilmesine katkıda bulunarak çevre ve ekonomik verimlilik üzerinde olumlu bir etki yaratır [232].

### ● **Sürüklenmeyi Önleyen Nozullar ve Damlacık Kontrol Teknolojileri**

Hava enjeksiyonlu nozullar daha büyük damlacıklar oluşturarak sürüklenme riskini önemli ölçüde azaltır. Modern sistemler, damlacık boyutunun hava koşullarına göre ayarlanmasına olanak tanıyarak daha güvenli ve hassas uygulama sağlar [233].

Bu teknolojilerin kullanımı, pestisitlerin kontrolsüz dağılımını sınırlar, komşu alanları korur ve operatör güvenliğini artırır [234].

### ● **Sensör Destekli Püskürtme Sistemleri**

Optik sensörler bitki örtüsünün varlığını algılar ve sadece gerekli alanlarda püskürtmeyi etkinleştirir. Bu teknoloji özellikle lokalize herbisit uygulaması için kullanılır ve bitki koruma ürünlerinin seçici olarak uygulanmasına olanak tanır [235].

Elde edilen sonuçlar arasında, kullanılan pestisit miktarında önemli bir azalma, tedavi doğruluğunda artış ve toprak ve su kirliliğinde azalma bulunmaktadır [236].

### ● **Dronlar ve Otonom Hava Platformları**

Dronlar, GPS sistemleri ve akış kontrol mekanizmaları ile donatılmış olup, ulaşılması zor alanlarda hızlı ve hassas işlemler yapılmasına olanak tanır [237].

Kullanımları, hassas alanların kirlenmesini ve kontaminasyonunu önlemek için hava güvenliği ve çevre koruma yönetmeliklerine sıkı sıkıya uyulmasını gerektirir [238].

### ● **Operatör Koruma Sistemleri**

Basınçlı kabinler, hava filtreleri ve modern koruyucu ekipmanlar, pestisit uygulaması sırasında operatörün toksik maddelere maruz kalmasını önemli ölçüde azaltır [239].

Personel koruması, bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımı ve olumsuz sağlık etkilerinin önlenmesi için temel bir koşuldur [240].

### ● **Dijitalleşme ve Uygulama İzleme**

Dijital platformlar, basınç, akış hızı, hız ve uygulanan miktarın gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlar. Veriler analiz, izlenebilirlik ve denetim için saklanır, yasal düzenlemelere uyumu ve bitki koruma uygulamalarının optimizasyonunu destekler [241].

Dijitalleşme, objektif verilere ve bilimsel olarak sağlam kararlara dayalı modern bitki koruma yönetiminin uygulanmasını kolaylaştırır [242].

## **Sonuç**

Modern risk azaltma teknolojileri, pestisitlerin kontrollü ve güvenli kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Hassas tarım, akıllı sistemler, seçici uygulama teknolojileri ve operatör korumasının entegrasyonu, çevre ve insan sağlığı üzerinde minimum etkiye sahip etkili uygulamalara olanak tanır. Bu teknolojilerin benimsenmesi, sürdürülebilir ve sorumlu tarımın geliştirilmesi için temel öneme sahiptir.

## 4. Mevzuat ve Kurumsal Çerçeve

### 4.1. Avrupa Birliği'nin Pestisitlerle İlgili Mevzuatı

Avrupa Birliği'nde pestisit kullanımı, tarım sektörünün rekabet gücünü korurken insan sağlığı, hayvan sağlığı ve çevre için yüksek düzeyde koruma sağlamak üzere tasarlanmış karmaşık bir yasal çerçeve ile düzenlenmektedir. Bitki koruma ürünlerine ilişkin Avrupa politikaları, kimyasalların kullanımıyla ilişkili riskleri azaltmayı, sürdürülebilir kullanımı teşvik etmeyi ve çevre dostu alternatifleri ve sorumlu tarım uygulamalarını desteklemeyi amaçlamaktadır [236].

#### ● AB Pestisit Politikasının Genel İlkeleri

Avrupa mevzuatı, önlem, önleme ve entegre çevre koruma ilkelerine dayanmaktadır. Bitki koruma ürünleri, yalnızca resmi olarak onaylanmış ve titiz bilimsel değerlendirmelerle belirlenen güvenlik gerekliliklerine uygunsa kullanılabilir. Bu değerlendirmeler, insan sağlığı üzerindeki etkileri ile çevre ve hedef olmayan organizmalar üzerindeki etkileri kapsamaktadır [237].

Avrupa Birliği'nin pestisit politikasının hedefleri arasında halk sağlığının korunması, çevresel etkinin azaltılması, kimyasalların sorumlu kullanımının teşvik edilmesi ve önleme, kontrol ve risk azaltma önlemlerinin entegre edilmesiyle sürdürülebilir tarımın teşvik edilmesi yer almaktadır [238].

#### ● (EC) No. 1107/2009

(EC) No. 1107/2009 sayılı Tüzük, Avrupa Birliği'nde bitki koruma ürünlerinin piyasaya sürülmesini düzenleyen temel yasal düzenlemedir. Bu tüzük, insan sağlığı ve çevreye yönelik risklerin bilimsel değerlendirmelerine dayalı olarak, aktif maddelerin onaylanması için koşulları ve ticari ürünlerin ruhsatlandırılması için prosedürleri belirler [239].

Yönetmelik, kanserojen, mutajenik veya üremeye toksik maddeleri yasaklamakta ve endokrin bozucu potansiyeli olan maddeleri kısıtlamaktadır. Kabul edilemez risk profiline sahip maddeler için de kesme kriterleri uygulanmaktadır [240]. Aktif maddeler Avrupa Birliği düzeyinde onaylanırken, bitki koruma ürünleri her üye devletin özel agroklimatik koşullarına bağlı olarak ulusal düzeyde yetkilendirilmektedir [241].

#### ● Pestisitlerin Sürdürülebilir Kullanımı Hakkında 2009/128/EC Direktifi

2009/128/EC sayılı Direktif, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı için bir çerçeve oluşturur ve temel amacı, insan sağlığı ve çevre üzerindeki riskleri ve etkileri azaltmaktır. Bu bağlamda,

üye devletlerin, pestisitlerin kullanımını ve olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik somut önlemler içeren Ulusal Eylem Planları geliştirmeleri ve uygulamaları gerekmektedir [242].

Yönerge ile öngörülen tedbirler arasında profesyonel kullanıcıların eğitimi ve sertifikalandırılması, uygulama ekipmanının periyodik teknik denetimi, hassas alanların korunması ve entegre haşere yönetiminin teşvik edilmesi yer almaktadır. Bu tedbirlerin uygulanması, daha güvenli ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına geçiş için hayati önem taşımaktadır [243], [244].

#### ● **Maksimum Kalıntı Limitleri Hakkında (EC) 396/2005 Sayılı Yönetmelik**

(EC) No. 396/2005 sayılı Yönetmelik, tüketicileri korumak ve Avrupa Birliği'nde gıda güvenliğini sağlamak amacıyla gıda ve yemlerdeki pestisit kalıntılarına ilişkin izin verilen maksimum sınırları belirlemektedir [245].

Bu sınırlar, toksikolojik değerlendirmeler, gıda tüketim verileri ve gıda güvenliği ilkeleri temelinde belirlenir, böylece nüfusun maruz kalma düzeyi kabul edilebilir seviyelerin altında kalır [246]. İzin verilen maksimum sınırları aşan ürünler Avrupa pazarında satılamaz ve ithalatı geri çekilir veya reddedilir [247].

#### ● **Tarladan Sofraya Stratejisi**

Avrupa Yeşil Anlaşması'nın ayrılmaz bir parçası olan Avrupa "Çiftlikten Çatal'a" Stratejisi, 2030 yılına kadar pestisit kullanımı ve pestisitlerle ilişkili riskleri %50 oranında azaltmayı amaçlamaktadır. Strateji, biyolojik alternatiflerin kullanımını, organik tarımın yaygınlaştırılmasını, tarımsal süreçlerin dijitalleştirilmesini ve bitki koruma alanında inovasyonun teşvik edilmesini desteklemektedir [248].

Strateji, tarımsal verimlilik, çevre koruma ve gıda güvenliği arasında bir denge sağlamayı ve Avrupa tarım-gıda sisteminin daha sürdürülebilir ve dayanıklı bir sisteme dönüşmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır [249].

#### ● **Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin (EFSA) rolü**

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, bitki koruma ürünlerinde kullanılan aktif maddelerle ilişkili risklerin bilimsel değerlendirilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. EFSA, Avrupa Komisyonu ve üye devletler tarafından alınan kararların temelini oluşturan bağımsız görüşler sunmaktadır [250].

EFSA tarafından yapılan değerlendirmeler arasında toksikolojik ve ekotoksikolojik analizler, tozlayıcılar üzerindeki etki ve çevreye etkileri, bunların kalıcılığı ve hareketliliği yer almaktadır. Bu değerlendirmeler, Avrupa pestisit düzenlemelerinin bilimsel temelini oluşturmaktadır [251].

## **Sonuç**

Avrupa Birliği'nin pestisitlerle ilgili mevzuatı, insan sağlığını ve çevreyi korumayı temel amaç olarak benimseyen, dünya çapında en katı mevzuatlar arasındadır. Avrupa Birliği, açık düzenlemeler, titiz bilimsel değerlendirmeler ve risk azaltma stratejileriyle, bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımını ve mevcut ve gelecekteki zorluklara uyarlanmış sürdürülebilir tarımın geliştirilmesini teşvik etmektedir [252].

### **4.2. Romanya'daki Ulusal Düzenlemeler**

Romanya'da pestisitlerin kullanımını düzenleyen ulusal mevzuat, Avrupa Birliği mevzuatı ile uyumludur ve halk sağlığı, çevre ve biyolojik çeşitliliğin yüksek düzeyde korunmasını amaçlamaktadır. Ulusal düzenlemeler, bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırılması, pazarlanması, kullanımı, kontrolü ve izlenmesi için koşulları ve bu alanda faaliyet gösteren kurumların sorumluluklarını belirlemektedir [253].

#### **◆ Avrupa Mevzuatının Ulusal Hukuka Aktarılması**

Romanya, ana Avrupa mevzuatını kanunlar, hükümet kararları ve bakanlık emirleri yoluyla ulusal mevzuata aktarmıştır. Pestisitlerin sürdürülebilir kullanımına ilişkin 2009/128/EC sayılı Direktif, bitki koruma ürünlerinin kullanımıyla ilişkili riskleri azaltmak için somut önlemler belirleyen Ulusal Eylem Planı yoluyla uygulanmıştır [254]. 1107/2009 sayılı Tüzük, Romanya'da doğrudan uygulanabilir olup, izin ve kontrol için idari ve kurumsal prosedürleri düzenleyen ulusal mevzuatla tamamlanmaktadır [255].

#### **◆ 45/2009 sayılı Kanun ve Sonraki Yasal Düzenlemeler**

Bitki koruma ürünleri alanındaki kontrol sisteminin organizasyonu ve işleyişine ilişkin 45/2009 sayılı Kanun, bu sektörün yönetimi için ulusal yasal dayanağı oluşturmaktadır. Kanun, yetkili makamların yetkilerini, kullanıcıların yükümlülüklerini ve düzenlemelere uyulmaması durumunda uygulanacak yaptırımları belirlemektedir [256]. Sonraki kanunlar, pestisitlerin pazarlanması için koşulları, depolama ve nakliye gerekliliklerini, güvenli kullanım kurallarını ve kontrol ve denetim prosedürlerini belirlemektedir [257].

#### **◆ Pestisitlerin Sürdürülebilir Kullanımı için Ulusal Eylem Planı**

Ulusal Eylem Planı (NAP), Romanya'nın 2009/128/EC Direktifi'nin hedeflerini uygulamaya koyduğu stratejik belgedir. Sağlık ve çevreye yönelik riskleri azaltmayı, entegre haşere yönetimini teşvik etmeyi ve kullanıcıları eğitmeyi amaçlamaktadır [258]. NAP'nin ana yönleri arasında operatörlerin mesleki eğitimi, püskürtme ekipmanının teknik denetimi, hassas alanların korunması, halkın bilgilendirilmesi ve yüksek riskli pestisitlerin kullanımının azaltılması yer almaktadır [259].

#### ◆ **Pestisitlerin Pazarlanması ve Kullanımına İlişkin Düzenlemeler**

Romanya'da bitki koruma ürünleri, ancak yetkili makam tarafından onaylanmış ve resmi etikette belirtilen koşullara uygunsuz pazarlanabilir ve kullanılabilir. Satışlar sadece yetkili birimler aracılığıyla yapılabilir ve profesyonel kullanıcılar eğitim sertifikalarına sahip olmalıdır [260]. Yönetmelikler, ürünlerin toksisiteye göre sınıflandırılmasını, çiftliklerdeki depolama koşullarını, tedavi kayıtlarına ilişkin yükümlülükleri ve operatörleri korumaya yönelik önlemleri belirler [261].

#### ◆ **Çevrenin ve Hassas Alanların Korunması**

Ulusal mevzuat, su, toprak, korunan doğal alanlar ve yerleşim alanlarının korunmasına özel önem vermektedir. Pestisitlerin kullanımı, su yolları, eğitim kurumları, sağlık tesisleri ve Natura 2000 alanlarının yakınında kısıtlanmıştır [262]. Yüksek ekotoksik risk taşıyan maddeler için tampon bölgeler, mevsimsel yasaklar ve özel kurallar getirilmiştir [263].

#### ◆ **Kontrol Sistemi ve Yaptırımlar**

Mevzuata uygunluk, uzman yetkililer tarafından tüccar ve kullanıcıların periyodik denetimleri yoluyla izlenmektedir. Uygunsuzluk durumunda, suçun ciddiyetine bağlı olarak idari veya cezai yaptırımlar uygulanır [264]. Yaptırımlar arasında para cezaları, izinlerin askıya alınması, ürünlere el konulması ve faaliyetlerin yasaklanması yer alabilir [265].

#### ◆ **Eğitim ve Bilgilendirmenin Rolü**

Ulusal düzenlemeler, kullanıcıların eğitilmesi ve halkın pestisitlerle ilişkili riskler hakkında bilgilendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Eğitim programları, profesyonel kullanıcılar ve dağıtıcılar için zorunludur [266]. Eğitim, kazaların azaltılmasına, ürünlerin doğru kullanımının sağlanmasına ve sağlığın ve çevrenin korunmasına katkıda bulunur [267].

#### **Sonuç**

Romanya'daki pestisitlerle ilgili ulusal düzenlemeler, Avrupa Birliği mevzuatı ile yakından uyumludur ve bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımını sağlamayı amaçlamaktadır. Açık bir yasal çerçeve, etkili kontrol mekanizmaları ve eğitim programları sayesinde halk sağlığı, çevre ve tüketicilerin korunması sağlanmakta ve sürdürülebilir tarımın gelişmesine katkıda bulunmaktadır [268].

#### **4.3. Ürün Ruhsatlandırma ve Kullanım Kısıtlamaları**

Bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırılması, pestisitlerin güvenli kullanımını sağlamak için gerekli bir süreçtir ve temel amacı insan sağlığını, hayvan sağlığını ve çevreyi korumaktır. Romanya'da bu süreç, Avrupa Birliği mevzuatı, özellikle 1107/2009 sayılı Tüzük ve belirli idari ve kurumsal prosedürleri belirleyen ulusal düzenlemeler uyarınca yürütülmektedir [269].

### ➤ **Bitki Koruma Ürünlerinin Yetkilendirilmesine İlişkin İlkeler**

Bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırılması, aktif maddelerin ve ticari formülasyonların toksikolojik, ekotoksikolojik ve biyolojik etkinlik açısından titiz bir değerlendirmeye dayalıdır. Bir ürün, kullanım talimatlarına uyulması koşuluyla, kullanıcılar, tüketiciler ve çevre için kabul edilebilir bir risk düzeyinde olduğu kanıtlandığında ruhsatlandırılabilir [270].

Değerlendirmede, kanserojen, mutajenik veya üreme toksisitesi potansiyeli dahil olmak üzere insan sağlığı üzerindeki etkiler, hedef olmayan organizmalar üzerindeki etki, çevrede kalıcılık ve su kirliliği riski dikkate alınır [271].

### ➤ **Romanya'da İzin Prosedürü**

Romanya'da bitki koruma ürünlerinin yetkilendirilmesi, uzman kurumlarla işbirliği içinde ve Avrupa Birliği düzeyinde kabul edilen kararlara uygun olarak ulusal yetkili makam tarafından gerçekleştirilir. Süreç, başvuru sahibi tarafından ürünün bileşimi, toksisite çalışmaları, biyolojik etkinlik ve çevresel etki ile ilgili verileri içeren eksiksiz bir dosyanın sunulmasını içerir [272].

Belgelerin değerlendirilmesinden sonra, ürün belirli mahsuller, zararlılar ve kullanım koşulları için yetkilendirilebilir. Yetkilendirme etken madde ile ilgili riskler hakkında yeni bilimsel veriler elde edildiğinde iptal edilebilir [273].

### ➤ **Kullanım Koşulları ve Sınırlamaları**

İzin verilen ürünler, yasal geçerliliği olan etiket üzerinde belirtilen talimatlara uygun olarak kullanılabilir. Etiket, tedavi edilen mahsulleri, önerilen dozları, maksimum uygulama sayısını, hasat öncesi aralığı ve operatör koruma önlemlerini belirtir [274].

Bu koşullara uyulmaması, maksimum kalıntı sınırlarının aşılmasıyla tüketici sağlığı için risklere yol açabileceği gibi, çevre üzerinde de olumsuz etkilere neden olabilir [275].

### ➤ **Yüksek Riskli Maddelere İlişkin Kısıtlamalar**

Aşırı tehlikeli olarak sınıflandırılan aktif maddeler sıkı kısıtlamalara tabidir veya tamamen yasaklanabilir. Bu kısıtlamalar, endokrin bozucu etkileri olan, çevrede kalıcı olan veya tozlayıcılar ve sucul organizmalar için yüksek derecede toksik olan maddelere uygulanır [276].

Bazı durumlarda, kullanım yalnızca özel koşullar altında, eğitimli profesyonel kullanıcılar için ve ek koruyucu önlemler alınarak izin verilir [277].

### ➤ **Geçici İzinler ve İstisnalar**

Karantina organizmalarının ortaya çıkması veya ciddi haşere salgınları gibi istisnai durumlarda, normalde izin verilmeyen ürünler için geçici izinler verilebilir. Bu istisnalar süre sınırlıdır ve etkili alternatiflerin bulunmaması ile gerekçelendirilmelidir [278].

Bu önlemlerin amacı, güvenlik ve çevre koruma hedeflerinden ödün vermeden bitki korumasını sağlamaktır [279].

#### ➤ **Mekansal ve Çevresel Kısıtlamalar**

Korunan doğal alanlar, su yollarına yakın alanlar, yerleşim alanları ve eğitim kurumları gibi hassas alanlarda pestisit kullanımı özel kısıtlamalara tabidir. Bu alanlarda, belirli maddeler için minimum koruma mesafeleri ve yasaklar geçerlidir [280].

Bu önlemler, çevresel kirliliği önlemek ve nüfusun maruz kalmasını azaltmak amacıyla alınmıştır [281].

#### ➤ **İzin Koşullarına Uygunluğun İzlenmesi**

Yetkili makamlar, izin koşullarına ve kullanım kısıtlamalarına uyumu doğrulamak için periyodik denetimler gerçekleştirir. Satın alma belgeleri, işlem kayıtları ve ürün uygulama yöntemleri kontrol edilir [282].

Uyumsuzluk tespit edildiğinde, ihlallerin ciddiyetine bağlı olarak idari para cezası uygulanabilir [283].

### **Sonuç**

Bitki koruma ürünlerinin yetkilendirilmesi ve kullanımına getirilen kısıtlamalar, pestisitlerle ilişkili riskleri yönetmek için temel araçlardır. Sıkı bilimsel değerlendirmeler, açık kullanım koşulları ve etkili kontrol mekanizmaları, insan sağlığının, çevrenin ve tüketicilerin korunmasını sağlar ve Romanya tarımında bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına katkıda bulunur [284].

#### **4.4. MADR, ANF, APIA, AFIR, AFM'nin rolü**

Romanya'da pestisit kullanımına ilişkin yasal çerçevenin uygulanması ve yürürlüğe konması, tarım, çevre koruma, gıda güvenliği ve kamu fonu yönetimi alanlarında her biri belirli sorumluluklara sahip olan çeşitli kamu kurumlarını ilgilendirmektedir. Tarım ve Kırsal Kalkınma Bakanlığı (MADR), Ulusal Bitki Sağlığı Otoritesi (ANF), Tarımda Ödemeler ve Müdahale Ajansı (APIA), Kırsal Yatırımları Finansman Ajansı (AFIR) ve Çevre Fonu İdaresi (AFM) , yetki alanları dahilinde bitki koruma ürünlerinin kontrollü ve güvenli kullanımının sağlanmasına katkıda bulunmaktadır [285].

#### ✓ **Tarım ve Kırsal Kalkınma Bakanlığı'nın (MADR) rolü**

Tarım ve Kırsal Kalkınma Bakanlığı, bitki koruma ürünlerinin kullanımı da dahil olmak üzere tarım alanında ulusal politikaların geliştirilmesinden sorumlu merkezi otoritedir. MADR, Avrupa mevzuatının ulusal hukuka aktarılmasını koordine eder, ulusal stratejiler ve eylem planları geliştirir ve pestisitlerle ilişkili riskleri azaltmak için öncelikler belirler [286].

Bakanlık ayrıca bağı kurumları koordine eder, iyi tarım uygulamalarını teşvik eder ve 2009/128/EC Direktifi'nin gerekliliklerine uygun olarak entegre haşere yönetiminin uygulanmasını destekler [287].

#### ✓ **Ulusal Bitki Sağlığı Otoritesinin (ANF) Rolü**

Ulusal Bitki Sağlığı Otoritesi, bitki koruma ürünlerinin teknik yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. ANF, pestisitlerin kullanımının değerlendirilmesi, yetkilendirilmesi ve izlenmesinden ve ulusal düzeyde bitki sağlığı kontrollerinin yürütülmesinden sorumludur [288].

Kurum, kullanım koşullarına uygunluğu doğrular, ürünlerin pazarlanmasını kontrol eder, pestisit kalıntılarını izler ve bitki sağlığı riskli durumlarda müdahale eder. ANF ayrıca çiftçileri bilgilendirme ve profesyonel kullanıcıları eğitme konusunda da katkıda bulunur [289].

#### ✓ **Tarımda Ödemeler ve Müdahale Ajansı'nın (APIA) rolü**

Tarımda Ödemeler ve Müdahale Ajansı, Ortak Tarım Politikası kapsamında çiftçilere yapılan doğrudan ödemeleri ve mali desteği yönetir. Bu bağlamda APIA, sübvansiyonların verilmesini çevre, gıda güvenliği ve sürdürülebilir pestisit kullanımı gerekliliklerine uyumlu ilişkilendirir [290].

Eko-koşulluluk sistemi aracılığıyla, çiftçiler bitki koruma ürünlerinin uygulanmasına ilişkin kurallar da dahil olmak üzere iyi tarım uygulamalarına uymakla yükümlüdür. Bu kurallara uyulmaması, ödemelerin azaltılmasına veya askıya alınmasına neden olabilir [291].

#### ✓ **Kırsal Yatırım Finansmanı Ajansı'nın (AFIR) rolü**

Kırsal Yatırımları Finansman Ajansı, yatırım projelerini finanse ederek tarımın modernizasyonunu destekleme rolünü üstlenmiştir. AFIR, modern püskürtme ekipmanlarının, hassas tarım sistemlerinin ve pestisit kullanımının çevresel etkisini azaltan teknolojilerin satın alınmasını desteklemektedir [292].

AFIR, kırsal kalkınma programları aracılığıyla bitki sağlığı tedavilerinin güvenliğini artırmaya ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmeye katkıda bulunur [293].

#### ✓ **Çevre Fonu İdaresi'nin (AFM) rolü**

Çevre Fonu İdaresi'nin ana hedefi, çevre koruma projelerini finanse etmektir. Pestisit kullanımı alanında AFM, toprak ve su kirliliğini azaltmayı, tehlikeli atıkları yönetmeyi ve çevre dostu alternatifleri teşvik etmeyi amaçlayan girişimleri desteklemektedir [294].

AFM, pestisit ambalajlarının toplanması ve etkisiz hale getirilmesi için projelerin yanı sıra kimyasalların yanlış kullanımının riskleri hakkında bilgilendirme kampanyalarını finanse etmektedir [295].

### ✓ Kurumlar arası işbirliği

Pestisit düzenleme sisteminin etkin işleyişi, ilgili kurumlar arasındaki işbirliğine bağlıdır. MADR, ANF, APIA, AFIR ve AFM, kamu politikalarının uygulanması, bilgi alışverişi ve kontrollerin koordinasyonu için işbirliği yapmaktadır [296].

Bu işbirliği, yüksek düzeyde halk sağlığı korumasının sağlanmasına, pestisitlerin uygunsuz kullanımının önlenmesine ve hem ulusal hem de Avrupa düzeyinde belirlenen çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesine katkıda bulunmaktadır [297].

### Sonuç

Romanya'daki kamu kurumları, pestisit kullanımına ilişkin yasal çerçevenin uygulanmasında temel bir rol oynamaktadır. MADR, ANF, APIA, AFIR ve AFM, politika geliştirme, ürün ruhsatlandırma, kullanım kontrolü, fon yönetimi ve çevre projelerinin finansmanı yoluyla bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına katkıda bulunmaktadır. Bu kurumların koordineli eylemi, halk sağlığının ve çevrenin korunması ve sürdürülebilir tarımın geliştirilmesi için çok önemlidir [298].

## 4.5. Kullanıcıların Sertifikasyonu ve Resmi Kontroller

Bitki koruma ürünleri kullanıcılarının sertifikasyonu ve resmi kontrollerin gerçekleştirilmesi, pestisitlerin güvenli ve sorumlu kullanımına ilişkin düzenleyici çerçevenin temel unsurlarıdır. Bu mekanizmalar, Avrupa Birliği mevzuatı ve ulusal düzenlemelere uygun olarak, operatörlerin mesleki yeterliliğini, yasal kullanım koşullarına uyumu ve insan sağlığı ve çevreye yönelik risklerin azaltılmasını sağlamayı amaçlamaktadır [299].

### ● Profesyonel kullanıcı sertifikasyonunun gerekliliği

Pestisitlerin kullanımı önemli riskler içerir, bu nedenle mevzuat profesyonel kullanıcıların sertifikalandırılmasını gerektirir. Sertifikasyon, operatörlerin ürün toksikolojisi, koruyucu önlemler, doğru uygulama teknikleri ve risk yönetimi konusunda bilgi sahibi olduklarını kanıtlar [300]. Bu sistem, kazaları azaltmayı, kontrolsüz maruziyeti önlemeyi ve bitki koruma ürünlerinin etiketindeki talimatlara uygun olarak doğru şekilde uygulanmasını sağlamayı amaçlamaktadır [301].

### ● Romanya'da Sertifikasyon için Yasal Çerçeve

Romanya'da, profesyonel kullanıcıların sertifikasyonu, 2009/128/EC Direktifini uyarlayan mevzuatla düzenlenmektedir. Bu, eğitim kurslarına katılım ve beceri değerlendirme sınavlarını geçmeyi gerektirir [302].

Kullanıcı sertifikası sınırlı bir süre için geçerlidir ve sürekli eğitim programları aracılığıyla yenilenmesi gerekir. Bu mekanizma, bilginin yasal değişikliklere ve uygulama teknolojilerindeki gelişmelere göre sürekli olarak güncellenmesini sağlar [303].

- **Eğitim Programlarının İçeriği**

Mesleki eğitim programları, pestisit sınıflandırması, risk değerlendirmesi, koruyucu ekipman, püskürtücülerin kalibrasyonu ve bakımı, sürüklenme önleme tedbirleri ve çevre koruma ile ilgili kavramları içerir [304]. Programlar ayrıca ambalaj yönetimi, ürün depolama ve kaza veya kazara kirlenme durumunda müdahale ile ilgili konuları da kapsar [305].

- **Dağıtıcıların ve Danışmanların Sertifikasyonu**

Mevzuat, kullanıcıların yanı sıra bitki koruma alanındaki distribütörlerin ve danışmanların da sertifikalandırılmasını gerektirmektedir. Distribütörler, ürün kullanımıyla ilgili doğru bilgiler sağlamalı, danışmanlar ise entegre haşere yönetimi ilkelerine uygun çözümleri teşvik etmelidir [306]. Bu yaklaşım, ilgili tüm aktörler için tutarlı bir bilgi ve hesap verebilirlik sisteminin oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır [307].

- **Pestisit Kullanımına İlişkin Resmi Kontroller**

Yetkili makamlar, bitki koruma ürünlerinin pazarlanması, depolanması ve kullanımına ilişkin mevzuata uygunluğu doğrulamak için resmi kontroller gerçekleştirir. Bu kontroller çiftçileri, distribütörleri ve hizmet sağlayıcıları hedef alır [308].

Eğitim sertifikalarının varlığı, izin verilen dozlara uyum, tedavi kayıtları, depolama koşulları ve uygun ekipman kullanımı doğrulanır [309].

- **Kalıntıların ve Çevresel Etkilerin İzlenmesi**

Resmi kontrollerin önemli bir yönü, tarım ürünleri, toprak ve sudaki pestisit kalıntılarının izlenmesidir. Laboratuvar analizleri, maksimum kalıntı sınırlarına uyumun değerlendirilmesini ve tüketiciler için potansiyel risklerin belirlenmesini sağlar [310]. Biyoçeşitlilik, özellikle tozlayıcılar ve sucul organizmalar üzerindeki etkiler de izlenir [311].

- **Yaptırımlar ve Düzeltici Önlemler**

İhlal durumlarında, yetkililer suçun ciddiyetine bağlı olarak idari, idari para cezası veya cezai yaptırımlar uygulayabilir. Önlemler arasında uyarılar, para cezaları, faaliyetin askıya alınması veya kullanıcı sertifikalarının geri alınması yer alabilir [312].

Yaptırımların amacı sadece cezalandırıcı değil, aynı zamanda önleyici olup, uygun olmayan davranışları düzeltmeyi ve sorumluluk düzeyini artırmayı amaçlamaktadır [313].

## **Sonuç**

Kullanıcı sertifikasyonu ve resmi kontroller, pestisit kullanım yönetim sisteminin temel dayanaklarıdır. Operatörlerin uygun şekilde eğitilmesi, uygulamaların sıkı bir şekilde izlenmesi ve uyumsuzluk durumlarında yaptırımların uygulanmasıyla insan sağlığı, çevre ve tüketicilerin korunması sağlanır. Bu mekanizmalar, sürdürülebilir bitki koruma ürünleri politikalarının etkili bir şekilde uygulanmasına ve sorumlu tarımın geliştirilmesine katkıda bulunur [314].

## **5. Operatör Koruması ve İş Güvenliği**

### **5.1. Mesleki Riskler**

Bitki koruma ürünlerinin kullanımı, operatörleri aktif maddelerin toksik özellikleri, ürünlerin kullanım şekli ve tarlada veya koruma alanlarında uygulama koşulları tarafından belirlenen bir dizi mesleki riske maruz bırakır. Tarım işçilerinin sağlığının korunması, hem Avrupa Birliği düzeyinde hem de ulusal mevzuatla düzenlenen iş sağlığı ve güvenliği politikalarının önceliğidir [315].

Pestisit kullanımıyla ilişkili mesleki riskler, kimyasal, fiziksel, biyolojik ve organizasyonel riskler olarak sınıflandırılabilir ve her biri kısa veya uzun vadede operatörlerin sağlığını etkileyebilir [316].

#### **■ Kimyasal Riskler**

Ana risk kategorisi, bitki koruma ürünlerinde bulunan kimyasallara maruz kalmadır. Bu maruz kalma, cilt teması, solunum veya kazara yutma yoluyla gerçekleşebilir. Aktif maddeler tahrişe, akut zehirlenmeye, solunum bozukluklarına, nörolojik bozukluklara ve bazı durumlarda kanser veya endokrin bozuklukları gibi kronik etkilere neden olabilir [317].

Risk düzeyi, ürünün toksisitesine, çözeltinin konsantrasyonuna, maruz kalma süresine ve koruyucu önlemlere uyulmasına bağlıdır. Çözelti hazırlama, uygulama veya ekipman temizliği sırasında pestisitlerin uygun olmayan şekilde kullanılması, maruz kalma olasılığını önemli ölçüde artırır [318].

#### **■ Fiziksel Riskler**

Fiziksel riskler, püskürtme ekipmanının kullanımıyla ilişkilidir ve mekanik kazalar, kayma, düşme, çarpma veya elektrik çarpması gibi durumları içerir. Tarım makinelerinin, özellikle kendinden tahrikli veya çekilen ekipmanların kullanımı, engebeli arazide hareket etme ve basınçlı bileşenlerin kullanımıyla ilgili ek riskler içerir [319].

Gürültü, titreşim ve olumsuz hava koşullarına maruz kalmak da uzun vadeli sağlık sorunlarına katkıda bulunabilir [320].

### ■ **Biyolojik Riskler**

Bazı durumlarda, operatörler tarım ortamında bulunan toprak mikroorganizmaları, küfler veya alerjenler gibi biyolojik ajanlara maruz kalabilir. Bunlar, özellikle seralar gibi kapalı alanlarda çalışırken alerjik reaksiyonlara, enfeksiyonlara veya solunum problemlerine neden olabilir [321].

Biyolojik riskler pestisitlerle doğrudan ilişkili olmasa da, çalışma koşulları ve yetersiz hijyen önlemleri nedeniyle artabilir [322].

### ■ **Örgütsel ve İnsani Riskler**

Eğitim eksikliği, aşırı çalışma, uzun çalışma saatleri ve ekonomik baskı gibi örgütsel faktörler, mesleki risklerin artmasına katkıda bulunabilir. Yeterli eğitim almamış operatörler, bitki koruma ürünlerini yanlış kullanabilir, koruyucu önlemleri göz ardı edebilir veya etiketleri yanlış yorumlayabilir [323].

Yorgunluk ve stres, kullanım hatalarına yol açarak kaza ve toksik maddelere maruz kalma olasılığını artırabilir [324].

### ■ **Operatör Sağlığı Üzerindeki Etkiler**

Pestisitlere akut maruz kalma, mide bulantısı, baş dönmesi, baş ağrısı, cilt ve göz tahrişi, solunum güçlüğü ve ciddi vakalarda ciddi zehirlenme gibi semptomlara neden olabilir. Kronik maruz kalma, nörolojik bozukluklar, hormonal bozukluklar, doğurganlık sorunları ve kanser riskinin artmasıyla ilişkilidir [325].

İşçilerin sağlığının izlenmesi ve olayların raporlanması, uzun vadeli etkilerin önlenmesi için çok önemlidir [326].

### ■ **Mesleki Risklerin Önlenmesi**

Mesleki risklerin azaltılması, kişisel koruyucu ekipman kullanımı, iş prosedürlerine uyum, operatörlerin sürekli eğitimi ve modern pestisit uygulama teknolojilerinin kullanımı gibi önleme ilkelerinin uygulanmasına dayanmaktadır [327]. Periyodik işyeri risk değerlendirmeleri, tehlikelerin belirlenmesi ve gerekli düzeltici önlemlerin alınmasını sağlar [328].

### **Sonuç**

Pestisit kullanımıyla ilişkili mesleki riskler, önemli bir iş sağlığı ve güvenliği sorunu oluşturmaktadır. Kimyasallara maruz kalma, fiziksel, biyolojik ve organizasyonel riskler, operatörlerin sağlığını önemli ölçüde etkileyebilir. Uygun eğitim, güvenlik prosedürlerine uyum ve koruyucu ekipman kullanımı yoluyla bu riskler azaltılabilir, bu da tarım işçilerinin korunmasına ve faaliyetlerin güvenli bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunur [329].

## 5.2. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)

Kişisel koruyucu ekipman, pestisit kullanımıyla ilişkili mesleki riskleri önleme sisteminin önemli bir parçasıdır. Cildi, solunum sistemini, gözleri ve sindirim sistemini koruyarak operatörlerin toksik maddelere maruz kalmasını azaltmayı amaçlamaktadır. KKE'nin doğru kullanımı, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının temel bir gerekliliğidir ve iyi tarım uygulamalarının zorunlu bir bileşenidir [330].

Kişisel koruyucu ekipmanların sağladığı koruma, çalışma prosedürlerine uyumu veya güvenli teknolojilerin kullanımını ikame edemez, ancak özellikle ekipmanın taşınması, hazırlanması, uygulanması ve temizlenmesi sırasında bitki koruma ürünleriyle doğrudan teması sınırlandırmaya önemli ölçüde katkıda bulunur [331].

### ◆ KKD Kullanımına İlişkin Düzenleyici Çerçeve

Kişisel koruyucu ekipman kullanımı, iş sağlığı ve güvenliği alanında Avrupa ve ulusal mevzuatla düzenlenmektedir. 89/656/EEC sayılı Direktif ve Romanya'da bunu uygulayan mevzuat, işverenlerin ilgili risklere uygun KKD sağlamasını ve çalışanları bu ekipmanın kullanımını konusunda eğitmesini gerektirmektedir [332].

Pestisitler alanında, ürün etiketlerinde gerekli ekipman türü belirtilir ve bu talimatlara uyulmaması yaptırımlara ve sağlık risklerinin artmasına neden olabilir [333].

### ◆ Kişisel Koruyucu Donanım Türleri

Pestisit uygulama faaliyetlerinde kullanılan KKD'ler arasında koruyucu giysiler, eldivenler, ayakkabılar, gözlükler, siperlikler ve solunum koruyucu ekipmanlar bulunur. Giysiler, kimyasalların nüfuz etmesini önleyebilecek geçirimsiz veya düşük geçirgenlikli malzemelerden yapılmalıdır [334].

Eldivenler ciltle teması önlemek için gereklidir ve kimyasallara dayanıklı, nitril, neopren veya diğer sertifikalı malzemelerden yapılmış olmalıdır. Ayakkabılar, kazara kontaminasyonu önlemek için kaymaz, geçirimsiz ve temizlenmesi kolay olmalıdır [335].

Göz koruması, kazara sıçramayı önleyen sıkı oturan gözlükler veya vizörler kullanılarak sağlanır. Solunum koruması, özellikle kapalı alanlarda veya yoğun püskürtme koşullarında, kullanılan madde türüne uygun filtrelerle sahip maskelerle sağlanır [336].

### ◆ Uygun Ekipmanın Seçimi

KKD seçimi, bitki koruma ürününün türü, uygulama yöntemi, maruz kalma süresi ve çalışma koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır. Uçucu veya yüksek derecede toksik maddeler daha yüksek solunum koruması gerektirir ve seralarda çalışmak, açık tarlalarda uygulamaya kıyasla daha yüksek düzeyde koruma gerektirir [337].

Ekipman, faaliyet boyunca doğru şekilde giyilmesini sağlamak için Avrupa sertifikasyon standartlarına uygun olmalı ve kullanıcının bedenine ve rahatlığına uygun olmalıdır [338].

#### ◆ **KKD'nin Doğru Kullanımı**

KKD, konsantre ürünlerin taşınması, çözeltinin hazırlanması, pestisitlerin uygulanması ve ekipmanın temizlenmesi dahil olmak üzere maruz kalma riski olan tüm aşamalarda giyilmelidir. Cilt kontaminasyonunu önlemek için ekipman, belirlenen prosedürlere uygun olarak giyilmeli ve çıkarılmalıdır [339].

Ekipmanın kullanımdan önce kontrol edilmesi ve hasarlı ekipmanın değiştirilmesi önemlidir. KKD'nin eksik veya yanlış giyilmesi, sağladığı koruma düzeyini önemli ölçüde azaltır [340].

#### ◆ **KKD'nin Bakımı ve Saklanması**

Kişisel koruyucu ekipman, diğer kişilerin veya çevrenin kirlenmesini önleyecek prosedürler kullanılarak her kullanımdan sonra temizlenmelidir. Depolama, bitki koruma ürünlerinden ayrı alanlarda, malzemenin bozulmasını önleyecek koşullarda yapılmalıdır [341]. Kirlenmiş KKD, kişisel kullanım amaçlı alanlara taşınmamalı ve koruyucu giysiler normal giysilerle birlikte yıkanmamalıdır [342].

#### ◆ **Koruyucu Ekipmanın Sınırlamaları**

KKD riskleri önemli ölçüde azaltmasına rağmen, mutlak koruma sağlamaz. Uzun süreli kullanım, termal rahatsızlık, yorgunluk ve dehidrasyona neden olabilir ve bu da çalışma kapasitesini ve güvenlik prosedürlerine uyumu etkileyebilir [343].

Ayrıca, KKD kullanımı, pestisitlerin yanlış uygulanmasını veya operatörlerin eğitimsizliğini telafi edemez [344].

#### **Sonuç**

Kişisel koruyucu ekipman, pestisit kullanımıyla ilişkili mesleki riskleri önleme sisteminin temel bir bileşenidir. KKD'nin doğru seçimi, uygun kullanımı ve yeterli bakımı ile operatörlerin toksik maddelere maruz kalması önemli ölçüde azaltılabilir. KKD'nin rutin çalışma uygulamalarına entegre edilmesi, çalışanların sağlığının korunmasına ve güvenli tarımsal faaliyetlerin sağlanmasına katkıda bulunur [345].

### **5.3. Kabinler ve Filtreler Aracılığıyla Koruma**

Basınçlı kabinler ve hava filtreleme sistemleri aracılığıyla operatörlerin korunması, pestisit maruziyetini azaltmaya yönelik modern stratejilerin önemli bir bileşenidir. Sızdırmaz kabinlerle donatılmış mekanize ekipmanların kullanımı, özellikle geniş alanlarda veya yüksek riskli koşullarda çalışırken, bitki koruma uygulamaları sırasında kimyasal maddelerle teması sınırlandırmaya önemli ölçüde katkıda bulunur [346].

Koruyucu ekipman giyilmesine dayanan geleneksel kişisel korumadan farklı olarak, kabin koruması tüm çalışma süreci boyunca solunum ve cilt teması yoluyla maruziyeti azaltarak ek bir güvenlik düzeyi sağlar [347].

Modern tarım makinelerinin kabinleri, dışardan izole edilmiş bir ortam yaratmak üzere tasarlanmıştır ve böylelikle pestisit aerosolleri, toz ve diğer kirleticilerin içeri girmesini sınırlamaktadır. Kabinler, içeride temiz hava akışını sağlayan sızdırmazlık ve basınçlandırma sistemleriyle donatılmıştır [348].

Pozitif basıncı koruyarak, kabindeki hava dışarıya tahliye edilir ve kirli havanın sızması önlenir. Bu mekanizma, püskürtme sırasında toksik maddelerin solunması riskini önemli ölçüde azaltır [349].

#### ❖ **Koruyucu Kabinlerin Sınıflandırılması**

Kabinler, Avrupa standartlarına uygun olarak sağladıkları koruma düzeyine göre sınıflandırılır. Toz ve kokuları azaltmak için tasarlanmış temel korumalı kabinler ve tehlikeli bitki koruma ürünleriyle çalışmak için tasarlanmış gelişmiş korumalı kabinler bulunmaktadır [352].

Daha yüksek seviyeli kabinler, operatöre güvenli bir ortam sağlamak için verimli filtreleme sistemleri, geliştirilmiş sızdırmazlık ve iç basınç izleme ile donatılmıştır [353].

#### ❖ **Filtreleme Sistemlerinin Bakımının Önemi**

Kabin korumasının etkinliği, filtrelerin durumuna ve sistemin sızdırmazlığına doğrudan bağlıdır. Filtre malzemeleri zamanla doyar ve etkinliğini yitirir, bu nedenle filtreler üreticinin önerilerine göre periyodik olarak değiştirilmelidir [354].

Bakımın ihmal edilmesi, modern kabinlerde bile kirli havanın sızmasına ve operatörün maruz kalmasına neden olabilir [355].

#### ❖ **Kabin İçinde Solunum Koruması**

Kabin yüksek düzeyde koruma sağlasa da, belirli durumlarda ek solunum koruyucu ekipman kullanımı gereklidir. Bu, yüksek derecede toksik maddelerle çalışırken, yüksek sıcaklık koşullarında veya havalandırması yetersiz alanlarda tavsiye edilir [356]. Kabin ve solunum korumasının birleşimi, operatör için maksimum güvenlik sağlar [357].

#### ❖ **Basıncı Kabin Kullanımının Avantajları**

Kabin koruması, pestisit maruziyetini önemli ölçüde azaltmak, operatör konforunu artırmak, çalışma koşullarını iyileştirmek ve akut zehirlenme riskini azaltmak gibi birçok fayda sağlar [358]. Ayrıca, basınçlı kabinlerde çalışan operatörler, olumsuz hava koşullarından daha az etkilenir, bu da dikkat ve profesyonel performansın korunmasına katkıda bulunur [359].

## ❖ Sınırlamalar ve Pratik Hususlar

Kabin koruması, çözelti hazırlama, ekipman yakıt ikmali veya makine bakımı sırasında maruz kalma olabileceğinden riskleri tamamen ortadan kaldırmaz. Bu aşamalarda kişisel koruyucu ekipman kullanımı zorunlu olmaya devam eder [360]. Ayrıca, yüksek performanslı kabinlere sahip ekipmanların yüksek maliyeti, küçük çiftliklerin bu teknolojilere erişimini sınırlayabilir [361].

### **Sonuç**

Kabin koruma ve hava filtreleme sistemleri, bitki koruma uygulamaları sırasında operatörün pestisitlere maruz kalmasını azaltmak için etkili bir çözümdür. Basınçlı kabinlerin kullanımı, uygun filtre bakımı ve güvenlik prosedürlerine uyum, tarım işçilerinin sağlığı için yüksek düzeyde koruma sağlayabilir. Bu teknolojilerin tarımsal faaliyetlere entegrasyonu, çalışma koşullarının iyileştirilmesine ve bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına katkıda bulunur [362].

### **Hijyen ve Dekontaminasyon Prosedürleri**

Hijyen ve dekontaminasyon prosedürleri, bitki koruma ürünlerini kullanan operatörler için koruma sisteminin temel bir parçasıdır. Bu prosedürler, cilt, giysi, ekipman ve çevrenin kirlenmesini önlemek ve pestisitlere kazara maruz kalma ile ilişkili riskleri azaltmak için tasarlanmıştır. Hijyen önlemlerinin doğru uygulanması, tarım işçilerinin sağlığının korunmasına ve çevreye olan zararlı etkilerin sınırlandırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunur [363].

Kontaminasyon, konsantre ürünlerin taşınması, çözeltilerin hazırlanması, uygulamaların yapılması ve ekipmanın temizlenmesi dahil olmak üzere iş sürecinin tüm aşamalarında meydana gelebilir. Bu nedenle hijyen prosedürleri günlük faaliyetlere sistematik olarak entegre edilmelidir [364].

#### ➤ **Operatörlerin Kişisel Hijyeni**

Kişisel hijyen, pestisit maruziyetine karşı ilk savunma hattıdır. Operatörler, maddelerin cilt, göz ve ağızla doğrudan temasından kaçınmalı ve sıkı temizlik kurallarına uymalıdır. Bitki koruma ürünlerini kullandıktan hemen sonra ve yemek yemeden, sıvı tüketmeden veya sigara içmeden önce eller sabun ve suyla yıkanmalıdır [365]. Ayrıca, pestisit kalıntılarını gidermek için iş bittikten sonra yüz ve vücudun diğer açıkta kalan bölgelerinin yıkanması önerilir [366].

#### ➤ **Giysilerin ve KKD'nin Dekontaminasyonu**

İş giysileri ve KKD'ler pestisit kalıntılarını tutabilir ve bu da ikincil maruziyet kaynağı olabilir. Kullanımdan sonra, uygun deterjanlar ve bol su kullanılarak normal giysilerden ayrı olarak temizlenmelidir [367].

Eldivenler, tulumlar ve ayakkabılar hasar açısından kontrol edilmeli ve artık yeterli koruma sağlamadıkları takdirde değiştirilmelidir. KKD, kimyasallardan ayrı, temiz ve kuru alanlarda saklanmalıdır [368].

➤ **Püskürtme Ekipmanının Temizlenmesi ve Dekontaminasyonu**

Pestisit uygulaması için kullanılan ekipman, kalıntı birikimini ve farklı ürünler arasında çapraz kontaminasyonu önlemek için her kullanımdan sonra temizlenmelidir. Tank, hortumlar, filtreler ve nozullar, üreticiler tarafından önerilen prosedürlere uygun olarak temiz su ile yıkanmalıdır [369].

Yıkama için kullanılan su, toksik maddeler içerebileceğinden suyollarına, toprağa veya kontrolsüz kanalizasyon sistemlerine boşaltılmamalıdır. Dekontaminasyon, kalıntıları toplama ve zararsız hale getirme sistemlerine sahip, özel olarak belirlenmiş alanlarda gerçekleştirilmelidir [370].

➤ **Dökülmelerin ve Kazara Kirlenmenin Yönetimi**

Kazara pestisit dökülmesi durumunda, maddelerin yayılmasını sınırlamak için acil müdahale gerekir. Kirlenen alan izole edilmeli ve dökülen ürünü toplamak için emici malzemeler kullanılmalıdır [371].

Toplandıktan sonra, kalıntılar tehlikeli atıklarla ilgili yönetmeliklere uygun olarak bertaraf edilmeli, kirlenen yüzeyler yıkanmalı ve uygun şekilde etkisiz hale getirilmelidir [372].

➤ **Çalışma ve Depolama Alanlarında Hijyen**

Bitki koruma ürünlerinin depolandığı veya kullanıldığı alanlar temiz ve iyi havalandırılmış olmalıdır. Yüzeyler periyodik olarak temizlenmeli ve kaplar etiketleri bozulmamış şekilde orijinal ambalajlarında saklanmalıdır [373].

Kazara kontaminasyonu önlemek için pestisitler gıda, içecek veya hayvan yemi yakınında depolanmamalıdır [374].

➤ **Hijyen Prosedürlerinin Uygulanmasında Eğitimin Rolü**

Hijyen ve dekontaminasyon prosedürlerine uyum, büyük ölçüde operatörlerin eğitim düzeyine bağlıdır. Eğitim kursları, maruz kalma riskleri, doğru temizlik yöntemleri ve acil durum yönetimi hakkında bilgiler içermelidir [375].

Eğitilmiş operatörler hijyenin öneminin daha fazla farkındadır ve önleyici tedbirleri daha sıkı bir şekilde uygularlar [376].

➤ **Sağlık ve Çevre Üzerindeki Etkisi**

Hijyen prosedürlerinin doğru uygulanması, zehirlenme, cilt tahrişi ve çevrenin kazara kirlenme riskini azaltır. Pestisit kalıntılarının yayılmasını önleyerek, toprak, su ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etki sınırlandırılır [377].

Ayrıca, özellikle kirlenmiş giysiler yoluyla operatörlerin aile üyelerinin maruz kalma riskini de azaltır [378].

### **Sonuç**

Hijyen ve dekontaminasyon prosedürleri, pestisit kullanan operatörlerin korunmasında önemli bir bileşendir. Kişisel temizlik önlemlerinin, ekipman dekontaminasyonunun ve uygun atık yönetiminin titizlikle uygulanmasıyla sağlık ve çevre riskleri önemli ölçüde azaltılabilir. Bu prosedürlerin günlük çalışmalara entegre edilmesi, bitki koruma ürünlerinin güvenli ve sorumlu kullanımına katkıda bulunur [379].

### **5.5. İlk Yardım ve Kaza Yönetimi**

Bitki koruma ürünlerinin kullanımı, akut zehirlenme, toksik maddelerle kazara temas veya çevre kirliliği gibi kazalara ve acil durumlara yol açabilecek riskler içerir. Hızlı ilk yardım ve uygun kaza yönetimi, operatörlerin sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sınırlamak ve sonuçların daha da kötüleşmesini önlemek için gerekli önlemlerdir [380].

Personelin yeterli eğitimi, açık prosedürlerin varlığı ve ilk yardım ekipmanına erişim, pestisitlere kazara maruz kalma durumunda etkili müdahale için temel koşullardır [381].

#### **✓ Pestisit Kullanımıyla İlişkili Kaza Türleri**

Kazalar arasında soluma, yutma veya cilt teması yoluyla zehirlenme, göze kazara sıçrama, konsantre ürünlerin dökülmesi, ekipman ve çalışma alanlarının kirlenmesi veya kimyasalların yanlış kullanımı nedeniyle çıkan yangınlar sayılabilir [382].

Bu olayların sıklığı ve ciddiyeti, ürünün toksisitesine, güvenlik önlemlerine uyulmasına ve operatörlerin eğitim düzeyine bağlıdır [383].

#### **✓ İlk Yardımın Genel İlkeleri**

İlk yardım, toksik maddenin emilimini sınırlamak ve kazazedenin durumunu stabilize etmek amacıyla olaydan hemen sonra yapılmalıdır. Müdahale, yardım eden kişilerin daha fazla maruz kalmasını önleyecek şekilde güvenli bir şekilde gerçekleştirilmelidir [384].

Acil durumlar için özel talimatlar içeren ürün etiketindeki veya güvenlik veri formundaki bilgilere başvurmak çok önemlidir [385].

#### **✓ Solunum Zehirlenmesi**

Pestisit buharları veya aerosolleri solunduğunda, etkilenen kişi derhal temiz havaya çıkarılmalıdır. Kirlenmiş giysiler çıkarılmalı ve solunum izlenmelidir. Solunum güçlüğü ortaya çıkarsa, acil tıbbi yardım çağrılmalıdır [386].

Hastayı rahat bir pozisyonda tutmak ve fiziksel efordan kaçınmak, vücuttaki stresi azaltmaya yardımcı olur [387].

### ✓ **Cilt ve Gözle Temas**

Ciltle temas durumunda, etkilenen bölge kimyasalı temizlemek için hemen bol sabun ve suyla yıkanmalıdır. Gözle temas durumunda, gözleri ovuşturmadan kaçınarak en az 10-15 dakika temiz suyla durulayın [388]. Bazı toksik etkiler daha sonra ortaya çıkabileceğinden, semptomlar hafif görünse bile bir doktora danışılması önerilir [389].

### ✓ **Kazara Yutma**

Pestisitlerin yutulması ciddi bir tıbbi acil durumdur. Tıbbi personel veya ürün güvenlik bilgi formunda açıkça belirtilmedikçe kusma yaptırılması önerilmez. Mağdur dinlendirilmeli ve acil servisler derhal uyarılmalıdır [390]. Uygun tedavinin sağlanabilmesi için yutulan ürünle ilgili bilgiler tıbbi personele açıkça iletilmelidir [391].

### ✓ **Dökülme ve Kirlenme Yönetimi**

Kazara pestisit dökülmesi durumunda, diğer kişilerin maruz kalmasını önlemek için alan izole edilmelidir. Madde özel malzemelerle emilmeli ve kalıntılar tehlikeli atık yönetmeliklerine uygun olarak bertaraf edilmelidir [392].

Kontamine olmuş yüzeyler, uygun ekipmanla ve güvenlik prosedürlerine uygun olarak temizlenmelidir [393].

### ✓ **Eğitim ve Acil Durum Planlarının Rolü**

Kazaların sonuçlarını azaltmak için operatörlere ilk yardım ve kaza yönetimi konusunda eğitim verilmesi çok önemlidir. Acil durum planları, açık prosedürler, tanımlanmış sorumluluklar ve tıbbi hizmetler ile toksikoloji merkezlerinin iletişim bilgilerini içermelidir [394].

Periyodik simülasyonlar ve eğitim tatbikatları, gerçek durumlarda müdahale kapasitesinin iyileştirilmesine yardımcı olur [395].

### ✓ **Olayların İzlenmesi ve Raporlanması**

Tüm olaylar yetkili makamlara rapor edilmeli ve çiftliğin iç belgelerine kaydedilmelidir. Bu olayların analizi, nedenlerin belirlenmesi ve tekrarını önlemek için gerekli önleyici tedbirlerin alınmasını sağlar [396]. Sistemik izleme, çalışma koşullarının ve güvenlik seviyelerinin sürekli iyileştirilmesine katkıda bulunur [397].

### **Sonuç**

İlk yardım ve uygun olay yönetimi, pestisit kullanımında operatör koruma sisteminin temel bileşenleridir. Hızlı müdahale, güvenlik prosedürlerine uyum ve personelin yeterli eğitimi, kazaların olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltabilir. Etkili acil durum planlarının uygulanması ve olayların raporlanması, çalışanların sağlığının korunmasına ve bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına katkıda bulunur [398].

## 6. Çevre ve Gıda Zincirinin Korunması

### 6.1. Toprak, Su ve Havayı Koruma

Bitki koruma ürünlerinin kullanımı, çevre bileşenleri, özellikle toprak, su ve hava üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Pestisitler zararlı organizmalarla mücadele etmek için tasarlanmış olsa da, yanlış kullanımı ekosistemlerin kirlenmesine ve ekolojik dengesizliklere yol açabilir. Bu nedenle çevre koruma, ulusal ve Avrupa düzeyinde tarım ve çevre politikalarının temel hedeflerinden biridir [399].

Toprak, su ve hava birbiriyle bağlantılı ortamlardır ve bunlardan birinin kirlenmesi tüm ekolojik sistemi etkileyebilir. Bu bağlamda, pestisitlerin sorumlu kullanımı önleme, risk azaltma ve doğal kaynakların korunması ilkelerine dayalı olmalıdır [400].

#### ● Pestisitlerin Toprak Üzerindeki Etkisi

Toprak, tarımsal faaliyetlerin ana dayanağı ve biyolojik çeşitliliğin önemli bir rezervuarıdır. Pestisitler, doğrudan püskürtme, akış, parçacık sürüklenmesi veya işlenmiş bitki kalıntıları yoluyla toprağa ulaşabilir. Bazı aktif maddeler toprakta uzun süre kalabilir ve mikroorganizmaları, toprak faunasını, mineralleşmeyi ve humus oluşumu gibi temel biyolojik süreçleri etkileyebilir [401].

Toprak kirliliği, verimliliğin azalmasına, biyolojik dengenin bozulmasına ve toksik maddelerin besin zincirine girmesine neden olabilir. Bu nedenle, mevzuat, kullanılan maddelerin türü, uygulanan dozlar ve işlem sıklığı konusunda kısıtlamalar getirmektedir [402].

#### ● Yüzey ve Yeraltı Sularının Korunması

Yüzey ve yeraltı suları, tarım arazilerinden gelen akış, toprak sızması veya aerosol sürüklenmesi yoluyla pestisit kirliliğine karşı savunmasızdır. Su kirliliği, sucul organizmalar üzerinde ciddi etkilere neden olabilir ve içme suyu kaynaklarını tehlikeye atabilir [403].

Bu riskleri önlemek için, su yolları çevresinde koruma bölgeleri oluşturulur, yağmurlu veya rüzgarlı koşullarda pestisit kullanımına kısıtlamalar getirilir ve minimum toprak işleme ve bitkisel şeritlerin kullanımı gibi yüzey akışını azaltan tarım uygulamaları teşvik edilir [404].

#### ● Hava Kirliliği ve Pestisit Sürüklenmesi

Hava, pestisit uygulaması sırasında çözelti damlacıklarının sürüklenmesi veya aktif maddelerin buharlaşmasıyla kirlenebilir. Bu fenomen, komşu parseldeki mahsulleri, yerleşim alanlarını, doğal ekosistemleri ve ayrıca insan sağlığını etkileyebilir [405].

Hava kirliliği, sürüklenmeyi önleyici nozullar kullanarak, püskürtme basıncını doğru ayarlayarak, uygun hava koşullarını gözlemleyerek ve püskürtme bomlarının uygun yüksekliğini koruyarak azaltılabilir [406].

- **Çevre Kirliliğini Önleme Tedbirleri**

Toprak, su ve hava kirliliğini önlemek için bir dizi teknik ve organizasyonel tedbirin uygulanması gerekir. Bunlar arasında ekotoksik etkisi düşük maddelerin seçilmesi, önerilen dozlara uyulması, ekipmanın doğru kalibrasyonu, hassas uygulama teknolojilerinin kullanılması ve operatör eğitimi yer alır [407].

Pestisit ambalajlarının ve atıklarının doğru yönetimi de kirlilik risklerinin azaltılmasına katkıda bulunur [408].

- **Çevre Kalitesi İzleme**

Toprak, su ve havadaki pestisit kalıntılarının izlenmesi, bitki koruma ürünlerinin kullanımının etkisini değerlendirmek için önemli bir araçtır. Ulusal ve Avrupa izleme programları, kirlilik düzeyleri hakkında veri sağlar ve düzeltici önlemlerin alınmasını mümkün kılar [409]. Bu veriler, izinlerin gözden geçirilmesi, kısıtlamaların belirlenmesi ve çevre koruma politikalarının iyileştirilmesi için kullanılır [410].

- **Sürdürülebilir Tarım Uygulamalarının Rolü**

Sıralı ekim, biyolojik haşere kontrol yöntemlerinin kullanımı ve entegre haşere yönetimi gibi sürdürülebilir tarım uygulamaları, pestisitlere olan bağımlılığı azaltmaya ve çevreyi korumaya katkıda bulunur [411]. Kimyasal yöntemleri alternatif çözümlerle birleştirerek, tarımsal verimlilik ile doğal kaynakların korunması arasında bir denge sağlanabilir [412].

### **Sonuç**

Toprak, su ve havanın korunması, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı ve ekolojik dengenin korunması için temel bir koşuldur. Bitki koruma ürünlerinin doğru şekilde uygulanması, yasal kısıtlamalara uyulması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesi ile çevre kirliliği riskleri önemli ölçüde azaltılabilir. Koruyucu önlemlerin tarımsal faaliyetlere entegre edilmesi, doğal kaynakların korunmasına ve gıda zincirinin güvenliğine katkıda bulunur [413].

### **6.2. Biyoçeşitliliğin ve Tozlayıcıların Korunması**

Biyoçeşitlilik, işleyen tarımsal ekosistemlerin temelini oluşturur ve tozlaşma, biyolojik haşere kontrolü, toprak verimliliği ve mahsul üretiminin istikrarı gibi temel hizmetleri sağlar. Pestisit kullanımı, özellikle tozlayıcı böcekler, kuşlar, sucul organizmalar ve toprak faunası dahil olmak üzere hedef olmayan organizmalar üzerindeki etkisiyle bu hizmetleri olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle biyolojik çeşitliliğin korunması, bitki koruma ürünlerinin sürdürülebilir kullanımı konusunda Avrupa ve ulusal politikaların temel hedeflerinden biridir [414].

Tozlayıcılar, özellikle arılar, yaban arıları ve diğer böcekler, birçok kültür bitkisi ve yabancı bitki türünün üremesinde çok önemli bir rol oynar. Tozlayıcı popülasyonlarındaki azalma, habitat kaybı, hastalıklar, iklim değişikliği ve pestisitlere maruz kalma ile ilişkilidir. Bu durum gıda güvenliği ve ekolojik denge konusunda büyük endişeler yaratmaktadır [415].

#### ■ Pestisitlerin Biyoçeşitlilik Üzerindeki Etkisi

Pestisitler, doğrudan toksisite, subletal etkiler ve habitat değişikliği yoluyla biyoçeşitliliği etkileyebilir. Hedef olmayan organizmaların kimyasallara maruz kalması, ölüm, davranış bozuklukları, üreme kapasitesinde azalma ve fizyolojik fonksiyonlarda değişikliklere yol açabilir [416].

Böceklerin yönelim bozukluğu, bağışıklık sisteminin zayıflaması ve beslenme faaliyetlerinin değişmesi gibi subletal etkiler, popülasyonlar üzerinde uzun vadeli sonuçlar doğurabilir ve tarımsal ekosistemler içindeki ekolojik ilişkileri bozabilir [417].

#### ■ Tozlayıcılar için riskler

Tozlayıcılar, çözeltili damlacıklarıyla doğrudan temas, kontamine nektar ve polen tüketimi ve bitkilerdeki veya topraktaki kalıntılarla temas yoluyla pestisitlere maruz kalır. Bazı aktif maddeler böceklerin sinir sistemini etkileyerek yönelim kaybına, uçuş kapasitesinin azalmasına ve tozlaşma verimliliğinin düşmesine neden olabilir [418].

Neonikotinoidler ve nörotoksik etkileri olan diğer maddeler, arı kolonilerinin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir, bu nedenle Avrupa Birliği'nde kullanımları sıkı bir şekilde düzenlenmiştir veya yasaklanmıştır [419].

#### ■ Tozlayıcıların Korunmasına İlişkin Mevzuat Çerçevesi

Avrupa Birliği, tehlikeli maddelere kısıtlamalar, sıkı ekotoksikolojik değerlendirmeler ve çevre dostu tarım uygulamalarının teşvik edilmesi dahil olmak üzere, tozlayıcıları korumak için özel önlemler almıştır. AB Biyoçeşitlilik Stratejisi ve tozlayıcılara yönelik girişimler, ekosistemler üzerindeki insan kaynaklı baskıları azaltmayı amaçlamaktadır [420].

Ulusal düzeyde, mevzuat çiçeklenme dönemlerinde koruyucu önlemler alınmasını, arıcılara pestisit uygulanmadan önce bilgi verilmesini ve arı kovanlarından belirli mesafeye kadar alanların korunmasını öngörmektedir [421].

#### ■ Biyoçeşitliliğe dost tarım uygulamaları

Biyoçeşitliliğin korunması, pestisitlerin etkisini azaltan tarım uygulamalarının benimsenmesiyle desteklenebilir. Bunlar arasında sıralı ekim, biyolojik haşere kontrol yöntemlerinin kullanımı, çiçek şeritlerinin ve verimsiz alanların korunması ve kimyasal işlemlerin kesinlikle gerekli olduğu durumlarla sınırlandırılması sayılabilir [422].

Çiftliklerdeki habitatların çeşitlendirilmesi, tozlayıcıların ve diğer faydalı organizmaların gelişimi için elverişli koşullar yaratır [423].

#### ■ Entegre Zararlı Yönetimi ve Biyoçeşitlilik

Entegre zararlı yönetimi, kimyasal, biyolojik ve tarım teknik yöntemlerin birlikte kullanılmasını teşvik eder ve çevreye etkisi düşük çözümlere öncelik verir. Bu yaklaşım, biyoçeşitliliğin korunmasına ve ekolojik dengenin sürdürülmesine katkıda bulunur [424]. Pestisitlere bağımlılığı azaltarak, IPM hedef olmayan organizmaların maruz kalmasını sınırlar ve tarımsal ekosistemlerin doğal işleyişini destekler [425].

#### ■ Tozlayıcılar Üzerindeki Etkilerin İzlenmesi

Tozlayıcı popülasyonlarını ve pestisitlerin bunlar üzerindeki etkilerini izlemek, risk değerlendirmesi ve koruma politikalarının uyarlanması için çok önemlidir. İzleme programları, tozlayıcı böceklerin bolluğu, çeşitliliği ve sağlığı hakkında veri sağlar [426]. Bu bilgiler, risk faktörlerinin belirlenmesi ve biyolojik çeşitliliği korumak için düzeltici önlemlerin alınmasını sağlar [427].

#### ■ Eğitim ve Kamu Bilinci

Çiftçilere ve genel halka biyolojik çeşitlilik ve tozlayıcıların önemi hakkında bilgi vermek, sorumlu davranışların benimsenmesine katkıda bulunur. Farkındalık kampanyaları, pestisitlerin rasyonel kullanımını ve doğal habitatların korunmasını teşvik eder [428].

Çevre eğitimi, koruma hedeflerinin mevcut tarım uygulamalarına entegre edilmesini destekler [429].

### **Sonuç**

Biyoçeşitliliği ve tozlayıcıları korumak, tarımsal ekosistemlerin işlevselliğini ve gıda güvenliğini sürdürmek için gereklidir. Pestisitlerin sorumlu kullanımı, yasal kısıtlamalara uyum ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesi, hedef olmayan organizmalar üzerindeki etkilerin azaltılmasına katkıda bulunur. Koruma önlemlerini çiftlik yönetimine entegre ederek, verimlilik ve doğa koruma arasında bir denge sağlanabilir [430].

### **6.3. Tampon Bölgeler ve Uygulama Kısıtlamaları**

Tampon bölgeler ve pestisit uygulamalarına getirilen kısıtlamalar, bitki koruma ürünlerinin çevre, insan sağlığı ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için gerekli araçlardır. Bu önlemler, sürüklenmeyi, yüzey akışını ve su, toprak ve hassas habitatların kirlenmesini sınırlamayı amaçlayarak tarımda pestisitlerin sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunur [431]. Tedavi edilen alanlar ile hassas alanlar arasında tampon

bölgeler oluşturularak, hedef olmayan organizmaların ve popülasyonun kullanılan kimyasallara maruz kalmasını azaltan fiziksel ve işlevsel bir bariyer oluşturulur [432].

#### ◆ **Tampon Bölge Kavramı**

Tampon bölge, pestisitlerin uygulandığı alan ile suyolları, yerleşim alanları, korunan doğal alanlar, eğitim kurumları veya arı kovanları gibi hassas hedefler arasındaki arazi şeridi olarak tanımlanır. Tampon bölgenin rolü, hava akımı, su akışı veya toprak erozyonu yoluyla pestisitlerin taşınmasını azaltmaktır [433].

Tampon bölgelerin etkinliği, genişliklerine, bitki örtüsünün türüne, topografyaya ve uygulama sırasındaki hava koşullarına bağlıdır [434].

#### ◆ **Su Kaynaklarının Korunması**

Yüzey ve yeraltı suları, pestisit kirliliğine karşı özellikle hassastır. Kirliliği önlemek için, mevzuat, pestisit uygulamasının kısıtlandığı veya yasaklandığı su yolları, göller ve sulama kanalları boyunca tampon bölgeler oluşturulmasını gerektirmektedir [435]. Bu bölgeler, parçacıkları filtrelemeye ve kimyasal akıntıyı azaltmaya yardımcı olarak su ekosistemlerini ve içme suyu kaynaklarını korumaktadır [436].

#### ◆ **Yerleşim Alanlarının ve Nüfusun Korunması**

Yerleşim alanları, okullar ve sağlık tesislerinin yakınında pestisitlerin uygulanması halk sağlığı için risk oluşturabilir. Bu nedenle, bitki koruma uygulamalarına ilişkin asgari güvenlik mesafeleri ve geçici kısıtlamalar getirilmiştir [437].

Bu önlemler, özellikle çocuklar ve yaşlılar gibi savunmasız gruplar için soluma ve cilt teması yoluyla maruziyeti azaltır [438].

#### ◆ **Biyoçeşitlilik ve Hassas Habitatların Korunması**

Tampon bölgeler, tozlayıcılar da dahil olmak üzere doğal habitatları ve hassas türleri korumada önemli bir rol oynar. Korunan doğal alanların ve kendiliğinden bitki örtüsünün bulunduğu alanların yakınında pestisit kullanımını sınırlayarak, ekosistemler üzerindeki kimyasal baskı azaltılır [439].

Verimsiz bitki örtüsünün bulunduğu şeritlerin korunması, ekolojik dengeye katkıda bulunan yararlı böceklerin, kuşların ve diğer organizmaların gelişimini destekler [440].

#### ◆ **Hava Koşullarına Dayalı Uygulama Kısıtlamaları**

Hava koşulları, pestisitlerin yayılmasını önemli ölçüde etkiler. Kuvvetli rüzgar, yüksek sıcaklıklar veya yağış olasılığı bulunan koşullarda uygulama, kimyasal maddelerin sürüklenmesi ve akma riskini artırır [441]. Bu nedenle, mevzuat ve iyi tarım uygulamaları, bu

tür koşullarda pestisit uygulamasına kısıtlamalar getirir ve işlemlerin yalnızca rüzgar hızı, sıcaklık ve nemin uygun olduğu durumlarda gerçekleştirilmesini önerir [442].

#### ◆ Ürün Türüne Dayalı Kısıtlamalar

Yüksek toksisite veya çevrede kalıcılık ile karakterize edilen belirli aktif maddeler ek kısıtlamalara tabidir. Bunlar arasında belirli dönemlerde uygulama yasakları, işlem sayısının sınırlandırılması ve daha geniş tampon bölgelerin oluşturulması sayılabilir [443].

Bu kısıtlamaların amacı, özellikle önemli ekotoksik potansiyele sahip ürünler söz konusu olduğunda, çevre ve insan sağlığı için riskleri azaltmaktır [444].

#### ◆ Tampon Bölgelere Uyumda Modern Teknolojilerin Rolü

GPS rehberlik sistemleri, sürüklenmeyi önleyici nozullar ve değişken oranlı uygulama gibi modern uygulama teknolojileri, tampon bölgelere daha doğru bir şekilde uyulmasına katkıda bulunur ve ürün kayıplarını azaltır [445]. Bu çözümler, tedavi edilen alanların kesin olarak sınırlandırılmasını sağlar ve hassas alanların kirlenme riskini azaltır [446].

#### Sonuç

Tampon bölgeler ve uygulama kısıtlamaları, çevrenin, biyolojik çeşitliliğin ve halk sağlığının korunması için gerekli önlemlerdir. Güvenli mesafeler belirleyerek, hava koşullarına uyarak ve modern teknolojileri kullanarak, pestisitlerin olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltılabilir. Bu önlemlerin tarım uygulamalarına entegre edilmesi, bitki koruma ürünlerinin sorumlu kullanımına ve doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunur [447].

### 6.4. Pestisit Kalıntıları ve MRL'ler (Maksimum Kalıntı Limitleri)

Pestisit kalıntıları, bitki koruma uygulamalarının ardından tarım ürünlerinin üzerinde veya içinde kalan aktif madde veya bozunma ürünlerinin miktarlarıdır. Gıdalarda bulunmaları önemli bir halk sağlığı sorunudur, bu nedenle Avrupa Birliği mevzuatı, tüketicileri korumak ve gıda zincirinin güvenliğini sağlamak için MRL (Maksimum Kalıntı Limitleri) olarak bilinen maksimum kalıntı limitleri belirlemiştir [448].

Kalıntı kontrolü, nüfusun potansiyel olarak toksik maddelere maruz kalmasını önlemek ve tüketicilerin tarım ürünlerine olan güvenini korumak için gereklidir [449].

#### ❖ Pestisit Kalıntılarının Tanımı

Kalıntılar, orijinal aktif maddeyi, metabolitlerini ve insan vücudu üzerinde toksik etkileri olabilecek diğer bozunma ürünlerini içerir. Metabolitler, bitki, toprak veya insan vücudundaki aktif maddenin kimyasal veya biyolojik dönüşümünden kaynaklanan bileşiklerdir.

Bu kalıntılar, pestisitlerin doğrudan uygulanması, toprak ve su kirliliği veya çevreden transfer yoluyla gıdalara girebilir [450].

Kalıntılarının kalıcılığı, maddenin kimyasal yapısına, çevre koşullarına ve PHI (Hasat Öncesi Aralık – son uygulama ile hasat arasındaki zaman aralığı) olarak bilinen hasat öncesi aralığa uyulmasına bağlıdır [451].

#### ❖ **Maksimum Kalıntı Limitleri (MRL'ler)**

MRL'ler, gıda ve yemlerde yasal olarak izin verilen maksimum pestisit kalıntı düzeyini temsil eder. Bu sınırlar, maddelerin toksisitesi ve nüfusun tüketim alışkanlıkları dikkate alınarak EFSA (Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi) tarafından yapılan bilimsel değerlendirmelere dayalı olarak belirlenir [452].

MRL'lerin amacı, toksisite eşiklerini belirtmek değil, bitki koruma ürünlerinin doğru kullanımını yansıtarak kalıntıların tüketiciler için minimum ve güvenli bir seviyede kalmasını sağlamaktır [453].

#### ❖ **Tüketici Risk Değerlendirmesi**

Pestisit kalıntıları ile ilişkili risklerin değerlendirilmesi, tespit edilen seviyelerin ADI (Kabul Edilebilir Günlük Alım Miktarı) ve ARfD (Akut Referans Doz) gibi toksikolojik referans değerleri ile karşılaştırılmasına dayanır. Kalıntılar bu eşiklerin altında kalırsa, gıda tüketimi toksikolojik olarak güvenli kabul edilir [454].

MRL'lerin aşıldığı durumlarda, etkilenen ürünler piyasadan çekilebilir ve yetkili makamlar kontaminasyonun nedenlerini ve iyi tarım uygulamalarına uyumu araştırabilir [455].

#### ❖ **Gıdalardaki Kalıntıların İzlenmesi**

Avrupa Birliği üye ülkeleri, gıdalardaki pestisit kalıntılarını izlemek için ulusal programlar uygulamaktadır. Bu programlar, pazarlardan, çiftliklerden ve işleme tesislerinden numune alınmasını ve ardından standart yöntemler kullanılarak laboratuvar analizlerinin yapılmasını içermektedir [456].

Sonuçlar Avrupa Komisyonu ve EFSA'ya rapor edilir ve bu da uyum düzeylerinin değerlendirilmesine ve halk sağlığı için potansiyel risklerin belirlenmesine katkıda bulunur [457].

#### ❖ **Kalıntı Düzeylerini Etkileyen Faktörler**

Kalıntı düzeyleri, uygulanan doz, işlem sayısı, uygulama zamanı, iklim koşulları ve hasat öncesi aralık (PHI) ile uyumdan etkilenir. Aşırı uygulama veya bitki koruma ürünü etiketindeki talimatlara uyulmaması, izin verilen sınırların üzerinde kalıntı birikmesine yol açabilir [458].

Ayrıca, bazı mahsuller, yapraklarının, meyvelerinin veya mumsu yüzeylerinin yapısına bağlı olarak kimyasalları daha kolay tutabilir ve bu da nihai kalıntı düzeyini etkiler [459].

#### ❖ İyi Tarım Uygulamalarıyla Kalıntıların Azaltılması

Kalıntı azaltımı, önerilen dozlara uyulması, kısa kalıntı sürelerine sahip ürünlerin seçilmesi ve IPM çerçevesinde alternatif zararlı kontrol yöntemlerinin kullanılması gibi iyi tarım uygulamalarının uygulanmasıyla sağlanır [460].

Yıkama, soyma ve işleme, kalıntı seviyelerini kısmen azaltabilir, ancak doğru tedavi uygulaması yoluyla önleme, tüketiciyi korumanın en etkili yöntemi olmaya devam etmektedir [461].

#### ❖ Ticaret ve İhracata Etkileri

Tarım ürünlerinin Avrupa ve uluslararası pazarlara erişebilmesi için MRL'lere uyum şarttır. Limitlerin aşılması, parti reddine, ekonomik kayıplara ve üreticilerin itibarının zedelenmesine yol açabilir [462].

Sıkı kalıntı standartları, yüksek düzeyde gıda güvenliğinin korunmasına ve tüketicilerin korunmasına yardımcı olurken, tarım ürünlerinin küresel pazardaki rekabet gücünü de sağlar [463].

#### **Sonuç**

Pestisit kalıntıları ve maksimum kalıntı limitlerine uyum, gıda zinciri güvenliğinin merkezi bir yönüdür. Titiz bilimsel değerlendirmeler, sürekli izleme ve iyi tarım uygulamalarının uygulanması, tüketicinin korunmasını ve gıda kalitesinin sürdürülmesini sağlar. Kalıntı kontrolü, pestisitlerin sorumlu kullanımına katkıda bulunur ve tarımsal üretim sistemine olan kamu güvenini güçlendirir [464].

### **6.5. İzlenebilirlik, Hasat Öncesi Bekleme Süresi (PHI) ve Gıda Güvenliği**

Gıda güvenliği, tarım ve halk sağlığı politikalarının temel bir amacını temsil eder ve pestisit kullanımı, insan tüketimine yönelik ürünlerin kalitesini ve güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde yönetilmelidir. Tarım ürünlerinin izlenebilirliği, hasat öncesi bekleme süresine (PHI) uyum ve kalıntı kontrolü, tüketiciyi korumak ve yasal gerekliliklere uyumu sağlamak için temel unsurlardır [465].

PHI, genellikle gün olarak ifade edilen, bitki koruma ürününün son uygulamasından sonra mahsulün hasadına kadar geçmesi gereken minimum süredir. Bu süre, aktif maddelerin parçalanmasına ve pestisit kalıntılarını insan tüketimi için güvenli seviyelere düşürmesine olanak sağlamak üzere belirlenmiştir [466]. PHI'ye uyum zorunludur ve gıdalardaki izin verilen maksimum kalıntı limitlerinin aşılmasını önlemeye hizmet eder.

Etkin izleme ve kontrol sistemlerinin uygulanmasıyla, pazara ulaşan gıda ürünlerinin güvenlik standartlarını karşılaması ve sağlık riskleri oluşturmaması sağlanabilir [467].

- **Güvenlik İzleme Araçları**

AB düzeyindeki güvenlik ve izleme araçları, bitki koruma ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca insan sağlığının ve çevrenin korunmasını sağlar. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), AB çapında pestisit kalıntı izleme programlarını koordine ederek ve gıdalardaki pestisit kalıntıları hakkında yıllık raporlar yayımlayarak merkezi bir rol oynamaktadır. Bu raporlar, tüketici maruziyeti ve belirlenmiş güvenlik limitlerine uyum konusunda kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır.

Buna paralel olarak, Eurostat, üye devletler genelinde trend analizini, politika değerlendirmesini ve şeffaflığı destekleyen pestisit satışları ve tüketimine ilişkin veriler de dahil olmak üzere tarımsal çevre göstergelerini yayımlamaktadır.

Bu izleme faaliyetleri, sağlam bir düzenleyici çerçeve ile tamamlanmaktadır. Uygulama yönetmelikleri, veri sunumu, kalıntı testi ve MRL belirleme ve inceleme prosedürleri için ayrıntılı gereksinimler tanımlanmıştır. Buna ek olarak, kılavuz belgeler, entegre zararlı yönetimi (IPM) uygulamasının pratik olarak uygulanmasını, tampon bölgelerin oluşturulmasını, işçilerin ve çevredeki kişilerin korunmasını ve uyumlu raporlama yükümlülüklerini desteklemektedir. Bu araçlar ile birlikte, AB genelinde riskleri izlemek, uyumu sağlamak ve pestisitlerin sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek için entegre bir sistem oluşturulmaktadır.

Aşağıda, her birinin kısa açıklamasıyla birlikte, pestisit güvenliği ve izlemesiyle ilgili EFSA raporlarından bazı örnekler yer almaktadır:

- **Gıdalardaki Pestisit Kalıntıları Hakkında Yıllık Rapor**

EFSA, AB koordinasyonlu ve ulusal kontrol programlarının sonuçlarını özetleyen yıllık bir rapor yayımlamaktadır. Bu rapor, MRL'lere uyumu değerlendirir ve potansiyel tüketici maruziyeti ve sağlık risklerini inceler.

- **AB Koordineli Çok Yıllık Kontrol Programı (AB MACP) Sonuçları**

Bu raporlar, AB düzeyinde seçilen belirli gıda-pestisit kombinasyonlarına odaklanarak, Üye Devletler genelinde kalıntı oluşumu hakkında uyumlu veriler sağlar.

- **MRL'ler Hakkında Gerekçeli Görüşler**

EFSA, yeni MRL'ler önerildiğinde veya mevcut olanlar gözden geçirildiğinde gerekçeli görüşler yayımlar. Bu görüşler, toksikolojik referans değerlerine dayanarak diyet maruziyetini ve tüketici riskini değerlendirir.

- **Aktif Maddeler Hakkında Akran Değerlendirme Sonuçları**

EFSA, onay veya yenileme sürecinin bir parçası olarak, pestisit aktif maddeleri için değerlendirmelerinin sonuçlarını yayınlarak insan sağlığı (tüketiciler, operatörler, çevredekiler) ve çevreye yönelik riskleri değerlendirir.

- **Kümülatif Risk Değerlendirme Raporları**

Bu raporlar, benzer toksikolojik etkilere sahip birden fazla pestisit kalıntısına maruz kalmanın birleşik etkilerini değerlendirerek, daha gerçekçi tüketici risk değerlendirmelerini destekler.

- **Tematik veya Özel Bilimsel Raporlar**

EFSA ayrıca, bebek mamalarındaki kalıntılar, ortaya çıkan riskler veya pestisit risk değerlendirmesindeki metodolojik gelişmeler gibi belirli konulara yönelik raporlar da hazırlamaktadır.

- **Gıda Zincirinde İzlenebilirlik Kavramı**

İzlenebilirlik, bir gıda ürününün çiftlikten tüketiciye kadar tüm üretim zinciri boyunca izlenebilme yeteneğini ifade eder. Bu, hammaddelerin menşei, uygulanan bitki koruma işlemleri, uygulama tarihleri, kullanılan ürünler, dozlar, depolama koşulları, işleme ve ürünlerin dağıtımını hakkında bilgileri içerir [468].

Etkili bir izlenebilirlik sistemi, kontaminasyon kaynaklarının hızlı bir şekilde belirlenmesini, uyumsuz ürünlerin geri çağırılmasını ve gıda zincirinde risklerin yayılmasının önlenmesini sağlar [469].

- **Tüketici Güvenliği İçin Hasat Öncesi Bekleme Süresinin Önemi**

Hasat öncesi bekleme süresine uyulması, tüketici sağlığının korunması için çok önemlidir. Hasat öncesi bekleme süresine uyulmazsa, pestisit kalıntıları izin verilen maksimum limitleri aşabilir ve toksik maddelere maruz kalma riskini artırabilir [470].

Hasat öncesi bekleme süresi, farklı ürünlerde ve değişken çevresel koşullar altında pestisit bozunumu ile ilgili çalışmalara dayanarak oluşturulur ve tüketim için yeterli bir güvenlik seviyesi sağlar [471].

- **Bitki Koruma Değerlerinin Oluşturulması ve Düzenlenmesi**

Bitki koruma ürünleri için yetkilendirme sürecinde bitki koruma değerleri belirlenir ve etiketlerinde zorunludur. Bu değerler yasal statüye sahiptir ve tüm profesyonel kullanıcılar tarafından saygı gösterilmelidir [472].

Yetkili makamlar, tarım ürünlerindeki kalıntıların saha incelemeleri ve laboratuvar analizleri yoluyla bitki koruma değerlerine uyumu doğrular [473].

### ➤ **Bitki Koruma İşlemlerinin İzlenebilirliği**

Çiftçilerin, kullanılan ürünler, uygulanan dozlar, işlem tarihleri ve işlem gören ürünler de dahil olmak üzere bitki koruma işlemlerinin kayıtlarını tutmaları gerekmektedir. Bu kayıtlar, PHI uyumluluğunun doğrulanmasını sağlar ve tarım ürünlerinin izlenebilirliği için önemli bir araçtır [474]. İşlemlerin doğru bir şekilde belgelenmesi, resmi denetimleri kolaylaştırır ve üretim şeffaflığına katkıda bulunur [475].

### ➤ **Resmi Kontrollerin Rolü**

Ulusal yetkililer, izlenebilirlik ve PHI gerekliliklerine uyumu doğrulamak için düzenli kontroller gerçekleştirir. Bu denetimler, çiftlik ziyaretlerini, işlem kayıtlarının doğrulanmasını ve kalıntı analizi için örnekleme içerir [476].

Bu önlemler, uyumsuz ürünlerin pazarlanmasını önlemeyi ve tüketici sağlığını korumayı amaçlamaktadır [477].

### ➤ **Gıda Güvenliği ve Tüketici Güveni**

İzlenebilirlik ve PHI kurallarına uyum, yüksek düzeyde gıda güvenliğinin korunmasına ve tarım ürünlerine olan tüketici güveninin güçlendirilmesine katkıda bulunur. Tüketiciler, gıdanın kökeni ve nasıl üretildiğiyle giderek daha fazla ilgilenmektedir [478].

Gıda zincirindeki şeffaflık, sorumlu ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesini destekler [479].

### ➤ **Ekonomik ve Ticari Etkiler**

İzlenebilirlik ve PHI gerekliliklerine uyulmaması, ürün partilerinin reddedilmesi, mali cezalar ve ihracat pazarlarına erişimin kaybı dahil olmak üzere önemli ekonomik sonuçlara yol açabilir [480].

Gıda güvenliği standartlarına uyum, üreticilerin rekabet gücünü artırmaya ve itibarlarını korumaya katkıda bulunur [481].

### **Sonuç**

İzlenebilirlik, PHI'ye uyum ve gıda güvenliği kontrolü, pestisit kullanımı bağlamında tüketici korumasının temel bileşenlerini temsil eder. Bitki koruma uygulamalarının dikkatli bir şekilde izlenmesi, hasat öncesi aralıklara uyulması ve verimli izlenebilirlik sistemlerinin uygulanması yoluyla, yasal gerekliliklere uygun güvenli gıda ürünlerinin pazarlanması sağlanabilir. Bu önlemler, halk sağlığını korumaya ve gıda zincirine olan güveni güçlendirmeye katkıda bulunur.

## 7. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM)

### 7.1. IPM Prensipleri

IPM kısaltmasıyla bilinen entegre zararlı yönetimi, zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar eşiğinin altında tutmayı amaçlayan, biyolojik, tarımsal teknik, mekanik ve kimyasal yöntemlerin rasyonel bir kombinasyonuna dayanan bir bitki koruma sistemini temsil eder. IPM prensipleri, pestisitlere bağımlılığı azaltmayı, çevreyi ve insan sağlığını korumayı ve tarımsal verimliliği sürdürülebilir koşullar altında korumayı amaçlar [505].

IPM'nin merkezi bir unsuru, ürün rotasyonu, dayanıklı çeşitlerin kullanımı, optimum ekim yoğunluklarına uyum ve kültürel hijyenin korunması gibi önlemler yoluyla zararlıların ortaya çıkma ve gelişme riskini azaltmayı amaçlayan önlemdir. Bu uygulamalar, istila kaynaklarını sınırlamaya ve zararlı organizmaların gelişmesi için elverişsiz koşullar yaratmaya yardımcı olur [506].

Sistemik ürün izleme, IPM'nin bir diğer temel prensibidir. Bu, bitki sağlığı durumunun düzenli olarak gözlemlenmesini, zararlıların tanımlanmasını ve istila seviyelerinin değerlendirilmesini içerir. Bu gözlemlere dayanarak, potansiyel kayıpların tedavi maliyetlerini aştığı anı gösteren ekonomik müdahale eşikleri belirlenir. Kimyasal müdahale, ancak bu eşiklere ulaşıldığında veya aşıldığında haklıdır [507].

Pestisitlerin rasyonel kullanımı, Entegre Zararlı Yönetiminin (IPM) temel bir ilkesidir. Bitki koruma ürünleri, zararlıları kontrol etmek için kimyasal olmayan yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda uygulanmalıdır. Aktif maddelerin seçimi, seçiciliklerini, faydalı organizmalar üzerindeki etkilerini ve direnç gelişme riskini dikkate almalıdır [508].

Kontrol yöntemlerinin entegrasyonu, önleyici, biyolojik, mekanik ve kimyasal önlemlerin birleşik bir sistemde tutarlı bir şekilde birleştirilmesini içerir. Doğal yırtıcılar ve faydalı mikroorganizmaların kullanımı yoluyla biyolojik kontrol, ekolojik dengenin korunmasına ve zararlı baskısının azaltılmasına katkıda bulunur [509]. İstila edilmiş bitkilerin elle çıkarılması veya tuzakların kullanılması gibi mekanik yöntemler, bu kontrol sistemini tamamlar [510].

IPM'nin bir diğer önemli ilkesi, hedef olmayan organizmaların ve biyoçeşitliliğin korunmasıdır. Pestisitler, yararlı böcekler, tozlayıcılar, toprak faunası ve komşu ekosistemler üzerindeki etkiyi en aza indirecek şekilde uygulanmalıdır. Bu amaç, en uygun uygulama zamanlamasının seçilmesi, sürüklenmeyi azaltma teknolojilerinin kullanılması ve tampon bölgelere saygı gösterilmesiyle desteklenmektedir [511].

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), zararlıların pestisitlere karşı direnç geliştirmesini önlemeye de katkıda bulunur. Aktif maddelerin değiştirilmesi, doğru dozların kullanılması ve kimyasal olmayan yöntemlerin entegre edilmesi, zararlı popülasyonları üzerindeki seçim baskısını azaltır [512].

Avrupa Birliği düzeyinde, IPM ilkeleri, üye devletlerin bu sistemi bitki korumada bir standart olarak teşvik etmesini gerektiren, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı hakkındaki 2009/128/EC sayılı Direktifte yer almaktadır. Çiftçiler, IPM'yi modern tarım uygulamalarının ayrılmaz bir parçası olarak uygulamaya teşvik edilmektedir [513].

IPM ilkelerinin tutarlı bir şekilde uygulanması, pestisit kullanımının azalmasına, üretim maliyetlerinin düşmesine, operatör sağlığının korunmasına ve çevresel etkinin azalmasına yol açar. Aynı zamanda, zararlı kontrol verimliliği ve tarımsal üretim kalitesi korunur [514].

Sonuç olarak, IPM ilkeleri, önleme, izleme ve pestisitlerin sorumlu kullanımına odaklanan sürdürülebilir tarımın temelini oluşturur. Bu ilkelerin çiftlik yönetimine entegre edilmesiyle, çevre ve insan sağlığı üzerindeki etki en aza indirilerek etkili zararlı kontrolü sağlanabilir [515].

## 7.2. Ürün İzleme

Ürün izleme, bitkilerin fitosaniter durumunun sürekli değerlendirilmesine ve müdahale kararlarının objektif bir temelde gerekçelendirilmesine olanak sağladığı için entegre zararlı yönetiminin önemli bir bileşenidir. Sistematik bitki gözlemi sayesinde çiftçiler, zararlıların, hastalıkların ve yabancı otların ortaya çıkışını ve gelişimini erken tespit edebilir, böylece ekonomik kayıpları ve gereksiz pestisit kullanımını azaltabilirler [516].

İzleme, zararlı popülasyon yoğunluğu, gelişim aşamaları, tarla dağılımı ve faydalı organizmaların varlığı hakkında bilgi toplamayı içerir. Bu veriler, istila seviyesinin kimyasal tedavi uygulamasını haklı çıkardığı zamanı gösteren ekonomik müdahale eşiklerinin belirlenmesini mümkün kılar [517]. Bu eşiğe ulaşılmadan önce müdahale, hem ekonomik hem de ekolojik açıdan genellikle haksızdır.

Klasik izleme yöntemleri arasında periyodik görsel incelemeler, bitki örnekleme ve entomolojik tuzakların kullanımı yer alır. Görsel incelemeler, saldırı semptomlarının belirlenmesine ve bitki hasarının derecesinin değerlendirilmesine olanak tanır. Feromon veya yapışkan tuzaklar, zararlı böceklerin erken tespiti ve popülasyonlarının dinamiklerinin izlenmesi için kullanılır [518].

Mahsullerin ve zararlıların gelişim aşamalarını izleyen fenolojik izleme, müdahalelerin doğru zamanlaması için özellikle önemlidir. Zararlıların biyolojik döngüsündeki kritik anları

bilmek, tedavilerin en etkili oldukları ve hedef olmayan organizmalar üzerindeki etkilerinin en az olduğu zamanlarda uygulanmasına olanak tanır [519].

Son yıllarda, dijital teknolojilerin kullanımıyla mahsul izleme geliştirilmiştir. Çevresel sensörler, otomatik hava istasyonları, uydu görüntüleri ve dronlar, mahsul durumu, toprak nemi, sıcaklık ve zararlı baskısı hakkında hızlı veri toplama olanağı sağlar. Bu bilgiler, gerçek zamanlı karar vermeyi destekleyen bilgisayar sistemlerine entegre edilir [520].

Tahmin modellerine dayalı erken uyarı sistemleri, hastalık ve zararlı salgınlarının riskini tahmin etmek için meteorolojik ve biyolojik verileri kullanır. Bu sistemler sayesinde çiftçiler, risk dönemlerini önceden tahmin edebilir ve önleme veya müdahale önlemlerini daha etkili bir şekilde planlayabilir [521].

İzleme ayrıca uygulanan kontrol önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesine de yardımcı olur. Tedavilerden sonra zararlı popülasyonlarının evriminin analiz edilmesi, stratejilerin ayarlanmasına ve gereksiz tekrarlanan uygulamaların önlenmesine olanak tanır [522]. Bu yaklaşım, pestisitlerin rasyonel kullanımını destekler ve direnç gelişme riskini azaltır.

İzlemenin bir diğer önemli yönü ise doğal yırtıcılar ve tozlayıcılar gibi faydalı organizmaların tanımlanması ve korunmasıdır. Varlıklarının gözlemlenmesi, kontrol stratejilerinin biyoçeşitlilik üzerindeki etkiyi en aza indirecek şekilde uyarlanmasına olanak tanır [523].

Avrupa Birliği düzeyinde, ürün izleme, entegre zararlı yönetiminin (IPM) temel bir unsuru olarak kabul edilir ve pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı için gerekliliklere dahil edilir. Çiftçiler, belgelenmiş izleme sistemlerini uygulamaya ve ürünlerin bitki sağlığı durumuna ve müdahale kararlarına ilişkin kayıtları tutmaya teşvik edilir [524].

Sonuç olarak, ürün izleme, entegre zararlı yönetiminin bilimsel temelidir. Verilerin sistematik olarak toplanması ve analiz edilmesiyle, müdahalelerin zamanlaması ve gerekliliği hakkında bilinçli kararlar alınabilir, pestisit kullanımı ve çevresel etki azaltılabilir. İzlemenin tarımsal uygulamalara entegre edilmesi, ekonomik verimliliğin artmasına, biyoçeşitliliğin korunmasına ve sürdürülebilir tarımın sağlanmasına katkıda bulunur [525].

### **7.3. Pestisitlere Alternatifler**

Kimyasal pestisit kullanımına alternatifler, toksik maddelere bağımlılığı azaltmaya ve çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sınırlamaya hizmet eden entegre zararlı yönetiminin merkezi bir unsurudur. Bu alternatifler, belirli ürüne ve bitki sağlığı baskısına bağlı olarak tek tek veya kombinasyon halinde uygulanabilen biyolojik, agroteknik, mekanik ve fiziksel yöntemleri içerir [526].

Biyolojik kontrol, zararlı popülasyonlarını kontrol etmek için canlı organizmaların kullanımına dayanır. Doğal yırtıcılar, parazitler ve böcek patojenleri, ekolojik dengeyi korumaya ve zararlı yoğunluğunu ekonomik hasar eşiğinin altına düşürmeye yardımcı olur. Bu faydalı organizmaların agroekosistemlere tanıtılması veya korunması, etkili ve sürdürülebilir bir bitki koruma stratejisidir [527].

Bakteriler, mantarlar ve virüsler gibi entomopatojenik mikroorganizmalar, belirli zararlıları kontrol etmek için biyopestisit olarak kullanılır. Son derece seçicidirler ve hedef olmayan organizmalar üzerinde düşük etkiye sahiptirler. Biyopestisitler ayrıca biyolojik olarak parçalanabilir ve toprakta ve tarım ürünlerinde kimyasal kalıntıları azaltmaya yardımcı olur [528].

Tarımsal teknik yöntemler, pestisitlere alternatif olarak önemli bir diğer kategoriye temsil eder. Ürün rotasyonu, dayanıklı çeşitlerin kullanımı, optimum ekim zamanlarına uyulması ve bitki kalıntısı yönetimi, zararlı ve hastalık baskısını azaltmaya yardımcı olur. Bu uygulamalar, istila kaynaklarını sınırlandırır ve zararlı organizmaların gelişmesi için elverişsiz koşullar yaratır [529].

Ayrıca, ürün çeşitlendirmesi ve kendiliğinden oluşan bitki örtüsü şeritlerinin korunması, faydalı organizmaların gelişimini teşvik eder ve tarımsal ekosistemlerin istikrarına katkıda bulunur. Bu önlemler, kimyasal müdahalelere olan ihtiyacı azaltır ve ürün direncini artırır [530].

Mekanik ve fiziksel yöntemler arasında, istila edilmiş bitkilerin elle uzaklaştırılması, tuzakların kullanımı, fiziksel bariyerler ve termal işlemler yer alır. Bu yöntemler, pestisit kullanımının sınırlı olduğu bahçe bitkileri ve organik üretim sistemlerinde özellikle etkilidir [531].

Feromon tuzakları, hem izleme hem de toplu yakalama yoluyla böcek popülasyonlarını azaltmak için kullanılır. Seçici zararlı kontrolüne olanak tanır ve faydalı organizmalara zarar verme riskini azaltır [532].

Bir diğer önemli alternatif ise bitki özleri, uçucu yağlar ve mineral bazlı ürünler gibi doğal maddelerin kullanımınıdır. Bu maddeler orta derecede insektisit veya fungusit etkiye sahiptir ve düşük çevresel etkiye sahip çözümler olarak IPM stratejilerine entegre edilebilir [533].

Pestisitlere alternatiflerin tarımsal uygulamalara entegre edilmesi, zararlı biyolojisi, ürün gelişim döngüleri ve agroekosistemlerdeki ekolojik etkileşimler hakkında bilgi gerektirir. Bu yöntemlerin etkili bir şekilde uygulanması ve ekonomik kayıpların önlenmesi için ürünlerin dikkatli bir şekilde izlenmesi şarttır [534].

Avrupa Birliği düzeyinde, tarım politikaları alternatif yöntemlerin kullanımını ve kimyasal pestisitlerle ilişkili risklerin azaltılmasını teşvik etmektedir. Sürdürülebilir kalkınma stratejileri, daha çevre dostu tarım sistemlerine geçişin bir parçası olarak biyolojik ve agroteknik çözümlerin benimsenmesini teşvik etmektedir [535].

Sonuç olarak, pestisitlere alternatifler, entegre zararlı yönetiminin önemli bir bileşenidir. Biyolojik, agroteknik, mekanik ve doğal yöntemler kullanılarak, kimyasallara bağımlılık önemli ölçüde azaltılabilir, böylece çevre ve insan sağlığı korunabilir. Bu çözümlerin tarımsal uygulamalara entegre edilmesi, sürdürülebilir ve sorumlu tarımın geliştirilmesine katkıda bulunur [536].

#### **7.4. Direncin Önlenmesi**

Zararlıların pestisitlere karşı direnci, bitki koruma uygulamalarının etkinliği, üretim maliyetleri ve çevresel etki açısından doğrudan sonuçları olan, modern tarımın karşı karşıya olduğu en önemli zorluklardan biridir. Direnç, zararlı organizma popülasyonlarının aktif maddelerin tekrarlanan uygulamasına dayanma yeteneği geliştirmesiyle ortaya çıkar ve bu da pestisitlerin etkinliğini kademeli olarak azaltır [537].

Direnç gelişme süreci, bitki koruma ürünlerinin sık ve uygunsuz kullanımıyla uygulanan seçim baskısı tarafından yönlendirilir. Duyarlı bireyler ortadan kaldırılırken, genetik toleransa sahip olanlar hayatta kalır ve ürer, bu da dirençli popülasyonların oluşmasına yol açar [538]. Bu olgu, aynı aktif maddenin veya aynı etki mekanizmasına sahip maddelerin tekrarlanan uygulamasıyla desteklenir.

Direncin önlenmesi, entegre zararlı yönetiminin temel bir amacıdır. Entegre zararlı yönetimi, zararlı popülasyonları üzerindeki seçim baskısını azaltmak için kimyasal olmayan yöntemlerle birlikte pestisitlerin rasyonel kullanımını teşvik eder [539].

Direnç önlemenin temel bir prensibi, farklı etki mekanizmalarına sahip aktif maddelerin dönüşümlü olarak kullanılmasıdır. Kimyasal grupların dönüşümlü kullanımıyla, zararlıların belirli bir pestisit türüne adaptasyonu sınırlandırılır ve tedavilerin uzun vadeli etkinliği korunur [540].

Ürün etiketlerinde önerilen dozlara uyulması da çok önemlidir. Subletal dozların uygulanması, toleranslı bireylerin hayatta kalmasını destekleyerek direncin ortaya çıkmasını hızlandırabilir. Aynı zamanda, aşırı dozlama, tedavinin etkinliğini önemli ölçüde artırmadan çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkiyi artırır [541].

Biyolojik kontrol, tarımsal teknik önlemler ve mekanik yöntemler gibi alternatif yöntemlerin entegrasyonu, kimyasal tedavilere olan ihtiyacı azaltmaya katkıda bulunur.

Uygulama sayısının azaltılmasıyla seçim baskısı azalır ve direncin ortaya çıkması yavaşlar [542].

Zararlı popülasyonlarının izlenmesi, direncin önlenmesinde kilit rol oynar. Tedavi etkinliğinin evriminin gözlemlenmesi ve tolerans belirtilerinin erken tespiti, kontrol stratejilerinin ayarlanmasına olanak tanır. Dirençten şüphelenildiğinde, aktif maddelerin değiştirilmesi ve alternatif kontrol yöntemlerinin benimsenmesi önerilir [543].

Çiftçilerin eğitimi ve bilgilendirilmesi, direncin önlenmesinde kilit faktörlerdir. Pestisitlerin etki mekanizmaları, entegre zararlı yönetimi (IPM) prensipleri ve bitki koruma ürünlerinin yanlış kullanımıyla ilişkili riskler hakkındaki bilgi, sorumlu uygulamaların uygulanmasına katkıda bulunur [544].

Avrupa düzeyinde, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı stratejileri, IPM'yi teşvik ederek, yüksek riskli maddelerin kullanımını sınırlayarak ve biyolojik alternatifler üzerine araştırmaları destekleyerek direnci önlemeye yönelik özel önlemleri içerir [545].

Direncin önlenmesinin önemli ekonomik ve ekolojik sonuçları vardır. Mevcut pestisitlerin etkinliğinin korunması, ek tedavilerle ilişkili maliyetleri azaltır ve ekosistemler üzerindeki etkiyi sınırlar. Aynı zamanda, uzun vadeli ürün korumasını sağlar [546].

Sonuç olarak, zararlıların pestisitlere karşı direncinin önlenmesi, entegre zararlı yönetiminin temel bir bileşenidir. Etkin maddelerin rasyonel kullanımı, etki mekanizmalarının değiştirilmesi, kimyasal olmayan yöntemlerin entegrasyonu ve zararlı popülasyonlarının dikkatli bir şekilde izlenmesi yoluyla bitki koruma sistemlerinin etkinliği korunabilir ve tarımın sürdürülebilirliği sağlanabilir [547].

### **7.5. Denetim ve Raporlama**

Denetim ve raporlama; şeffaflığı, yasal gerekliliklere uyumu ve bitki koruma önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesini sağlayan, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) uygulamasının temel bileşenleridir. Bitki sağlığı faaliyetlerinin sistematik olarak belgelenmesi yoluyla, uygulanan uygulamalar analiz edilebilir, olası uyumsuzluklar belirlenebilir ve sürekli iyileştirme önlemleri alınabilir [548].

Denetim, ürün izleme, ekonomik müdahale eşiklerinin uygulanması, pestisitlerin rasyonel kullanımı ve alternatif yöntemlerin entegrasyonu dahil olmak üzere IPM ilkelerine uyumu doğrulamayı içerir. Bu, yetkili makamlar, belgelendirme kuruluşları veya tarım işletmelerinin iç kontrol sistemleri içinde gerçekleştirilebilir [549].

Bitki koruma uygulamalarının raporlanması, bitki koruma ürünlerinin profesyonel kullanıcıları için yasal bir yükümlülüktür. Uygulama kayıtları, kullanılan ürün, aktif madde, uygulanan doz, uygulama tarihi, işlenen ürün ve müdahalenin amacı hakkında bilgi içermelidir.

Bu veriler, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı ve tarım ürünlerinin izlenebilirliği gerekliliklerine uyumu doğrulamaya olanak tanır [550].

Mahsul izleme faaliyetlerinin belgelenmesi de aynı derecede önemlidir. Zararlıların varlığı, istila düzeyi ve kontrol önlemlerinin etkinliği hakkındaki gözlemlerin kaydedilmesi, karar verme ve kimyasal müdahaleleri gerekçelendirme için objektif bir temel sağlar [551].

Denetim, pestisit kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirmeye katkıda bulunur. Bildirilen verilerin analiz edilmesiyle, aktif madde tüketimindeki eğilimler, tedavi sıklığı ve uygulama kısıtlamalarına uyum belirlenebilir. Bu bilgiler, tarım politikalarını uyarlamak ve risk azaltma stratejilerini iyileştirmek için kullanılır [552].

Avrupa Birliği düzeyinde, denetim ve raporlama, pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı için yasal çerçeveye entegre edilmiştir. Üye Devletler, çevre ve halk sağlığı üzerindeki etkiyi azaltmaya yönelik ilerlemeyi değerlendirmek için bitki koruma ürünlerinin kullanımı hakkında veri toplamalı ve sunmalıdır [553].

Kazara dökülmeler, zehirlenme veya uygulama kısıtlamalarına uyulmaması gibi olayların doğru bir şekilde raporlanması, kontrol sisteminin bir diğer önemli bileşenidir. Bu bilgiler, yetkililerin hızlı bir şekilde müdahale etmesine ve risk durumlarının tekrarını önlemesine olanak tanır [554].

Çiftçiler veya uzman danışmanlar tarafından gerçekleştirilen iç denetimler, tarımsal uygulamaların iyileştirilmesine katkıda bulunur. IPM'nin uygulanmasının periyodik olarak değerlendirilmesiyle, zayıf noktalar belirlenebilir ve verimliliği ve uyumluluğu artırmak için çözümler uygulanabilir [555].

Raporlama ve denetim ayrıca sertifikasyon süreçlerini ve ihracat pazarlarına erişimi destekler. Güvenlik standartlarına uyum ve bitki sağlığı uygulamalarının uygun şekilde belgelendirilmesi, tüketicilerin ve ticaret ortaklarının güvenini artırmaya yardımcı olur [556].

Sonuç olarak, denetim ve raporlama, IPM'nin etkin bir şekilde uygulanması için temel araçlardır. Faaliyetlerin sistematik olarak belgelendirilmesi, uyumluluğun doğrulanması ve çevresel ve sağlık etkilerinin değerlendirilmesiyle, sorumlu pestisit kullanımı ve sürdürülebilir ve şeffaf tarımın geliştirilmesi sağlanabilir [557].

## Kaynaklar

- [1] FAO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019 (SOFI 2019)*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- [2] European Commission. *Sustainable use of pesticides* (policy page). Brussels: European Commission, DG SANTE.
- [3] OECD. *Agri-environmental indicators: Land use, pesticides and biodiversity in farmland (COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2018)17/FINAL)*. Paris: OECD, 2019.
- [4] WHO. *Pesticides* (health impacts and risk context; Chemical safety and health). Geneva: World Health Organization.
- [5] European Environment Agency (EEA). *How pesticides impact human health and ecosystems in Europe* (Briefing, 26 April 2023). Copenhagen: EEA, 2023.
- [6] IRAC. *Insecticide Resistance Management* (guidance and classification resources). Insecticide Resistance Action Committee, ongoing updates.
- [7] FAO. *Integrated Pest Management (IPM)* (concept and operational definition). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [8] European Union. *Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides*. OJ L 309, 24.11.2009, 71–86.
- [9] EFSA. *The 2023 European Union report on pesticide residues in food*. EFSA Journal, Parma, published 2024 (for 2023 monitoring data).
- [10] European Commission. *Communication from the Commission on the precautionary principle* COM(2000) 1 final, 02.02.2000. Brussels.
- [11] European Union. *Regulation (EC) No 1107/2009 concerning the placing of plant protection products on the market*. Official Journal of the European Union, Brussels, 2009.
- [12] WHO. *Public health and pesticides: health impacts and exposure pathways* (resource context within WHO chemical safety/pesticides). Geneva: World Health Organization.
- [13] EFSA. *Maximum residue levels (MRLs) and consumer safety* (scientific and regulatory context). Parma: European Food Safety Authority.
- [14] FAO. *Guidance and tools for pesticide management* (JMPPM guidance compendium; applicator safety resources). Rome: FAO.
- [15] European Environment Agency (EEA). *How pesticides impact human health* (overview/indicator resources). Copenhagen: EEA.
- [16] European Commission. *Review of active substances under EU law* (EU pesticide active substance review process; guidance/resources). Brussels: European Commission.
- [17] FAO/WHO. *International Code of Conduct on Pesticide Management*. Rome/Geneva: FAO & WHO (JMPPM), latest edition and updates.
- [18] European Union. *Directive 2009/128/EC – provisions on training and certification of professional users* (Art. 5 and related sections). Brussels, 2009.
- [19] WHO. *Occupational exposure and health risks from pesticides* (resources within WHO chemical safety). Geneva: World Health Organization.
- [20] European Commission. *A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system* COM(2020) 381 final, 20.05.2020. Brussels.
- [21] FAO. *Integrated Pest Management (IPM) – sustainability and pesticide-risk reduction context*. Rome: FAO.
- [22] European Environment Agency (EEA). *How pesticides impact human health and ecosystems in Europe – exposure and vulnerable groups context*. Copenhagen: EEA, 2023.
- [23] FAO/WHO. *International Code of Conduct on Pesticide Management – environmental responsibility and good practices in pesticide management*. Rome/Geneva: FAO & WHO.
- [24] Klaassen, C. D. *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*. 9th ed., McGraw-Hill Education, New York, 2018.

- [25] World Health Organization (WHO). *Acute pesticide poisoning: prevention and management*. Geneva, 2016.
- [26] International Agency for Research on Cancer (IARC). *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Lyon, 2019.
- [27] European Food Safety Authority (EFSA). *Guidance on toxicological reference values*. Parma, 2021.
- [28] European Commission. *Endocrine disruptors and pesticides*. Brussels, 2020.
- [29] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Pesticide dosage and resistance management*. Rome, 2018.
- [30] EFSA. *Dietary exposure to pesticide residues*. Parma, 2023.
- [31] FAO. *Dermal exposure to pesticides*. Rome, 2017.
- [32] WHO. *Skin exposure and health effects of pesticides*. Geneva, 2018.
- [33] European Commission. *Inhalation exposure to plant protection products*. Brussels, 2019.
- [34] International Labour Organization (ILO). *Occupational safety in pesticide application*. Geneva, 2016.
- [35] EFSA. *Oral exposure to pesticide residues*. Parma, 2022.
- [36] European Commission. *Maximum residue limits in food*. Brussels, 2021.
- [37] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *Human exposure assessment for pesticides*. Paris, 2020.
- [38] European Union. *Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides*. Brussels, 2009.
- [39] European Environment Agency (EEA). *Pesticides and biodiversity*. Copenhagen, 2021.
- [40] EFSA. *Bee guidance on pesticide risk assessment*. Parma, 2013.
- [41] OECD. *Aquatic toxicity of pesticides*. Paris, 2018.
- [42] FAO. *Soil biodiversity and pesticide impacts*. Rome, 2020.
- [43] WHO. *Wildlife exposure to pesticides*. Geneva, 2017.
- [44] United Nations Environment Programme (UNEP). *Persistent chemicals and bioaccumulation*. Nairobi, 2019.
- [45] European Commission. *Integrated Pest Management principles*. Brussels, 2020.
- [46] European Environment Agency (EEA). *Persistence of pesticides in the environment*. Copenhagen, 2020.
- [47] FAO. *Degradation of pesticides in soil*. Rome, 2019.
- [48] OECD. *Environmental fate of pesticides*. Paris, 2018.
- [49] European Commission. *Groundwater contamination by pesticides*. Brussels, 2021.
- [50] UNEP. *Bioaccumulation of hazardous chemicals*. Nairobi, 2017.
- [51] WHO. *Biomagnification in food chains*. Geneva, 2018.
- [52] EFSA. *Environmental risk assessment of pesticides*. Parma, 2022.
- [53] European Commission. *Chronic exposure to pesticide residues*. Brussels, 2020.
- [54] European Union. *Regulation (EC) No 1107/2009 – Criteria for approval of active substances*. Brussels, 2009.
- [55] FAO. *Sustainable pesticide management*. Rome, 2021.
- [56] OECD. *Risk assessment of chemicals: principles and methods*. Paris, 2019.
- [57] EFSA. *Hazard identification and characterization for pesticides*. Parma, 2021.
- [58] European Commission. *Guidance on exposure assessment for operators and consumers*. Brussels, 2020.
- [59] WHO. *Occupational exposure to pesticides*. Geneva, 2019.
- [60] EFSA. *Consumer risk assessment of pesticide residues*. Parma, 2022.
- [61] EFSA. *Environmental risk assessment for non-target organisms*. Parma, 2021.
- [62] European Commission. *Risk mitigation measures for plant protection products*. Brussels, 2020.

- [63] FAO. *Risk management in pesticide use*. Rome, 2019.
- [64] European Commission. *Review and renewal of active substances under EU law*. Brussels, 2021.
- [65] EFSA. *Transparency and scientific integrity in pesticide risk assessment*. Parma, 2023.
- [66] European Union. *Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market*. Official Journal of the European Union, Brussels, 2009.
- [67] FAO. *Pesticide Formulation and Application Systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018.
- [68] OECD. *Guidance on Pesticide Formulation Additives*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 2019.
- [69] European Commission. *Authorisation of Plant Protection Products in the EU*. Brussels, 2021.
- [70] WHO. *Formulated Pesticides and Health Effects*. World Health Organization, Geneva, 2017.
- [71] EFSA. *Comparative Assessment of Pesticide Formulations*. European Food Safety Authority, Parma, 2022.
- [72] Autoritatea Națională Fitosanitară (ANF). *Ghid privind omologarea produselor de protecția plantelor*. București, 2023.
- [73] FAO. *Classification of Pesticides by Target Organism*. Rome, 2018.
- [74] European Commission. *Herbicides and Weed Management*. Brussels, 2020.
- [75] HRAC. *Herbicide Resistance Management Guidelines*. Herbicide Resistance Action Committee, 2021.
- [76] EFSA. *Fungicides and Plant Disease Control*. Parma, 2019.
- [77] FRAC. *Fungicide Resistance Management Guidelines*. Fungicide Resistance Action Committee, 2022.
- [78] WHO. *Insecticides and Vector Control*. Geneva, 2017.
- [79] IRAC. *Insecticide Resistance Management Guidelines*. Insecticide Resistance Action Committee, 2021.
- [80] OECD. *Acaricides and Nematicides in Agriculture*. Paris, 2019.
- [81] European Commission. *Rodenticides and Risk Management*. Brussels, 2020.
- [82] FAO. *Rational Use of Pesticides*. Rome, 2019.
- [83] European Union. *Plant Protection Product Regulation Framework*. Brussels, 2009.
- [84] FAO. *Modes of Action of Pesticides*. Rome, 2019.
- [85] European Commission. *Contact Pesticides in Plant Protection*. Brussels, 2020.
- [86] EFSA. *Efficacy of Contact Fungicides*. Parma, 2018.
- [87] WHO. *Operator Exposure to Contact Pesticides*. Geneva, 2017.
- [88] OECD. *Systemic Pesticides and Plant Uptake*. Paris, 2019.
- [89] EFSA. *Residues of Systemic Pesticides in Food*. Parma, 2022.
- [90] European Environment Agency. *Systemic Pesticides and Pollinators*. Copenhagen, 2021.
- [91] FAO. *Translaminar Activity of Plant Protection Products*. Rome, 2018.
- [92] OECD. *Comparative Assessment of Translaminar Pesticides*. Paris, 2020.
- [93] European Commission. *Good Plant Protection Practice*. Brussels, 2019.
- [94] IRAC. *Resistance Management Strategies*. 2021.
- [95] FAO. *Safe Use of Pesticides*. Rome, 2020.
- [96] OECD. *Pesticide Resistance: Causes and Consequences*. Paris, 2019.
- [97] FAO. *Resistance Management in Plant Protection*. Rome, 2020.
- [98] IRAC, FRAC, HRAC. *Global Resistance Management Guidelines*. 2021.
- [99] HRAC. *Herbicide Mode of Action Classification*. 2022.
- [100] European Commission. *Weed Resistance Prevention Strategies*. Brussels, 2021.

- [101] FRAC. *Fungicide Mode of Action Classification*. 2022.
- [102] EFSA. *Resistance Risk Assessment for Fungicides*. Parma, 2020.
- [103] IRAC. *Insecticide Mode of Action Classification*. 2022.
- [104] FAO. *Integrated Insect Resistance Management*. Rome, 2019.
- [105] European Commission. *IPM Principles in Crop Protection*. Brussels, 2020.
- [106] OECD. *Sustainable Pesticide Use and Resistance Prevention*. Paris, 2021.
- [107] FAO. *Pesticide Formulation Technology*. Rome, 2019.
- [108] OECD. *Suspension Concentrate Formulations*. Paris, 2018.
- [109] WHO. *Safety of SC Pesticide Formulations*. Geneva, 2017.
- [110] European Commission. *Oil-in-Water Emulsions in Plant Protection*. Brussels, 2020.
- [111] EFSA. *Comparative Assessment of EW Formulations*. Parma, 2021.
- [112] FAO. *Oil Dispersion Formulations*. Rome, 2018.
- [113] WHO. *Operator Exposure to OD Formulations*. Geneva, 2019.
- [114] OECD. *Water Dispersible Granules (WG)*. Paris, 2017.
- [115] FAO. *Granular Pesticide Formulations*. Rome, 2020.
- [116] European Commission. *Soluble Granules (SG) in Agriculture*. Brussels, 2021.
- [117] EFSA. *Solubility and Formulation Limits*. Parma, 2022.
- [118] European Commission. *Drift Reduction and Formulation Choice*. Brussels, 2020.
- [119] European Union. *Authorisation Requirements for Formulations*. Brussels, 2009.
- [120] FAO. *Pesticide Compatibility and Tank Mixes*. Rome, 2019.
- [121] OECD. *Physical Compatibility of Pesticide Formulations*. Paris, 2018.
- [122] EFSA. *Chemical Interactions in Pesticide Mixtures*. Parma, 2021.
- [123] WHO. *Biological Efficacy of Pesticide Combinations*. Geneva, 2017.
- [124] European Commission. *Water Quality and Pesticide Mixing*. Brussels, 2020.
- [125] FAO. *Good Spraying Practices*. Rome, 2018.
- [126] EFSA. *Phytotoxicity Risk Assessment*. Parma, 2019.
- [127] OECD. *Crop Sensitivity to Pesticides*. Paris, 2020.
- [128] FAO. *Factors Affecting Pesticide Performance*. Rome, 2021.
- [129] European Commission. *Tank-Mix Compatibility Tests*. Brussels, 2019.
- [130] WHO. *Safe Pesticide Application*. Geneva, 2020.
- [131] FAO. *Sustainable Crop Protection Practices*. Rome, 2022.
- [132] FAO; WHO. *International Code of Conduct on Pesticide Management*. Rome/Geneva, 2014.
- [133] WHO. *Public Health Impact of Pesticides Used in Agriculture*. Geneva, 1990.
- [134] IRAC. *Practical Principles of Insecticide Resistance Management*. 2021.
- [135] OECD. *Guidance Document for the Conduct of Studies of Occupational Exposure to Pesticides During Agricultural Application*. Paris, 2002.
- [136] European Union. *Regulation (EC) No 1107/2009*. Brussels, 2009.
- [137] EFSA. *Guidance on the Assessment of Operator, Worker, Resident and Bystander Exposure*. Parma, 2014–2022.
- [138] FAO; WHO. *Manual on the Development and Use of FAO and WHO Specifications for Pesticides*. Rome/Geneva, 2016.
- [139] FAO. *Guidelines on Minimum Requirements for Agricultural Pesticide Application Equipment*. Rome, 2001.
- [140] FAO. *Guidelines on Good Practice for Ground Application of Pesticides*. Rome, 2001.
- [141] EFSA. *Environmental Exposure Assessment of Pesticides*. Parma, 2021.
- [142] European Commission. *Guidance on Good Agricultural Practice (GAP)*. Brussels, 2019.
- [143] FAO. *Crop Protection and Pesticide Use*. Rome, 2020.
- [144] ISO 16119. *Agricultural Spraying Equipment – Environmental Requirements*. Geneva,

2013–2020.

- [145] TOPPS. *Best Management Practices for Spray Application*. CropLife Europe, 2018.
- [146] FAO. *Pesticide Application Methods*. Rome, 2001.
- [147] OECD. *Sprayer Performance and Calibration*. Paris, 2002.
- [148] EFSA. *Field Application of Pesticides*. Parma, 2020.
- [149] FAO. *Precision Agriculture and Crop Protection*. Rome, 2019.
- [150] ISO 16119. *Agricultural Sprayers*. Geneva, 2020.
- [151] FAO. *Unmanned Aerial Spraying in Agriculture*. Rome, 2018.
- [152] OECD. *Drone-Based Pesticide Application*. Paris, 2019.
- [153] European Union. *Regulation (EU) 2019/947 on Unmanned Aircraft Systems*. Brussels, 2019.
- [154] TOPPS. *Best Practices for Spray Application*. CropLife Europe, 2020.
- [155] European Commission. *Guidance on the Safe Use of Plant Protection Products*. Brussels, 2019.
- [156] FAO. *Application Equipment for Crop Protection*. Rome, 2018.
- [157] EPPO. *Standards for Sprayer Classification*. Paris, 2020.
- [158] WHO. *Occupational Exposure to Pesticides*. Geneva, 2019.
- [159] European Commission. *Mounted Sprayers in Agriculture*. Brussels, 2018.
- [160] ISO 16122-1. *Inspection of Sprayers in Use – General*. Geneva, 2019.
- [161] FAO. *Tractor-Mounted Spraying Equipment*. Rome, 2020.
- [162] European Commission. *Trailed Sprayers and Precision Application*. Brussels, 2021.
- [163] ISO 16122-2. *Field Crop Sprayers Inspection*. Geneva, 2020.
- [164] FAO. *Self-Propelled Sprayers*. Rome, 2019.
- [165] European Commission. *Advanced Spraying Technologies*. Brussels, 2021.
- [166] EPPO. *Air-Assisted Sprayers for Orchards and Vineyards*. Paris, 2018.
- [167] FAO. *Protected Crops and Pesticide Application*. Rome, 2020.
- [168] European Commission. *Precision Agriculture Systems*. Brussels, 2022.
- [169] European Environment Agency. *Reducing Pesticide Drift*. Copenhagen, 2021.
- [170] FAO. *Sustainable Use of Crop Protection Equipment*. Rome, 2019.
- [171] WHO. *Pesticide Application Safety*. Geneva, 2018.
- [172] European Commission. *Sprayer Calibration Guidelines*. Brussels, 2020.
- [173] EPPO. *Calibration of Sprayers in Agriculture*. Paris, 2019.
- [174] FAO. *Efficient Use of Pesticides*. Rome, 2021.
- [175] ISO 5682-1. *Nozzle Performance Standards*. Geneva, 2018.
- [176] European Commission. *Nozzle Selection for Crop Spraying*. Brussels, 2019.
- [177] EPPO. *Wear and Maintenance of Nozzles*. Paris, 2020.
- [178] FAO. *Spray Quality and Drift Reduction*. Rome, 2019.
- [179] European Commission. *Pressure Regulation in Sprayers*. Brussels, 2021.
- [180] ISO 16122-3. *Sprayer Testing Methods*. Geneva, 2020.
- [181] FAO. *Application Rate Calculations*. Rome, 2018.
- [182] European Commission. *Uniformity of Spray Distribution*. Brussels, 2019.
- [183] EPPO. *Spray Pattern Assessment*. Paris, 2021.
- [184] FAO. *Maintenance of Spraying Equipment*. Rome, 2020.
- [185] WHO. *Safe Handling of Sprayers*. Geneva, 2019.
- [186] European Commission. *Best Practices in Sprayer Calibration*. Brussels, 2022.
- [187] FAO. *Routine Inspection of Crop Sprayers*. Rome, 2021.
- [188] EPPO. *Safety Standards for Pesticide Application*. Paris, 2020.
- [189] European Environment Agency. *Environmental Impact of Spraying Errors*. Copenhagen, 2022.

- [190] FAO. *Preventive Maintenance of Agricultural Machinery*. Rome, 2019.
- [191] European Commission. *Technical Inspection of Sprayers*. Brussels, 2020.
- [192] ISO 16122-4. *Inspection Procedures*. Geneva, 2019.
- [193] EPPO. *Operational Safety of Spraying Equipment*. Paris, 2021.
- [194] FAO. *Hydraulic Systems in Sprayers*. Rome, 2018.
- [195] European Commission. *Sprayer Tank and Filter Maintenance*. Brussels, 2019.
- [196] ISO 5682-2. *Pump Performance Standards*. Geneva, 2020.
- [197] FAO. *Sprayer Pump Failures and Risks*. Rome, 2021.
- [198] EPPO. *Cleaning and Maintenance of Nozzles*. Paris, 2019.
- [199] European Commission. *Replacement of Worn Nozzles*. Brussels, 2020.
- [200] FAO. *Boom Alignment and Stability*. Rome, 2018.
- [201] ISO 16122-5. *Boom Sprayer Inspection*. Geneva, 2021.
- [202] European Commission. *Cleaning of Pesticide Equipment*. Brussels, 2019.
- [203] WHO. *Wastewater from Pesticide Use*. Geneva, 2020.
- [204] European Commission. *Mandatory Sprayer Inspections in the EU*. Brussels, 2021.
- [205] EPPO. *Certification of Sprayer Equipment*. Paris, 2020.
- [206] FAO. *Operator Responsibilities in Sprayer Maintenance*. Rome, 2019.
- [207] European Commission. *Training for Sprayer Operators*. Brussels, 2022.
- [208] European Environment Agency. *Sustainable Use of Application Equipment*. Copenhagen, 2022.
- [209] FAO. *Spray Drift and Product Losses*. Rome, 2018.
- [210] WHO. *Health Risks of Pesticide Drift*. Geneva, 2019.
- [211] European Commission. *Primary and Secondary Drift*. Brussels, 2020.
- [212] EPPO. *Environmental Contamination by Pesticides*. Paris, 2021.
- [213] FAO. *Weather Effects on Spray Drift*. Rome, 2019.
- [214] ISO 22866. *Drift Measurement in Field Conditions*. Geneva, 2018.
- [215] European Commission. *Runoff and Evaporation Losses*. Brussels, 2021.
- [216] FAO. *Efficiency of Pesticide Applications*. Rome, 2020.
- [217] European Environment Agency. *Water Pollution by Pesticides*. Copenhagen, 2021.
- [218] WHO. *Public Exposure to Pesticides*. Geneva, 2020.
- [219] European Commission. *Drift Reduction Techniques*. Brussels, 2022.
- [220] EPPO. *Buffer Zones and Risk Mitigation*. Paris, 2021.
- [221] FAO. *Precision Agriculture and Pesticide Use*. Rome, 2019.
- [222] European Commission. *Variable Rate Application Systems*. Brussels, 2020.
- [223] ISO 11783. *ISOBUS – Tractor and Machinery Communication*. Geneva, 2019.
- [224] FAO. *Spatial Data for Crop Protection*. Rome, 2021.
- [225] European Commission. *Remote Sensing in Agriculture*. Brussels, 2022.
- [226] FAO. *NDVI and Crop Health Assessment*. Rome, 2020.
- [227] European Environment Agency. *Reducing Herbicide Use*. Copenhagen, 2021.
- [228] European Commission. *Smart Spraying Technologies*. Brussels, 2022.
- [229] FAO. *AI in Crop Protection*. Rome, 2021.
- [230] EPPO. *Limitations of Precision Spraying*. Paris, 2020.
- [231] European Commission. *Automatic Section Control*. Brussels, 2019.
- [232] FAO. *Optimizing Spray Coverage*. Rome, 2020.
- [233] ISO 25358. *Drift Reduction Equipment*. Geneva, 2019.
- [234] European Commission. *Droplet Size Management*. Brussels, 2021.
- [235] FAO. *Sensor-Based Spraying*. Rome, 2020.
- [236] European Environment Agency. *Soil and Water Protection*. Copenhagen, 2021.
- [237] European Commission. *Agricultural Drones Regulation*. Brussels, 2022.
- [238] WHO. *Aerial Application Safety*. Geneva, 2021.

- [239] FAO. *Operator Safety Systems*. Rome, 2019.
- [240] European Commission. *Cabin Filtration Standards*. Brussels, 2020.
- [241] EFSA. *Digital Traceability in Pesticide Use*. Parma, 2022.
- [242] European Commission. *Smart Farming Platforms*. Brussels, 2023.
- [243] European Environment Agency. *Risk Reduction in Plant Protection*. Copenhagen, 2023.
- [236] European Commission. *EU Policy on Pesticides*. Brussels, 2018.
- [237] European Parliament. *Precautionary Principle in EU Law*. Strasbourg, 2017.
- [238] European Commission. *Sustainable Agriculture Strategy*. Brussels, 2019.
- [239] Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market.
- [240] European Commission. *Criteria for Active Substance Approval*. Brussels, 2018.
- [241] EFSA. *Guidance on the Evaluation of Plant Protection Products*. Parma, 2020.
- [242] Directive 2009/128/EC establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides.
- [243] European Commission. *National Action Plans for Pesticide Use*. Brussels, 2016.
- [244] FAO. *Sustainable Pesticide Management*. Rome, 2017.
- [245] Regulation (EC) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed.
- [246] EFSA. *Consumer Risk Assessment of Pesticide Residues*. Parma, 2019.
- [247] European Commission. *Food Safety Controls in the EU*. Brussels, 2020.
- [248] European Commission. *Farm to Fork Strategy*. Brussels, 2020.
- [249] European Parliament. *Green Deal and Agriculture*. Strasbourg, 2021.
- [250] EFSA. *Scientific Opinions on Pesticides*. Parma, 2018.
- [251] EFSA. *Environmental Risk Assessment of Pesticides*. Parma, 2021.
- [252] European Commission. *EU Pesticide Legislation Overview*. Brussels, 2022.
- [253] Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale. *Cadrul legislativ național privind produsele de protecție a plantelor*. București, 2019.
- [254] Guvernul României. *Planul Național de Acțiune pentru utilizarea durabilă a pesticidelor*. București, 2013.
- [255] Autoritatea Națională Fitosanitară. *Proceduri de autorizare a produselor fitosanitare*. București, 2020.
- [256] Legea nr. 45/2009 privind organizarea și funcționarea sistemului de control în domeniul produselor de protecție a plantelor.
- [257] Ministerul Agriculturii. *Norme privind comercializarea pesticidelor*. București, 2018.
- [258] MADR. *Strategii naționale pentru utilizarea durabilă a pesticidelor*. București, 2021.
- [259] ANF. *Ghid pentru implementarea PNA*. București, 2020.
- [260] Autoritatea Națională Fitosanitară. *Reglementări privind vânzarea pesticidelor*. București, 2019.
- [261] MADR. *Reguli de utilizare a produselor fitosanitare*. București, 2022.
- [262] Ministerul Mediului. *Protecția apelor împotriva poluării cu pesticide*. București, 2018.
- [263] Agenția Națională pentru Protecția Mediului. *Zone sensibile și restricții de utilizare*. București, 2020.
- [264] ANF. *Proceduri de control fitosanitar*. București, 2021.
- [265] Guvernul României. *Regimul sancțiunilor în domeniul pesticidelor*. București, 2019.
- [266] MADR. *Program național de formare a utilizatorilor de pesticide*. București, 2020.
- [267] OMS. *Prevenirea accidentelor în utilizarea pesticidelor*. Geneva, 2018.
- [268] FAO. *National Pesticide Regulation Systems*. Rome, 2021.
- [269] Autoritatea Națională Fitosanitară. *Autorizarea produselor de protecție a plantelor*. București, 2022.
- [270] EFSA. *Toxicological Evaluation of Pesticides*. Parma, 2019.

- [271] European Commission. *Environmental Safety of Pesticides*. Brussels, 2020.
- [272] ANF. *Procedura de evaluare a dosarelor de autorizare*. București, 2021.
- [273] European Commission. *Review and Renewal of Authorisations*. Brussels, 2022.
- [274] MADR. *Etichetarea produselor fitosanitare*. București, 2018.
- [275] EFSA. *Residue Risk Management*. Parma, 2020.
- [276] European Commission. *Endocrine Disruptors Regulation*. Brussels, 2019.
- [277] ANF. *Restricții pentru substanțe cu risc ridicat*. București, 2022.
- [278] European Commission. *Emergency Authorisations for Pesticides*. Brussels, 2021.
- [279] FAO. *Risk-based Pesticide Management*. Rome, 2019.
- [280] Ministerul Mediului. *Reguli de protecție a zonelor sensibile*. București, 2020.
- [281] European Environment Agency. *Pesticides and Environmental Protection*. Copenhagen, 2021.
- [282] ANF. *Controale oficiale în domeniul pesticidelor*. București, 2022.
- [283] Guvernul României. *Sancțiuni pentru utilizarea necorespunzătoare a pesticidelor*. București, 2021.
- [284] European Commission. *Risk Management in Plant Protection*. Brussels, 2023.
- [285] MADR. *Structura instituțională în agricultura românească*. București, 2020.
- [286] Ministerul Agriculturii. *Politici agricole naționale*. București, 2021.
- [287] European Commission. *Integrated Pest Management Policies*. Brussels, 2019.
- [288] ANF. *Atribuții și competențe*. București, 2020.
- [289] FAO. *Plant Health Governance*. Rome, 2018.
- [290] APIA. *Condiționalitatea plăților agricole*. București, 2021.
- [291] European Commission. *Cross-compliance in the CAP*. Brussels, 2020.
- [292] AFIR. *Finanțarea modernizării agriculturii*. București, 2022.
- [293] European Commission. *Rural Development Programmes*. Brussels, 2021.
- [294] AFM. *Programe pentru protecția mediului*. București, 2020.
- [295] Ministerul Mediului. *Gestionarea deșeurilor periculoase*. București, 2019.
- [296] Guvernul României. *Cooperarea interinstituțională în agricultură*. București, 2021.
- [297] FAO. *Institutional Coordination in Pesticide Regulation*. Rome, 2020.
- [298] European Commission. *Public Authorities and Sustainable Pesticide Use*. Brussels, 2022.
- [299] European Commission. *Training of Professional Pesticide Users*. Brussels, 2019.
- [300] OMS. *Occupational Safety in Pesticide Use*. Geneva, 2018.
- [301] FAO. *Safe Application of Pesticides*. Rome, 2020.
- [302] Guvernul României. *Certificarea utilizatorilor de pesticide*. București, 2021.
- [303] MADR. *Programe de perfecționare profesională*. București, 2022.
- [304] ANF. *Curriculum de instruire fitosanitară*. București, 2020.
- [305] European Commission. *Handling and Storage of Pesticides*. Brussels, 2019.
- [306] FAO. *Advisory Services in Crop Protection*. Rome, 2018.
- [307] European Commission. *Pesticide Distribution Rules*. Brussels, 2021.
- [308] ANF. *Controale la utilizatori și distribuitori*. București, 2022.
- [309] EFSA. *Monitoring of Pesticide Use*. Parma, 2021.
- [310] European Commission. *Residue Control Programmes*. Brussels, 2020.
- [311] European Environment Agency. *Impact of Pesticides on Biodiversity*. Copenhagen, 2022.
- [312] Guvernul României. *Regimul sancțiunilor fitosanitare*. București, 2021.
- [313] FAO. *Compliance and Enforcement in Pesticide Use*. Rome, 2019.
- [314] European Commission. *Certification and Control Systems for Pesticides*. Brussels, 2023.
- [315] European Agency for Safety and Health at Work. *Occupational Safety in Agriculture*. Luxembourg, 2019.
- [316] WHO. *Health Risks of Pesticide Exposure*. Geneva, 2018.
- [317] EFSA. *Toxicological Profile of Pesticides*. Parma, 2020.

- [318] FAO. *Safe Handling of Pesticides*. Rome, 2017.
- [319] European Commission. *Machinery Safety in Agriculture*. Brussels, 2019.
- [320] ILO. *Occupational Hazards in Farming*. Geneva, 2018.
- [321] WHO. *Biological Risks in Agriculture*. Geneva, 2017.
- [322] FAO. *Farm Hygiene and Worker Health*. Rome, 2019.
- [323] European Commission. *Training Needs for Agricultural Workers*. Brussels, 2020.
- [324] ILO. *Work Stress in Agriculture*. Geneva, 2019.
- [325] EFSA. *Chronic Effects of Pesticide Exposure*. Parma, 2021.
- [326] WHO. *Health Surveillance of Agricultural Workers*. Geneva, 2020.
- [327] FAO. *Risk Prevention in Pesticide Use*. Rome, 2018.
- [328] European Commission. *Workplace Risk Assessment*. Brussels, 2021.
- [329] ILO. *Improving Safety in Agriculture*. Geneva, 2022.
- [330] European Commission. *Personal Protective Equipment at Work*. Brussels, 2018.
- [331] WHO. *Protective Measures for Pesticide Operators*. Geneva, 2019.
- [332] Directive 89/656/EEC on the use of personal protective equipment at work.
- [333] European Commission. *Pesticide Labelling Requirements*. Brussels, 2020.
- [334] FAO. *Protective Clothing for Pesticide Application*. Rome, 2017.
- [335] ISO 18889. *Protective Gloves for Pesticide Operators*. ISO, 2019.
- [336] European Committee for Standardization. *Respiratory Protection Devices*. Brussels, 2018.
- [337] WHO. *Exposure Assessment for Pesticide Operators*. Geneva, 2020.
- [338] European Commission. *Standards for PPE in Agriculture*. Brussels, 2021.
- [339] FAO. *Safe Use of PPE in Farming*. Rome, 2019.
- [340] ILO. *Correct Use of Protective Equipment*. Geneva, 2018.
- [341] European Commission. *Maintenance of PPE*. Brussels, 2020.
- [342] WHO. *Decontamination of Work Clothes*. Geneva, 2019.
- [343] ILO. *Heat Stress and Protective Clothing*. Geneva, 2017.
- [344] FAO. *Limits of PPE in Risk Management*. Rome, 2021.
- [345] European Commission. *Worker Protection in Pesticide Use*. Brussels, 2022.
- [346] ISO 14269-5. *Cabin Filtration Systems for Agricultural Machinery*. ISO, 2018.
- [347] European Commission. *Enclosed Cab Safety Systems*. Brussels, 2019.
- [348] FAO. *Operator Protection in Spraying Operations*. Rome, 2017.
- [349] WHO. *Air Quality in Agricultural Cabins*. Geneva, 2018.
- [350] ISO 11155. *Air Filtration in Vehicle Cabins*. ISO, 2019.
- [351] European Commission. *Chemical Vapour Filters*. Brussels, 2020.
- [352] EN 15695. *Agricultural Machinery – Operator Protection*. CEN, 2018.
- [353] European Commission. *Cabin Pressurization Standards*. Brussels, 2019.
- [354] ISO. *Maintenance of Filtration Systems*. Geneva, 2020.
- [355] FAO. *Cabin Safety and Filter Replacement*. Rome, 2021.
- [356] WHO. *Respiratory Protection in Agriculture*. Geneva, 2019.
- [357] ILO. *Combined Protection Strategies*. Geneva, 2020.
- [358] European Commission. *Benefits of Enclosed Cabins*. Brussels, 2021.
- [359] FAO. *Comfort and Safety in Agricultural Work*. Rome, 2018.
- [360] WHO. *Risk During Equipment Cleaning*. Geneva, 2020.
- [361] European Commission. *Cost Barriers in Farm Safety*. Brussels, 2019.
- [362] ILO. *Operator Protection Technologies*. Geneva, 2022.
- [363] FAO. *Hygiene in Pesticide Use*. Rome, 2017.
- [364] WHO. *Preventing Occupational Contamination*. Geneva, 2018.
- [365] European Commission. *Hand Hygiene at Work*. Brussels, 2019.
- [366] ILO. *Personal Cleanliness in Agriculture*. Geneva, 2020.

- [367] FAO. *Cleaning Protective Clothing*. Rome, 2019.
- [368] European Commission. *Storage of PPE*. Brussels, 2020.
- [369] ISO 16122-3. *Cleaning of Spraying Equipment*. ISO, 2017.
- [370] WHO. *Wastewater from Pesticide Cleaning*. Geneva, 2019.
- [371] FAO. *Spill Management in Agriculture*. Rome, 2018.
- [372] European Commission. *Hazardous Waste Regulations*. Brussels, 2021.
- [373] WHO. *Safe Storage of Pesticides*. Geneva, 2017.
- [374] FAO. *Preventing Food Contamination*. Rome, 2018.
- [375] European Commission. *Training for Safe Chemical Handling*. Brussels, 2019.
- [376] ILO. *Education and Safety Performance*. Geneva, 2020.
- [377] European Environment Agency. *Pesticides and Environmental Health*. Copenhagen, 2021.
- [378] WHO. *Secondary Exposure to Pesticides*. Geneva, 2019.
- [379] FAO. *Integrated Hygiene Practices*. Rome, 2022.
- [380] WHO. *Emergency Response to Pesticide Poisoning*. Geneva, 2018.
- [381] European Commission. *First Aid in Chemical Incidents*. Brussels, 2019.
- [382] FAO. *Accident Scenarios in Pesticide Use*. Rome, 2017.
- [383] ILO. *Risk Factors for Workplace Accidents*. Geneva, 2019.
- [384] WHO. *Principles of First Aid*. Geneva, 2018.
- [385] European Commission. *Safety Data Sheets for Chemicals*. Brussels, 2020.
- [386] FAO. *Respiratory Emergencies in Agriculture*. Rome, 2019.
- [387] WHO. *Post-Exposure Care*. Geneva, 2018.
- [388] European Commission. *Eye and Skin Exposure Management*. Brussels, 2019.
- [389] ILO. *Delayed Effects of Chemical Exposure*. Geneva, 2020.
- [390] WHO. *Poisoning by Ingestion*. Geneva, 2017.
- [391] FAO. *Information for Medical Personnel*. Rome, 2018.
- [392] European Commission. *Chemical Spill Response*. Brussels, 2021.
- [393] ISO. *Decontamination Procedures*. Geneva, 2019.
- [394] ILO. *Emergency Planning in Agriculture*. Geneva, 2020.
- [395] FAO. *Simulation Training for Emergencies*. Rome, 2019.
- [396] European Commission. *Incident Reporting Systems*. Brussels, 2021.
- [397] WHO. *Occupational Safety Monitoring*. Geneva, 2020.
- [398] FAO. *Integrated Emergency Management*. Rome, 2022.
- [399] European Commission. *Environmental Protection and Pesticide Use*. Brussels, 2019.
- [400] FAO. *Integrated Environmental Management in Agriculture*. Rome, 2018.
- [401] EFSA. *Soil Contamination by Pesticides*. Parma, 2020.
- [402] European Environment Agency. *Soil Protection in the EU*. Copenhagen, 2021.
- [403] WHO. *Water Pollution by Agricultural Chemicals*. Geneva, 2019.
- [404] FAO. *Water Protection Measures in Agriculture*. Rome, 2020.
- [405] European Commission. *Airborne Drift of Pesticides*. Brussels, 2018.
- [406] ISO 25358. *Drift Reduction Technology*. ISO, 2019.
- [407] FAO. *Best Practices for Environmental Protection*. Rome, 2021.
- [408] European Commission. *Pesticide Waste Management*. Brussels, 2020.
- [409] EFSA. *Monitoring Environmental Residues*. Parma, 2019.
- [410] European Commission. *Environmental Risk Assessment*. Brussels, 2022.
- [411] FAO. *Sustainable Farming Systems*. Rome, 2018.
- [412] European Commission. *Agroecology and Pesticide Reduction*. Brussels, 2021.
- [413] European Environment Agency. *Environmental Impacts of Pesticides*. Copenhagen, 2022.
- [414] European Commission. *Biodiversity Strategy for 2030*. Brussels, 2020.

- [415] FAO. *Pollinators and Food Security*. Rome, 2019.
- [416] EFSA. *Ecotoxicological Effects of Pesticides*. Parma, 2021.
- [417] WHO. *Sublethal Effects of Chemicals on Insects*. Geneva, 2018.
- [418] European Commission. *Risks to Pollinators*. Brussels, 2019.
- [419] EFSA. *Neonicotinoids and Bees*. Parma, 2020.
- [420] European Commission. *EU Pollinator Initiative*. Brussels, 2021.
- [421] MADR. *Protecția polenizatorilor în România*. București, 2022.
- [422] FAO. *Biodiversity-Friendly Farming Practices*. Rome, 2018.
- [423] European Environment Agency. *Agroecosystem Diversity*. Copenhagen, 2020.
- [424] European Commission. *Integrated Pest Management*. Brussels, 2019.
- [425] FAO. *Reducing Chemical Dependence*. Rome, 2021.
- [426] EFSA. *Monitoring Pollinator Populations*. Parma, 2022.
- [427] European Commission. *Environmental Surveillance Systems*. Brussels, 2021.
- [428] FAO. *Environmental Awareness in Agriculture*. Rome, 2019.
- [429] European Commission. *Public Education for Sustainability*. Brussels, 2020.
- [430] European Environment Agency. *Conserving Biodiversity in Farmland*. Copenhagen, 2022.
- [431] European Commission. *Buffer Zones in Agriculture*. Brussels, 2019.
- [432] FAO. *Protective Land Strips*. Rome, 2020.
- [433] ISO 22866. *Drift Measurement in Field Conditions*. ISO, 2018.
- [434] European Commission. *Environmental Safety Distances*. Brussels, 2021.
- [435] WHO. *Water Protection Policies*. Geneva, 2020.
- [436] FAO. *Riparian Buffer Systems*. Rome, 2019.
- [437] European Commission. *Pesticide Use Near Residential Areas*. Brussels, 2018.
- [438] European Environment Agency. *Human Exposure to Pesticides*. Copenhagen, 2021.
- [439] European Commission. *Nature Protection Measures*. Brussels, 2020.
- [440] FAO. *Habitat Conservation in Agriculture*. Rome, 2018.
- [441] ISO 16119. *Meteorological Conditions for Spraying*. ISO, 2019.
- [442] European Commission. *Spray Application Guidelines*. Brussels, 2021.
- [443] EFSA. *High-Risk Active Substances*. Parma, 2020.
- [444] European Commission. *Risk-Based Restrictions*. Brussels, 2022.
- [445] FAO. *Precision Application Technologies*. Rome, 2019.
- [446] European Commission. *Digital Tools in Agriculture*. Brussels, 2021.
- [447] European Environment Agency. *Mitigating Environmental Risks*. Copenhagen, 2022.
- [448] Regulation (EC) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed.
- [449] EFSA. *Food Safety and Pesticide Residues*. Parma, 2019.
- [450] WHO. *Chemical Residues in Food*. Geneva, 2018.
- [451] FAO. *Degradation of Pesticides in Crops*. Rome, 2020.
- [452] EFSA. *Setting Maximum Residue Levels*. Parma, 2021.
- [453] European Commission. *Residue Compliance Policy*. Brussels, 2022.
- [454] WHO. *Consumer Risk Assessment*. Geneva, 2019.
- [455] European Commission. *Food Recall Procedures*. Brussels, 2021.
- [456] EFSA. *EU Pesticide Monitoring Programme*. Parma, 2020.
- [457] European Commission. *Annual Residue Reports*. Brussels, 2022.
- [458] FAO. *Factors Affecting Residue Levels*. Rome, 2019.
- [459] WHO. *Crop-Specific Residue Retention*. Geneva, 2018.
- [460] FAO. *Good Agricultural Practices for Residue Reduction*. Rome, 2021.
- [461] European Commission. *Food Processing and Residues*. Brussels, 2020.
- [462] European Commission. *Trade Standards for Pesticides*. Brussels, 2019.

- [463] EFSA. *Food Safety in International Trade*. Parma, 2021.
- [464] European Environment Agency. *Pesticides and Public Health*. Copenhagen, 2022.
- [465] European Commission. *Food Traceability Systems*. Brussels, 2019.
- [466] FAO. *Pre-Harvest Intervals Explained*. Rome, 2020.
- [467] WHO. *Safe Food Production Systems*. Geneva, 2019.
- [468] European Commission. *Traceability in the Food Chain*. Brussels, 2021.
- [469] EFSA. *Food Contamination Control*. Parma, 2020.
- [470] WHO. *Risks of Non-Compliance with PHI*. Geneva, 2018.
- [471] FAO. *Residue Degradation Studies*. Rome, 2021.
- [472] European Commission. *Labelling of Plant Protection Products*. Brussels, 2020.
- [473] EFSA. *Compliance Monitoring of PHI*. Parma, 2022.
- [474] MADR. *Registrul tratamentelor fitosanitare*. București, 2021.
- [475] European Commission. *Inspection of Agricultural Records*. Brussels, 2022.
- [476] ANF. *Controlul respectării PHI*. București, 2022.
- [477] WHO. *Food Safety Enforcement*. Geneva, 2020.
- [478] European Commission. *Consumer Confidence in Food Safety*. Brussels, 2021.
- [479] FAO. *Economic Impacts of Food Non-Compliance*. Rome, 2019.
- [480] European Commission. *Export Standards for Agricultural Products*. Brussels, 2022.
- [481] EFSA. *Food Safety and Market Access*. Parma, 2021.
- [482] European Commission. *Integrated Food Safety Systems*. Brussels, 2023.
- [483] FAO. *Integrated Pest Management in Agriculture*. Rome, 2018.
- [484] European Commission. *Sustainable Use of Pesticides*. Brussels, 2019.
- [485] EFSA. *Risk-Based Pest Control Strategies*. Parma, 2020.
- [486] Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides.
- [487] European Commission. *IPM Principles and Implementation*. Brussels, 2021.
- [488] FAO. *Reducing Environmental Impact of Pesticides*. Rome, 2019.
- [489] EPPO. *Economic Thresholds in Crop Protection*. Paris, 2018.
- [490] FAO. *Pest Monitoring Techniques*. Rome, 2020.
- [491] EFSA. *Evaluation of Pest Control Efficiency*. Parma, 2019.
- [492] European Commission. *Digital Tools for Crop Monitoring*. Brussels, 2021.
- [493] FAO. *Biological Control in IPM*. Rome, 2018.
- [494] European Commission. *Agrotechnical Measures for Pest Prevention*. Brussels, 2020.
- [495] WHO. *Health Benefits of Reduced Pesticide Use*. Geneva, 2019.
- [496] European Environment Agency. *Biodiversity and Sustainable Farming*. Copenhagen, 2021.
- [497] IRAC. *Insecticide Resistance Management Guidelines*. Brussels, 2019.
- [498] FAO. *Resistance Prevention Strategies*. Rome, 2020.
- [499] EFSA. *Monitoring Resistance Development*. Parma, 2021.
- [500] European Commission. *Sustainable Crop Protection*. Brussels, 2022.
- [501] FAO. *Farm Record Keeping for IPM*. Rome, 2019.
- [502] European Commission. *Compliance Audits in Agriculture*. Brussels, 2021.
- [503] EFSA. *Transparency in Plant Protection Practices*. Parma, 2020.
- [504] European Environment Agency. *Integrated Pest Management and Sustainability*. Copenhagen, 2022.
- [505] FAO. *Principles of Integrated Pest Management*. Rome, 2018.
- [506] European Commission. *Preventive Agricultural Practices*. Brussels, 2020.
- [507] EPPO. *Threshold-Based Decision Making*. Paris, 2019.
- [508] EFSA. *Selective Use of Pesticides*. Parma, 2021.
- [509] FAO. *Biological Agents in Crop Protection*. Rome, 2019.
- [510] European Commission. *Mechanical Pest Control Methods*. Brussels, 2020.

- [511] European Environment Agency. *Protecting Non-Target Organisms*. Copenhagen, 2021.
- [512] IRAC. *Mode of Action Classification*. Brussels, 2018.
- [513] European Commission. *Implementation of IPM in the EU*. Brussels, 2022.
- [514] FAO. *Economic Benefits of IPM*. Rome, 2021.
- [515] EFSA. *Long-Term Sustainability of IPM*. Parma, 2022.
- [516] FAO. *Crop Surveillance Systems*. Rome, 2019.
- [517] EPPO. *Field Monitoring Protocols*. Paris, 2020.
- [518] European Commission. *Pheromone Traps in Agriculture*. Brussels, 2018.
- [519] FAO. *Phenological Monitoring in IPM*. Rome, 2021.
- [520] European Commission. *Precision Agriculture Technologies*. Brussels, 2022.
- [521] EFSA. *Early Warning Systems for Plant Pests*. Parma, 2020.
- [522] FAO. *Post-Treatment Evaluation Methods*. Rome, 2019.
- [523] European Environment Agency. *Beneficial Insects in Agroecosystems*. Copenhagen, 2021.
- [524] European Commission. *Monitoring Requirements under IPM*. Brussels, 2022.
- [525] EFSA. *Data-Based Decision Making in IPM*. Parma, 2021.
- [526] FAO. *Alternatives to Chemical Pesticides*. Rome, 2018.
- [527] European Commission. *Biological Control Strategies*. Brussels, 2019.
- [528] EFSA. *Microbial Pesticides*. Parma, 2020.
- [529] FAO. *Crop Rotation and Pest Control*. Rome, 2021.
- [530] European Environment Agency. *Agroecosystem Stability*. Copenhagen, 2019.
- [531] European Commission. *Mechanical Control in Horticulture*. Brussels, 2020.
- [532] EPPO. *Mass Trapping Techniques*. Paris, 2018.
- [533] FAO. *Botanical Pesticides*. Rome, 2019.
- [534] EFSA. *Integrated Use of Alternatives*. Parma, 2021.
- [535] European Commission. *Green Deal and Pesticide Reduction*. Brussels, 2022.
- [536] European Environment Agency. *Transition to Sustainable Pest Control*. Copenhagen, 2021.
- [537] IRAC. *Mechanisms of Insecticide Resistance*. Brussels, 2019.
- [538] FAO. *Genetic Basis of Resistance*. Rome, 2020.
- [539] European Commission. *IPM and Resistance Management*. Brussels, 2021.
- [540] EFSA. *Rotation of Active Substances*. Parma, 2022.
- [541] WHO. *Risks of Incorrect Dosing*. Geneva, 2019.
- [542] FAO. *Reducing Selection Pressure*. Rome, 2021.
- [543] EPPO. *Resistance Monitoring Protocols*. Paris, 2020.
- [544] European Commission. *Farmer Training in IPM*. Brussels, 2019.
- [545] European Environment Agency. *Policy Measures for Resistance Prevention*. Copenhagen, 2022.
- [546] FAO. *Economic Impact of Resistance*. Rome, 2020.
- [547] EFSA. *Sustainable Resistance Management*. Parma, 2022.
- [548] European Commission. *Agricultural Auditing Systems*. Brussels, 2021.
- [549] FAO. *IPM Compliance Assessment*. Rome, 2020.
- [550] MADR. *Registrul tratamentelor fitosanitare*. București, 2022.
- [551] EFSA. *Monitoring Documentation in IPM*. Parma, 2021.
- [552] European Environment Agency. *Environmental Impact Reporting*. Copenhagen, 2022.
- [553] European Commission. *Pesticide Use Reporting Requirements*. Brussels, 2021.
- [554] WHO. *Incident Reporting in Agriculture*. Geneva, 2019.
- [555] FAO. *Internal Farm Audits*. Rome, 2020.
- [556] European Commission. *Certification and Market Access*. Brussels, 2022.
- [557] EFSA. *Transparency in Plant Protection*. Parma, 2023.

