

PAPER DETAILS

TITLE: Türkiye'de tarım kaynaklı pestisit kirliliğinin durumu ve alternatif kontrol tedbirlerinin incelenmesi

AUTHORS: Fatma Nihan DOĞAN, Mahmut Ekrem KARPUZCU

PAGES: 734-747

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/861326>



Türkiye’de tarım kaynaklı pestisit kirliliğinin durumu ve alternatif kontrol tedbirlerinin incelenmesi

Current status of agricultural pesticide pollution in Turkey and evaluation of alternative control methods

Fatma Nihan DOĞAN¹, Mahmut Ekrem KARPUZCU^{2*}

^{1,2}Çevre Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
doganf15@itu.edu.tr, karpuzcu@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.07.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 19.10.2018
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.53189
Derleme Makalesi/Review Article

Öz

Pestisitler, yeterli miktarda ve kalitede tarımsal üretim gerçekleştirmek için modern tarımın vazgeçilmez olmuştur. Kontrolsüz ve aşırı pestisit kullanımı, doğal kaynaklar, insanlar ve diğer canlılar için tehlike oluşturmaktadır. Özellikle su kaynaklarındaki pestisit kirliliğinin kontrolü için, pestisit kullanım ve satışına dair verilerin sağlıklı tutulması, pestisit uygulaması birlikte pestisitlerin taşınım ve dönüşüm mekanizmalarının bilinmesi, izleme çalışmaları ile pestisit varlığının tespit edilmesi gerekmektedir. Matematiksel modeller vasıtasıyla de pestisit kirliliğinin yönetiminde zaman ve ekonomik açıdan tasarruf sağlanabilecektir. Ayrıca En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) gibi doğal arıtım yöntemlerinin ve alternatif kontrol tedbirlerinin havzada uygulanabilirliği araştırılabilir. Bazı çalışmalarda EİYU kapsamında uygulanan bitkilendirilmiş filtre şeritler ile su kaynaklarında %40 üzerinde pestisit giderimi sağlandığı görülmüştür. EİYU’ların verimliliğini artırmak için karar destek sistemleri (KDS) önemli bir araç olup, pestisit türlerine ve havza yapısına göre giderim oranları değişmektedir. Bir metre uzunluğundaki bir bitkilendirilmiş şerit uygulamasının etkinliğini KDS ile ölçen bir çalışmada Kaliforniya’daki domates tarlalarında %40-60 oranında pestisit giderimi sağlarken aynı uygulama Oregon’daki buğday tarlalarında %15-20 oranında giderim sağlamaktadır. Bu tarz çalışmaların ulusal düzeyde artması ile yoğun pestisit kullanımı olan tarımsal havzalarda pestisit kirliliğinin kontrolü kolaylaşacak, alınabilecek tedbirler kolayca belirlenebilecektir.

Anahtar kelimeler: Pestisitler, EİYU, Su kaynakları, Modelleme, Kirlilik yönetimi, Tarım havzaları

Abstract

Pesticide use is essential for sufficient quality and quantity production in modern agriculture. Uncontrolled and excessive pesticide use poses serious danger for human health, other living things and natural resources. It is necessary to keep track of pesticide sale and consumption data, to determine pesticide fate and transport mechanisms in the environment after application and monitoring pesticides in water sources for sustain efficient pesticide pollution control. Mathematical models are useful for the pesticide pollution control by time and money saving. It will also possible to investigate the applicability of natural treatment and alternative control methods in the basins such as Best Management Practices (BMP). As mentioned in this study, vegetated filter strip application as BMP reduces pesticide load over 40% in water sources. Decision Support Systems (DSS) are promising tool for assess the efficiency of BMPs. DSS are able to predict pesticide concentrations in the watershed that depends on pesticide types and watershed properties. In a DSS study, 1 meter vegetated filter strip application in tomato fields removes 40-60% pesticide concentration in receiving water bodies while reduces 15-20% pesticide pollution in the wheat fields in Oregon. With the increase of such studies at the national level, the control of pesticide pollution in agricultural basins with intensive pesticide use will be easier.

Keywords: Pesticides, BMP, Water sources, Modelling, Pollution control, Agricultural watersheds

1 Giriş

Artan dünya nüfusu ile birlikte ortaya çıkan gıda maddesi ihtiyacı mevcut tarım alanlarından maksimum verim alabilmek için gübre ve zirai ilaçların (pestisit) kullanımını kaçınılmaz kılmıştır [1],[2]. Bugün, Türkiye’nin ya da dünyanın herhangi bir yerinde tarımsal destekleyici bu maddeler olmadığı sürece yeterli miktarda ve kalitede üretim yapmak neredeyse imkansızdır [3]-[5]. Doğal kaynaklara, insana ve diğer canlılara zararlı etkileri bilinmesine rağmen, pestisitler tarımsal üretim için vazgeçilmez olmuştur [6]-[9]. Türkiye’de tarım ilacı kullanım miktarları incelendiğinde, yıllar içerisinde bazı grup tarım ilaçlarının kullanım miktarlarında dalgalanmalar olduğu, bazılarının ise sürekli arttığı görülmektedir (Tablo 1, [10]). Yıllar içerisinde tarımsal üretim ve verim arttıkça pestisit kullanımının da artması doğaldır. O yıla mahsus gerçekleşen kuraklık aşırı yağış, salgın hastalıklar gibi ekstra etkenler de pestisit kullanımını etkilemektedir. Türkiye’nin bir tarım ülkesi olduğu ve tarım alanlarının yüzölçümünde yaklaşık %50 gibi bir yer kapladığı düşünüldüğünde, hektar başına kullanılan

pestisit miktarının makul olduğu sonucuna varılabilir. Nitekim tarım arazisi oranı %50 civarı olan ABD, Almanya, Hollanda ve İtalya gibi ülkelerde hektar başına pestisit tüketimi Türkiye’den çok daha fazladır (Tablo 2, [11],[12]). Ancak, Türkiye için esas sorun pestisit kullanım miktarlarının bazı bölgelerde aşırı fazla olması ve bu bölgelerdeki tarım ürünlerinde kalıntı pestisit sorunu oluşturmalarıdır [13],[14]. Kalıntı pestisit, gıda maddeleri, insanlar, hayvanlar, su kütleleri, su canlıları, toprak ve sediment için tehlike oluşturmaktadır.

Meyve ve sebze üretiminin fazla olduğu ve bu ürünlerin ihracatının yapıldığı Antalya ilinde, ekilebilir tarım alanlarında hektar başına kullanılan pestisit miktarı 26.85 kg/ha iken Avrupa’nın en fazla pestisit kullanan ülkesi olan Hollanda’da bu değer 10.9 kg/ha’dır [15],[16]. İhracatın fazla olduğu bu illerde meyve ve sebzelerde aşırı pestisit kullanımı özellikle Avrupa Birliği ülkeleri tarafından bu tarım ürünlerinin iade edilmesine yol açmakta ve Türkiye için büyük bir ekonomik zarara neden olmaktadır [17].

Tablo 1: Türkiye’de tarım ilacı kullanım miktarı, ton [10].

Yıllar	İnsektisit	Fungisit	Herbisit	Akarisit	Rodentisit	Diğer	Toplam
2008	9 251	16 707	6 177	737	351	5 613	38 836
2009	9 914	17 863	5 961	1 533	78	2 302	37 651
2010	7 176	17 396	7 452	1 040	147	5 344	38 555
2011	6 120	17 546	7 407	1 062	421	6 978	39 534
2012	7 264	18 124	7 351	859	247	8 766	42 611
2013	7 741	16 248	7 336	858	129	7 128	39 440
2014	7 586	16 674	7 794	1 513	149	6 007	39 723
2015	8 117	15 984	7 825	1 576	197	5 327	39 026
2016	10 425	20 485	10 025	2 025	259	6 835	50 054

Tablo 2: Dünyada tarım ilacı kullanımı.

Ülkeler	Tarım alanı yüzdesi, % [11]	Pestisit tüketimi (aktif madde bazında) ton/yıl [12]	Pestisit kullanımı kg/ha [12]
ABD	44.4	397.800,18	2.42
Türkiye	50.1	39.722,72	1.66
İtalya	44	58.825	6.45
Hollanda	54.5	10.665,55	9.86
Almanya	48	45.836,29	3.8

Pestisit tüketiminin fazla olması sadece gıda güvenliği ve ekonomik açıdan zarar oluşturmakla kalmamakta, bunlar çeşitli mekanizmalar ile su kaynaklarına ulaşmaktadır. Türkiye’de pestisit ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle meyve ve sebzelerdeki kalıntı pestisit sorunu [18],[19], bitkisel ürünlerde oluşan pestisit direnci [20],[21], pestisitlerin insan sağlığına olumsuz etkileri [22],[23], pestisit tayin metodları [24], laboratuvar ortamında çeşitli giderim yöntemleri [25] ve pestisitlerin su canlılarına etkisi [26],[27] gibi konulara odaklanmıştır. Tarımsal su havzalarında pestisit kaynaklı kirliliğin yönetimi, su kaynaklarında pestisit izleme çalışmaları, havza ölçeğinde pestisitlerin taşınım ve akıbetlerinin karar destek sistemleri yardımıyla modellenmesi gibi konularda daha fazla çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Türkiye, Bütünleşik Havza Yönetimi anlayışını benimsemiş olup bu anlayış tarımsal kaynaklı kirlenmelerin kontrolünü ve yönetimini de içermektedir [28],[29]. Tarım ilaçlarının yönetimi için öncelikle aşırı ve gereksiz kullanımı engelleyecek stratejiler geliştirilmeli, yürürlüğe konmalı (Entegre Pestisit Yönetimi, Zararlılarla Entegre Mücadele, Entegre Ürün Yönetimi, İyi Tarım Uygulamaları), kullanılması muhtemel pestisitlerin izleme çalışmaları ile tespiti yapılmalı ve bu kirlenmelerin su ortamına ulaşana kadar uğradıkları dönüşümler ve izledikleri yollar karar destek sistemleri ile modellenmelidir. Ayrıca En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) olarak adlandırılan doğal arıtma yöntemleri ile pestisit kirliliği su kaynaklarına ulaşmadan kontrol edilmelidir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de tarım kaynaklı pestisit kirliliğinin su kaynaklarına ve çevreye etkileri ile ilgili yapılmış çalışmaları inceleyerek pestisit sorununu ortaya koymak, dünyada bu alanda yapılmış güncel çalışmaları analiz ederek eksiklikleri belirlemek ve bu problemin insan ve çevre sağlığı açısından en iyi şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktır.

1.1 Entegre zararlı yönetimi ve Türkiye

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tarımsal politikalar tarımsal verimliliğin ve kalitenin artırılması esasına dayanmaktadır [30]. Sadece günümüz nüfusunun beslenme

ihtiyacını değil, gelecek nesillerin de ihtiyacını dikkate alarak, tarım alanları ile birlikte tüm doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını içeren politikalar; hızlı değişen teknoloji, artan nüfus, çiftçi sağlığı, gıda güvenliği ve su-çevresel kaynaklardaki kirlenme endişeleri gibi etkenler karşısında sürekli yenilenmektedir [31]-[33]. EYZ konsepti de tarımsal sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde sürekli gelişim halinde olup, dünyanın birçok yerinde farklı isimler altında (pestisit yönetimi, entegre zararlı yönetimi, zararlı kontrolü, zararlı yönetimi vb.) uzun yıllardır uygulanmaktadır [34],[35]. EYZ, multidisipliner bir yaklaşım olup kimyasal tarım ilaçlarının ekolojik anlamda ve sağlık açısından zararını azaltmaya yönelik alternatif yöntemler ile mevcut kaynakların daha iyi kullanımını teşvik ederek tarımın gelişmesine yardımcı olabilecek tüm zararlı yönetim anlayışını kapsamaktadır [36],[37]. Türkiye’de EYZ’nin ilk adımı olarak Avrupa Birliği süreci ile birlikte 2004 yılında bir Avrupa Birliği protokolü olan EUREPGAP şu anki ismiyle GLOBALGAP (Avrupa Birliği Ülkeleri Perakendecileri Tarım Ürünleri Çalışma Grubu, İyi Tarım Uygulamaları Protokolü) yürürlüğe konmuştur [38]. Bu protokol ile AB perakendecileri, raflarına koydukları ürünlerin müşterilerine zararlı olmayacağına dair garanti ve güvence vermektedirler [39].

Türkiye’de EYZ’nin uygulanması, denetlenmesi ve yönetimi Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’na (GTHB) aittir. GTHB tarafından hazırlanan Entegre Mücadele Teknik Talimatnameleri’nde hastalık, zararlı ve yabancı otlara karşı kullanılacak olan bitki koruma ürünleri belirlenmiştir. Bu talimatnamelerde pestisitlere karşı bir direnç oluşmaması için önerilen aktif maddeler, kullanım dozları ve hasat ile uygulama arasındaki süre gibi bilgiler bulunmaktadır. Bu uygulamalar ile bitki, sebze ve meyvelerdeki kalıntı pestisitleri minimize etme, son kullanıcıya sağlık açısından güvenilir ürün temin etme ve ekolojik-ekonomik açıdan en az zararlı tarımsal üretimi sürdürme şansı sunulmuş olmaktadır. Ayrıca Bakanlık tarafından Avrupa Birliği uyum süreciyle de mutabık şekilde yasaklanan pestisit türleri belirlenmektedir. Zararlı etkileri kanıtlanan organoklorlu pestisitlerin (endosulfan, amitraz,

kinetin, metolachlor gibi) 2009 yılında imalat ve ithalatı sonlandırılmış, 2011 yılında ise kullanımı tamamen GTHB tarafından yasaklanmıştır[40]. Son olarak, ekolojik toksisitesi ve insan sağlığı için oluşturduğu riskler ile gündemde olan, meyve ve sebze üretiminde fazlaca kullanılan organofosfatlı pestisit chlorpyrifos'un kullanımı ve satışı 2016 yılında GTHB tarafından yasaklanmıştır [41],[42].

Yasaklanan pestisitlerin bildirilmesi, alternatif olarak kullanılacak pestisitlerin ve yöntemlerin tanıtılması ve genel olarak zararlı yönetimi ile ilgili eğitim çalışmaları ile çiftçiler GTHB tarafından eğitilmektedir. 2008 yılında Entegre mücadele ile ilgili yapılan bir çalışmada, tarımın yoğun olduğu Antalya ilinde Bakanlığın eğitim programlarına katılmış çiftçilerden "entegre mücadele" kavramını tanımlamaları istenmiş, üreticilerin %39.0'u bu kavramı ucuz ve az ilaç kullanmak, %31.7'si zararsız ilaç kullanmak, %19.5'i kontrollü ilaç kullanmak ve %9.8'i gereksiz ilaç kullanmamak olarak tanımlamışlardır [43]. Entegre zararlı yönetiminin ilaç kullanım eksenli tanımlanması, EYZ anlayışını daha kısır bir hale getirerek daha az zararlı ve daha seyrek ilaç kullanımının EYZ için yeterli olduğu yanlışısını ortaya çıkarmaktadır [44]. Genellikle EYZ çiftçiler tarafından bu şekilde anlaşılmakta, EYZ uygulamalarının verimliliği de bu eksenle ölçülmektedir. EYZ, sadece daha az toksik ilaç kullanımı ve ilaçlama takviminin düzenlenmesi ile sınırlı olmayıp, kimyasal mücadeleye ihtiyaç kalmadan uygulanabilecek diğer tüm alternatif mücadele metodlarını da kapsamaktadır. Kimyasal tarım ilaçlarının kullanımı yerine biyolojik mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması zararlı yönetiminde pestisit kalıntısı ve kirliliği açısından daha faydalı olup, Türkiye'de bu konuda yapılan birtakım çalışmalar mevcuttur [45]-[47].

Tarımsal üretim yapan Türkiye'deki altı şehirde, EYZ'de önemli bir role sahip olan zirai ilaç bayileri ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada entegre mücadele konusunda kendini tam bilgili sayan zirai bayi oranı %16.6 olarak bulunmuş, %1.4 oranında bayi ise bu alanda kendini bilgisiz görmüştür [48]. Aynı araştırmada zirai ilaç bayilerine bir zararlı sorunu ile karşılaşmamak düşüncesiyle, bitkileri kontrol etmeksizin düzenli aralıklarla ilaçlama önerip önermedikleri sorulmuş, bayilerin yaklaşık yarısı bunu önermediklerini beyan etmişlerdir. %33 oranında bayi ise gerekli olsun olmasın bazı ilaçları kontrol amaçlı önerdiklerini söylemişlerdir. Batı Akdeniz Bölgesinde gerçekleştirilen bir çalışmada ise, kiraz yetiştiren çiftçilerin tarlalarında, bayiler tarafından tavsiye edilen pestisit oranından %42 daha fazla pestisit kullandıkları saptanmıştır [49]. Gerek zirai bayilerin gereksiz pestisit kullanımını önermeleri, gerekse çiftçilerin daha fazla verim almak amacıyla aşırı pestisit kullanımı, EYZ uygulamalarının içeriğinin düzenlenmesini ve kontrolünün daha iyi yapılmasını gerektirmektedir. EYZ kapsamında sadece çiftçilerin değil, onlara satış yapan zirai ilaç bayilerinin de gerekli hassasiyet ve sorumluluğa sahip olması, üreticilere ve bayilere yetkililer tarafından gerekli eğitimlerin verilmesi ve nihayetinde zararlı yönetimi ve pestisit kullanımına dair tüm işlemlerin kontrol altında olması gerekmektedir. Yeterli denetim ve bilgilendirme yapılmadığında, aşırı ve gereksiz pestisit kullanımının önüne geçilemeyecektir.

1.2 Pestisitler ile ilgili Türkiye'de yasal düzenlemeler

Türkiye'de pestisit ve gübre kullanımını kontrol altına almak, bu kimyasalların kullanım miktarını, satışını yasal bir zemine sokmak amacıyla Üretici Kayıt Defteri uygulaması getirilmiştir [50]. Bu uygulamayla tüketicinin güvenilir gıdaya ulaşımı ve

dolaylı olarak kontrollü pestisit kullanımı sağlanarak çevreye olumsuz etkilerin azaltılması amaçlanmıştır. 2015 yılında GTHB tarafından zorunlu hale getirilen uygulama, ticari amaçla üretilen belirli tarımsal ürünler için geçerlidir. Kayıt defterine bitki koruma/zirai ilaç ürünü reçetesi, alınan ürünlerin uygulama bilgileri ve hasat zamanı ile tahmini ürün miktarı bilgilerinin kaydedilmesi gerekmektedir. Ayrıca her bir ürün ve tarım parseli için de ayrı kayıtların tutulması gerekmektedir. Bu sayede her bir tarım arazisi parselinde ne kadar pestisit kullanıldığını tespit etmek mümkün olacaktır. Üretici kayıt uygulaması, tarım ilaç verilerinin toparlanması açısından önemli bir uygulama olmakla beraber, kısıtlı bir ürün grubu için geçerli olması ve çevrimiçi bir veritabanı olmaması açısından eksiklikler içermektedir. Ayrıca Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın da dahil olduğu daha geniş paydaşlı bir çalışma ile sadece gıda güvenliği açısından zirai ilaç kontrolünü değil, bütüncül bir biçimde çevreyi dikkate alacak şekilde tarımsal kaynaklı kirleticilerin kontrolünü sağlayacak bir veritabanı oluşturulması daha faydalı olacaktır.

Tarım alanlarındaki pestisit kayıt uygulamasının en güzel ve gelişmiş örneklerinden biri Kaliforniya'daki "PUR (Pesticide Use Reporting)" veritabanıdır. Çiftçiler tarım alanlarında kullandıkları pestisit türleri ve miktarlarını aylık olarak il tarım komisyonlarına bildirmek zorundadır. Harita üzerinde gösterime sahip PUR, pestisit türleri, miktarları, uygulanan bitki türü gibi bilgileri içermektedir [51]. Ayrıca bu bilgiler coğrafi bilgi sistemlerinde (CBS) kullanılacak formatta elde edilebilmektedir. PUR veritabanının kullanımının herkese açık ve kolay olması Kaliforniya'da pestisit kirliliği üzerine yapılan çalışmaları da artırmıştır [52]-[55]. PUR verileri kullanılarak "PURE-DSS" adı verilen pestisit risk değerlendirme modellemesi- yüzeyel sular, yeraltı suyu, toprak ve havada- yapılmış ve Kaliforniya'daki çiftçilere daha az zararlı pestisit türlerini tavsiye edebilen bir yazılım ortaya çıkarılmıştır [56]. Çiftçilerin çevrimiçi olarak kullanabilecekleri bu yazılım açık erişimli olup, EYZ ve En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) konseptlerini de kapsayacak şekilde geliştirilmektedir. Sağlıklı bir veritabanı oluşturulması ile pestisit yönetiminin de daha ileri noktaya gidebileceği bu örnekte açık bir şekilde görülmektedir.

Kalıntı pestisit miktarını kontrol altına alabilmek için GTHB tarafından birçok yasal düzenleme getirilmiştir. Bakanlık tarafından, Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği'nde belirlenen değerler, iyi tarım uygulamaları ve kabul edilebilir günlük alım miktarları dikkate alınarak oluşturulmuş kalıntı limit değerleridir. Bu limit değerlerin üzerini aşacak şekilde pestisit kullanımı yasal değildir.

Gıda maddelerindeki kalıntı pestisit düzenlemelerinin yanı sıra, su havzalarında tarımsal kaynaklı kirleticilerin varlığı, su kaynakları için bazı standartlar getirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu amaçla Sağlık Bakanlığı (SB) tarafından hazırlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik kapsamında, kullanılacak su kütlelerinde olması muhtemel pestisit türlerinin tespit edilmesi ve toplam pestisit konsantrasyonunun 0,50 µg/l'yi geçmemesi gerekmektedir [57].

Pestisit kullanımının, tarım ürünlerinden su kaynaklarına ve insan sağlığına geniş bir yelpazede etkisi bulunduğu için birçok farklı resmi kurum tarafından çeşitli kontrol limitleri getirilmiştir. Bu noktada sorumluluk sadece resmi kurumların değil, su havzasında aktif rol oynayan tüm paydaşların olmalıdır. Üreticilerin yasaklanmış pestisitleri kullanmama,

kullandıkları pestisitleri ve miktarlarını doğru beyan etme, kendilerine ve doğaya en az zarar verecek uygulama yöntemlerini seçme sorumlulukları vardır. Zirai bayiler ise pestisit kullanımına ve yönetimine dair bilgileri çiftçiler ile doğru bir biçimde paylaşmalı, son kullanma tarihi geçmiş pestisitlerin satışını gerçekleştirmemeli, ekonomik kazanç sağlamak amacıyla çevreyi ve insan sağlığını riske sokmamalıdır [58],[59].

2 Su kaynaklarında pestisit çalışmaları

2.1 Türkiye sularında pestisit kirliliği

Türkiye’de yapılan bir çok çalışma su kaynaklarında ve sedimentlerde pestisit varlığını ortaya koymaktadır. Pestisitlerin konvansiyonel arıtım yöntemleri ile yeterince arıtilamadığı [60],[61] ve doğada uzun süre bozunmadan kaldıkları [62],[63] bilinmektedir. Uzun yarıömürlere sahip pestisitlerin su kaynaklarına ulaşması, sucul canlılara zarar vermekte, bu suların içme suyu kaynağı olarak kullanılması insanlar için de bir tehlike arz etmektedir [64],[65]. Tarım alanlarında uygulanan pestisitler, yağış, rüzgâr, toprakta sızma, atmosferik taşınım gibi mekanizmalar ile su kaynaklarına ulaşmaktadır. İzleme çalışmaları ile su kaynaklarındaki pestisit kirliliğinin ortaya konması, bu kirliliğin kaynağına varmadan önce hangi yöntemler ile kontrol altına alınacağını ve kaynağında kirliliğin nasıl yönetileceğini belirlemede bir ön adımdır.

Kumbur ve diğ. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, Göksu Deltası çevresindeki tarım arazilerindeki yer altı suyu kuyulardan numuneler alınarak pestisit ölçümleri yapılmıştır [66]. Çalışmada organoklorlu pestisitlerin varlığı tespit edilmiştir. Özellikle yağışın az olduğu kurak aylarda, yeraltı suyu kuyularında yüksek konsantrasyonlarda pestisit türleri bulunmuştur. Lindan ve metabolitleri, endosulfan ve isomerleri, aldrin, dieldrin ve endrin aldehit pestisitleri yeraltı suyunda tespit edilmiş olup, sadece çilek tarımında kullanılan bir insektisit olan aldrin 10 ng/L konsantrasyonu ile Avrupa Birliği Tehlikeli Maddelerin Sularında ve Çevrede Oluşturduğu Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ndeki sınır değerleri aşmıştır. Göksu Deltası’nın Türkiye için önemli bir sulak alan olduğu ve Göksu Nehri’nin bugünlerde içme suyu kaynağı olarak [67] planlandığı düşünüldüğünde, sınır değerler altında da olsa tespit edilen pestisitlerin sucul yaşam ve insanlar için sorun oluşturacağı açıktır. Başka bir yeraltı suyu araştırmasında ise, evsel amaçlı kullanılan, Ege Üniversitesi, İzmir kampüsündeki yeraltı suyu depolama ve pompa istasyonlarından alınan numunelerde pestisit analizi yapılmıştır [68]. Tespit edilen pestisit türleri ve konsantrasyonları heptachlor 2.12 µg/L, chlorpyrifos 3.39 µg/L, heptachlorepoide 0.38 µg/L, a-CHL 0.34 µg/L, g-CHL 0.29 µg/L p-p’-DDE 0.51 µg/L, p-p’-DDT 0.58 µg/L olup, toplam pestisit konsantrasyonu 7.59 µg/L’dir. Bu değer İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’teki toplam pestisit konsantrasyonu limiti olan 0.50 µg/L’den çok fazladır. Ayrıca kullanımı uzun yıllar önce yasaklanan DDT(diklorodifeniltrikloroethan) ve metabolitlerinin varlığı tespit edilmiştir. DDT ve metabolitlerinin uzun yıllar boyunca bozunmaya uğramadan kalmalarından dolayı bu pestisitlere rastlanmış olabileceği gibi, yasal olmayan güncel bir DDT kullanımı da söz konusu olabilmektedir [69],[70]. İçme suyu olarak kullanılan yüzeysel sulara yapılan bir başka çalışmada, Afyonkarahisar ilindeki içme suyu şebekelerinden ve Karamık ve Eber Gölü’nden alınan numunelerde organoklorlu pestisit analizi yapılmıştır [71]. İçme suyu şebeke numunelerinde keton 0.71 µg/L ile en yüksek derişimde bulunurken, Eber Gölü’nde heptaklorepoisit

1.42 µg/L, Karamık Gölü’nde 4,4-DDE 0.64 µg/L ile en yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Eber Gölü’nde diğer çalışma alanlarına göre daha fazla pestisit konsantrasyonuna rastlanması, göl etrafındaki tarım alanlarının fazlalığı ve göl havzasının kapalı havza olmasından dolayı su sirkülasyonunun düşüklüğü ile açıklanmıştır. Yüzeysel sulara yapılan başka bir çalışmada, Ege Denizi’ne dökülen Gediz ve Bakırçay nehirlerinde sedimentte organoklorlu pestisit analizi yapılmıştır [72]. Araştırılan 16 pestisitten yağışlı mevsimlerde en yüksek konsantrasyonda tespit edilenler DDT, δ-BHC ve endrin iken, kurak mevsimlerde endosulfan-I olmuştur. Ankara’da içme suyu kaynağı olarak kullanılan yüzeysel sulara yapılan bir çalışmada ise sivrisinek ve karasinek mücadelesinde kullanılan temefos, diflubenzuron ve S-methopren pestisitlerine rastlanmıştır [73]. Araştırma sonucunda, pestisit konsantrasyonları AB direktifleri ve Türk yönetmeliklerindeki limit değerleri aşmamaktadır. Fakat numune alınan tüm sulara araştırılan pestisitlerin tamamı bulunmuştur. Zaman geçtikçe pestisit kullanımındaki artış ve bu pestisitlerin yarı ömürleri düşünüldüğünde, ilerleyen yıllarda sulardaki pestisit konsantrasyonunun artacağı muhtemeldir.

İçme suyu ve yeraltı su kaynaklarının tarım alanlarına yakın olması, bu sulara pestisit kirlilik potansiyelini artırmaktadır. Tarımsal üretimin yoğun olduğu Antalya Kumluca bölgesinde bulunan tarım alanlarındaki su kuyularından ve yüzeysel sulardan numuneler alınarak organoklorlu pestisit analizleri yapılmıştır [74]. Su kuyularının yaklaşık %32’sinde ve yüzeysel suların %50’sinde en az bir pestisit çeşidinin Avrupa Birliği Direktifi limit değeri olan 0.1 µg/L’den fazla olduğu tespit edilmiştir. En sık gözlemlenen pestisitler, yeraltı suyu kuyuları için chlorpyrifos (%57) ve aldrin (%79) iken, yüzeysel sulara chlorpyrifos (%75), aldrin, ve endosulfan sulfat (%83)’tür. Bu pestisitler sebze ve meyve bahçelerinde kullanılmaktadır. Yeraltı sularında 394.8 ng/L ile fenamifos ve 68.51 ng/L ile aldrin, yüzeysel sulara ise 89.5 ng/L ile endosulfan sulfat en yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir.

Pestisit kirliliğinin havza bazında incelenmesi, kirliliğin kaynağına kontrolü açısından önemlidir. Su kütlelerine ulaşmadan, tarımsal kaynaklı kirlleticilerin havzadaki taşınım ve dönüşümlerinin incelenmesiyle daha etkin önlemler alınabilmektedir. Havza bazında yapılan bir çalışmada, İstanbul’daki su havzalarında kullanılan pestisitlerin risk analizi yapılmıştır [75]. Havzada kirliliğe en fazla katkıda bulunabilecek pestisitler chlorpyrifos, endosulfan ve amitraz olarak bulunmuştur. Bu pestisitlerin tamamının kullamını şu anda Türkiye’de yasaktır [42]. Havza bazında yapılan bir başka çalışmada ise, Melen Havzası’nda en çok kullanılan 13 pestisitinin yüzeysel akış ve mikrobiyolojik ayrışma yolu ile gerçekleşen taşınım ve dönüşüm yüzdeleri, literatürden elde edilen yarıömürleri kullanılarak hesaplanmıştır [76]. Azinfosmetil, chlorpyrifos-etil, glifosfat isopropilamin tuzu, karbaril, metalaksil ve paraquatının uygulandığı her ay yüzeysel akışta çözünmediği ve bu yolla alıcı ortama taşınabileceği görülmüştür. Buna karşılık; lambda cyhalothrinin hiçbir ay yüzeysel akışta çözünmediği, dolayısıyla yüzeysel akışla taşınımının gerçekleşmeyeceği, endosulfanın ise yılın belli aylarında (Mart, Ağustos) yüzeysel akışta çözündüğü, Nisan ayında ise uygulanan miktarın fazla ve tahmin edilen yüzeysel akış değerinin az olması sebebiyle yüzeysel akışta çözünemeyeceği tahmin edilmektedir. Pestisitlerin yüzeysel akış ile ne miktarlarda taşınabileceğini risk analizi ile gösteren

bu çalışma, taşkın zamanlarında pestisit kirliliğinin yönetimi için yol gösterici olacaktır.

Pestisitlerin su kaynaklarına etkisi yalnızca izleme ve ölçüm çalışmaları ile değil, çiftçiler ile yapılan anket çalışmaları ile de değerlendirilmiştir. Ankara'da Kızılcahamam ve Çamlıdere'de, tarımsal kaynaklı kirleticilerin su kaynaklarına etkisi çiftçiler bazında araştırılmış, ankete katılan çiftçilerin %53.7'si fazla kullanılan pestisitün ürünlere zarar vereceğini söylerken sadece %24.5'i çevreyi kirliteceğini beyan etmiştir [77]. Kimyasal ilaçların toprakta kalıntı bırakmayacağını düşünen çiftçi oranı %55.7 iken, pestisitlerin su kaynaklarını kirlilemeyeceğini düşünen çiftçi oranı %54.6'tır. Başka bir soru ile pestisitlerin su kaynaklarına hangi şekilde ulaştıkları sorulmuş, ankete katılan çiftçilerin en yüksek oranla %35.5'i herhangi bir cevap verememiş, %15.5'i yağmur suları ile barajlara ulaştıklarını ve %11.8'i ilaç ambalajlarının ortada bırakılması ile su kaynaklarına ulaştığını belirtmiştir. Açıkça görüldüğü üzere çiftçilerin büyük bir kısmı pestisitlerin su kaynaklarına herhangi bir olumsuz etkisi olmayacağını düşünmektedir. Pestisitlerin uygulandıktan sonra toprak katmanlarındaki hareketinin ve yağış ve yüzeysel akış ile yeraltı suyuna ve yüzeysel sulara ulaşma potansiyellerinin çiftçiler tarafından tam anlaşılmadığı açıktır.

Yeraltı ve yüzeysel sularla birlikte sedimentlerde de pestisit çalışmaları yapılmaktadır. Bazı pestisitler hidrofobik özellikleri dolayısıyla sedimentte birikmeye daha meyilli olmaktadır [78],[79]. Bu yüzden sadece su numunelerinde pestisit kirliliğini ölçmek yeterli değildir. Ege Denizi kıyılarında yapılan sediment analizinde, organoklorlu pestisit varlığına rastlanmıştır [80]. Çalışmada DDT metabolitlerinin DDT'den daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiş, yakın zamanlı bir DDT kullanımı olmasa da DDT'nin yüksek yarı ömre sahip olması sebebi ile sedimentte varlığını sürdürdüğü sonucuna varılmıştır. Bir diğer çalışmada Fırat Nehri Havzası'nda bulunan Atatürk Baraj Gölü'nde pestisit kirliliği araştırılmış, barajdan alınan su numunelerinde herhangi bir organoklorlu pestisit rastlanmamıştır. Aynı çalışmada, gölden alınan sediment ve balık numunelerinde de analizler yapılmış, bu numunelerde DDT ve metabolitleri tespit edilmiştir [81]. Biyota ile yapılan başka bir çalışmada, Mersin Körfezini besleyen çaylarda organoklorlu pestisit kirliliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek konsantrasyonlara biyota numunelerinde saptanırken en düşük kalıntı konsantrasyonu deniz suyu numunelerinde görülmüştür [82].

Su kaynaklarındaki pestisit kirliliği ile ilgili akademik çalışmaların yanında Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından tarımsal üretimin fazla olduğu bölgelerde kapsamlı bir pestisit izleme çalışması yapılmıştır. 2016 yılında tamamlanan 'Bitki Koruma Ürünlerinin Kullanımı Neticesinde Meydana Gelen Su Kirliliğinin Tespiti ve Madde veya Madde Grubu Bazında Çevresel Kalite Standartlarının Belirlenmesi Projesi (BİKOP)'nde pestisit kullanımı ile meydana gelen su kaynaklarındaki kirlilik, belirli tarım havzalarında incelenmiştir. Türkiye'de tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu Ege (Büyük Menderes Su Havzası), Doğu Akdeniz (Çukurova-Seyhan/Ceyhan Su Havzası) ve Güneydoğu Anadolu (Fırat-Dicle Su Havzası) Bölgelerindeki pilot nehir havzalarında ve Manisa, Amasya, Sakarya pilot illerindeki yüzeysel sular ve kıyı sularında bulunan pestisitler araştırılarak tespit edilmiş, bu kirleticiler için Çevresel Kalite Standartları belirlenmiştir [83]. Su ve sediment analizleri sonucu tespit edilen ve takip edilmesi önerilen öncelikli pestisitler, carbendazim, acetamiprid,

imidacloprid, metachlor-s'tir. Bu pestisitler için çevresel kalite standartları belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Öncelikli kirleticiler için çevresel kalite standartları, yıllık ortalama değerler.

Pestisitler	Çevresel Kalite Standardı (Yüzeysel sular ve deniz suları için, µg/L)
Carbendazim	2.7
Imidacloprid	0.138
Methaclor-s	0.054
Acetamiprid	0.20

Özet olarak, Türkiye'de su kaynaklarında ve sedimentte yapılan araştırmalar pestisit varlığını ortaya koymakta ve bazı pestisit türlerinin kabul edilebilir limitlerin dışında olduğunu göstermektedir. Türkiye'de yapılan çalışmaların büyük bir kısmı organoklorlu pestisitler üzerine olup, şu an kullanımı daha yaygın olan organofosforlu pestisit sınıfı gibi yeni pestisit türleri üzerine de çalışmaların yapılması gerekmektedir (Tablo 4). Pestisit kullanıcılarının/uygulayıcılarının, bu kirliliğin ne gibi sonuçlara yol açacağını, çevre ve su kaynaklarına ne şekilde zarar vereceğini tam olarak kavrayamaması da pestisit kirliliğinin yönetiminde problem teşkil etmektedir. Bakanlık tarafından tarımsal havzalardaki su kaynaklarında kapsamlı pestisit izleme çalışmaları yapılması ve çevresel kalite standartlarının oluşturulması projesi gelecek için umut vaatetmekle beraber, standartların uygulanabilirliğinin sağlanması ve denetimi şarttır.

2.2 Su kaynaklarında pestisit giderim çalışmaları

Pestisitlerin giderimi için öncelikle pestisitlerin su kaynaklarına ne tür yollarla ulaştığının belirlenmesi, suda, sedimentte ve bitkide gerçekleşen mekanizmalara ait kinetik hesaplamaların yapılması ve tüm fazlarda pestisit dağılımını belirlemek gerekmektedir [84]. Bu alanda Türkiye'de çeltik tarımının yoğun olduğu Meriç Havzası'nda yapılan bir çalışmada, havzada kullanılan organofosforlu pestisitlerin giderimi için sulak alan uygulaması araştırılmıştır [85]. Laboratuvar ölçekli bir sulak alan reaktöründe gerçekleştirilen biyolojik ayrışma deneyleri ile organofosfatlı pestisitlerin aerobik şartlar altında serbest yüzey akışlı bir sistemde yüksek verimde giderildiği tespit edilmiştir. Gerçek şartları yansıtmaması için havzadaki drenaj kanallarından alınan sediment ile doldurulan reaktöre, saz bitkisi ekilmiştir. Havzada en çok kullanılan pestisitler olan chlorpyrifos, fenthion, diazinon ve dichlorvos'un sediment ve bitki yüzeyine adsorplanan miktarları deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir. Chlorpyrifos ve dichlorvos'un sedimente adsorplanan miktarları bitkiye nazaran daha fazla iken, fenthion ve diazinon bitki yüzeyine daha çok adsorplanmıştır. Ayrıca pestisitlerin yeraltı suyuna sızma potansiyellerine bakılmış, chlorpyrifos, fenthion ve dichlorvos bu açıdan daha az tehlikeli görülürken, diazinon'un yeraltı suyuna geçme potansiyelinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde bitkilendirilmemiş ve farklı bitkiler kullanılmış yapay sulak alan uygulamalarının verimini laboratuvar ölçeğinde araştıran bir çalışmada, pestisitlerin giderimi için mekanizmaların biyodegradasyon ve bitki içinde metabolizasyon aşamaları olduğu tespit edilmiştir [86].

Pestisit giderimini etkileyen faktörler sistem tasarımı, hidrolik yükleme hızı ve değişik bitkilerin varlığı olarak belirlenmiştir. Çalışılan tebuconazol pestisitinin yapay sulak alanlarda giderim verimi çözülmüş oksijen ve nutrient giderimi ile bağlantılı bulunmuştur. Yapay sulak alanlarda hidrolik işletme koşullarının pestisit giderimini etkilediğini gösteren

başka bir çalışmada, kuru-ıslak döngüde çalıştırılan serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlarda, devamlı su altında bırakılan serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlara göre organofosfatlı pestisitlerin daha hızlı biyolojik ayrışmaya uğradığı tespit edilmiştir [87]. Çalışmada chlorpyrifos pestisitinin biyolojik ayrışma katsayıları hesaplanmıştır. Önceden organofosfatlı pestisitlere maruz kalmış bölgelerde pestisit parçalanmasının daha yüksek potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir. Hidrolik işletme koşullarının etkisini araştıran başka bir yapay sulak alan çalışmasında ise, bitkilendirilmiş ve bitkilendirilmemiş ardışık geri devirli çalışan bir sistemde chlorpyrifos, endosulfan, fenvalerate, ve diuronun giderim oranları incelenmiştir [88]. Sisteme demir katkılı biyoaktif karbon eklendiğinde, yüksek giderim verimlerine ulaşılmıştır.

En İyi Yönetim Uygulamaları'ndan biri olan bitkilendirilmiş filtre şeritler ile de pestisit kontrolü sağlanmaktadır. Yüzeysel suların kenarına şerit halinde uygulanan bitkilendirme ile

pestisitlerin su kaynağına ulaşmadan tutulması amaçlanmaktadır. Bitkilendirilmiş şeritlerin, pestisit giderimindeki performansını ölçen bir çalışmada, pestisit tutulumunu sağlayan ana mekanizmalar, yüzeysel akışın sızma potansiyeli, sedimantasyon ve ikisi arasındaki değişim olarak belirlenmiştir. Bu mekanizmalar, akış hızı, yağış miktarı, toprak türü, pestisitlerin sedimente kuvvetli ya da zayıf adsorbe olmaları gibi faktörlerden etkilenmekte, değişik ortam şartlarında bitkilendirilmiş şeritlerin pestisit tutma verimleri de değişmektedir [89]. Bitkilendirilmiş şeritlerin boyutlarının, pestisit giderimine etkisi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Şerit uzunluklarının etkisini inceleyen bir çalışmada, ekin türü ve iklimsel şartlara göre şerit uzunluklarının pestisit giderimine etkisi değerlendirilmiştir [90]. 1 metre uzunluğundaki bir bitkilendirilmiş şerit, Kaliforniya'daki domates ekimi yapılan alanda %40-60 oranında bir pestisit giderimi sağlarken, Oregon'daki buğday tarlalarında %15-20 oranında giderim sağlamıştır.

Tablo 4: Türkiye'deki su kaynaklarında pestisit varlığı.

Çalışma Alanı	Tespit edilen pestisitler	Yorum	Kaynak
Göksu Deltası çevresi yeraltı suyu kuyuları	Lindan ve metabolitleri, endosulfan ve isomerleri, aldrin, dieldrin, endrin, aldehit	Çilek tarımında kullanılan bir insektisit olan aldrin 10 ng/L ile Avrupa Birliği Tehlikeli Maddelerin Sularda ve Çevrede Oluşturduğu Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki sınır değerleri aşmıştır.	[66]
Ege Üniversitesi, İzmir yeraltı suyu depolama ve pompa istasyonları	Heptachlor, chlorpyrifos, heptachlorepoxyde, a-CHL, g-CHL, p-p'-DDE, p-p'-DDT	Toplam pestisit konsantrasyonu 7.59 µg/L olup İnsani Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'teki toplam pestisit konsantrasyonu limiti olan 0.50 µg/l'yi aşmaktadır. Kullanımı 1980'lerde yasaklanan DDT ve metabolitleri tespit edilmiştir.	[68]
Afyonkarahisar içme suyu şebekesi ve Karamık ve Eber Gölü	Keton, heptaklorepoxyde, 4,4-DDE	Eber Gölü'nün kapalı havza olması ve göl etrafında tarım alanlarının fazlalığından dolayı diğer çalışma alanlarına göre daha yüksek pestisit miktarlarına rastlanmıştır.	[71]
Gediz ve Bakırçay Nehri sedimentlerinde	DDT, δ-BHC, endrin, endosulfan-I	Mevsimsel olarak tespit edilen pestisitler değişmektedir.	[72]
Ankara içme suyu kaynaklarında	Temefos, diflubenzuron, S-methopren	Tespit edilen pestisitler Türk yönetmeliklerindeki limit değerleri aşmamakla birlikte, araştırılan her numunede pestisit tespit edilmiştir.	[73]
Kumluca, Antalya Su kuyuları ve yüzeysel sular	Chlorpyrifos, aldrin, endosulfan sulfat, fenamifos	Su kuyularının yaklaşık %32'sinde ve yüzeysel suların %50'sinde en az bir pestisit çeşidinin Avrupa Birliği Direktifi limit değeri olan 0.1 µg/L'den fazla olduğu tespit edilmiştir.	[74]
Ege Denizi kıyıları sediment	DDT metabolitleri	DDT'nin uzun yarı ömre sahip olması sebebi ile yakın zamanlı bir DDT kullanımı olmasa da DDT metabolitlerinin sedimentte varlığını sürdürdüğü sonucuna varılmıştır.	[80]
Atatürk Baraj Gölü	DDT ve metabolitleri	Su numunelerinde pestisite rastlanmamıştır. Sediment ve balık numunelerinde ise DDT ve metabolitleri görülmüştür.	[81]

Bu çalışmalardan da görüleceği üzere, En İyi Yönetim Uygulamaları ile pestisit kirliliği su kaynaklarına ulaşmadan kontrol edilebilmektedir. EİYU kapsamındaki mekanizmaların iyi bilinmesi, pestisit kirliliğinin tespiti ve giderimi açısından önemlidir. Deneyisel çalışmalar ve modeller aracılığıyla EİYU'ların performansı ölçülmekte, bu uygulamaların gerçek ölçekte uygulanabilirliği araştırılmaktadır. Bu çalışmaların bir avantajı da, giderim çalışmaları sonucunda elde edilen deneyisel verilerin, karar destek sistemi (KDS) olarak kullanılacak modeller için altlık oluşturmalarıdır. Bir sonraki bölümde bahsedileceği üzere, KDS'ler deneyisel ve izleme çalışmalarındaki verileri kullanarak pestisitlerin taşınım ve akıbetini daha gerçekçi ve sağlam modelleyebilmektedir. Ayrıca KDS'ler vasıtası ile uygulanacak çeşitli En İyi Yönetim Uygulamaları'nın havza bazında nasıl sonuç doğuracaklarını ve verimliliklerini araştırma şansı olacaktır.

3 Karar destek sistemleri ve pestisit kirliliği

Pestisitler izledikleri yollara ve fizikokimyasal özelliklerine göre toprakta, sedimentte, yeraltı suyunda ve yüzeysel sularda karşımıza çıkmaktadır [91]. Pestisitler hedef bitkiye uygulandıktan sonra bitki özümlemesi ile hedef organizmaya etki eder. Daha sonra rüzgar erozyonu, buharlaşma, toprak partiküllerine tutunma, mikrobiyal-kimyasal bozunma, sızma, yüzeysel akış gibi etkenler ile dönüşüme uğrarlar ve taşınırlar. Taşınımı etkileyen ana faktörler, pestisit suda çözünürlüğü (hidrofobik-hidrofilik), uçuculuğu, su/sediment/toprakta adsorpsiyon ve sızma potansiyeli, toprak ve biyotada biyobirikim miktarı ve kimyasal-mikrobiyal parçalanma özellikleridir. Bu mekanizmaların bilinmesi ile birlikte, pestisit kullanımına ait verilerin toparlanması ve işlevsel ve kontrollü bir sisteme dönüştürülmesi ile yayılı kirlileti olan pestisitlerin su kaynaklarında etkisi daha iyi gözlemlenebilecektir. Oluşturulacak işlevsel ve sağlıklı bir kayıt sistemi ile her bir çiftçinin, her bir tarım alanı için ne kadar, ne çeşit ilaç kullandığı belirlenebilecektir. Kayıt sisteminin oluşması özellikle çiftçiler ve zirai bayiler üzerinde pozitif bir baskı oluşturarak, teknik talimatnamelere uygun bir satış ve kullanımın gerçekleşmesini sağlayacaktır. EYZ uygulamalarının da en sık ihmal edilen bileşenleri olarak görülen veritabanı oluşturulması ve verilerin işlenmesi [92], sadece kontrollü pestisit kullanımını teşvik etmesi açısından değil, pestisitlerin su kaynaklarına ve çevreye olan etkilerini inceleyebilmek açısından da önemlidir. Su kaynaklarında pestisit izleme çalışmaları çok pahalı ve enstrümental olarak zor işlemlerdir [93]. Fakat iyi bir veritabanı kurulması ve bu verilerin karar destek sistemleri (KDS) vasıtasıyla analiz edilmesiyle, daha etkin bir kirlilik yönetimi sağlanacaktır. Bilgisayar tabanlı matematik modeller, erken uyarı sistemleri, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) gibi karar destek sistemleri ile pestisitlerin havza bazında kontrolü sağlanabilmektedir. Önceden de belirtildiği üzere Türkiye'de pestisit kullanımına ait herhangi bir çevrimiçi veritabanı yoktur, bu eksikle beraber pestisit kirliliğinin yönetimi için KDS'lerin kullanıldığı herhangi bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu bölümde KDS'lerin pestisit kirliliği yönetiminde ne amaçlarla kullandığı, dünyada yapılan araştırmalarla vurgulanarak, Türkiye için bu alandaki eksiklikler ve yapılması gerekenler belirtilecektir.

Pestisit uygulaması öncelikle toprak ve bitkiye etki etmekte, daha sonra pestisitler sızma ile toprakta ilerlemekte, yağış ile yüzeysel akışa karışmaktadır [94]. Bu vasıtalar ile su kaynaklarına ulaşan pestisitlerin, bitki üzerinde tutunma

katsayıları, toprakta ayrışma katsayıları ve diğer fizikokimyasal özellikleri dikkate alınarak hangi fazlarda hangi miktarlarda bulunacağı ve bitkiler tarafından ne kadarının bünyeye alınacağı tahmin edilebilmektedir. Modelleme ile pestisitlerin taşınım ve akıbetleri hakkında şu anki durumu değerlendirme ve gelecek için yorum yapma şansı elde edilmektedir.

Modellerin içeriği ve modeller ile ilgili yapılan araştırmalar temel alınarak pestisit taşınım modelleri dört gruba ayrılmıştır [95],[96];

- 1) Arazi bazlı modeller (RZWQM-"Root Zone Water Quality Model"-, OpusCZ, CREAMS, ("Chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems"), ve GLEAMS ("Groundwater loading effects of agricultural management systems" gibi),
- 2) Havza bazında modeller (AnnAGNPS-"Annualized agricultural non-point source pollution"-, HSPF ("Hydrologic Simulation Program Fortran"), MIKE SHE ("Système Hydrologique Européen"), SWAT ("Soil&Water Assessment Tool") ve APEX ("Agricultural Policy/ Environmental eXtender"),
- 3) Statik ve dinamik su kalitesi modelleri (TOXSWA ("TOXic substances in Surface WAters"), WASP ("Water quality Analysis Simulation Program"), RWQM ("Receiving Water Quality Model"), ve QUAL2E ("enhanced streamwater quality model") gibi),
- 4) Ekolojik risk değerlendirme modelleri SYNOPSIS-WEB, DREAM ("Distributed model for runoff, evapotranspiration and antecedent soil moisture simulation"), and PERPEST ("predicts the ecological risks of pesticides") gibi). Bu verilen örneklerin dışında da kullanılan ve yeni geliştirilen birçok pestisit taşınım ve akıbet modeli mevcuttur.

Ekolojik risk değerlendirme modeli olan PRZM (Pesticide Root Zone Model) ve TOXSWA modelleri ile Etiyopya'da yapılan bir çalışmada tarımsal kaynaklı kimyasalların yüzeysel sulardaki risk değerlendirilmesi yapılmıştır [97]. Modellerde kullanılmak üzere EU-FOCUS'taki senaryolar temel alınmış; ürün bilgisi, kullanılan pestisit türleri, sulama miktarları ve meteoroloji dataları ise yerel kaynaklardan elde edilmiştir. EU-FOCUS, Avrupa Birliği tarafından bitki koruma ürünleri için tahmini çevresel konsantrasyonları bulmak için oluşturulan senaryolar ve simülasyonları içeren bir programdır. PRZM ve TOXSWA ise nehir ve su birikintilerinde tahmini çevresel konsantrasyonları bulmak için kullanılmaktadır. Yapılan 33 yıllık senaryolarda, yıllık maksimum pestisit konsantrasyonları tahmin edilmiş ve bu konsantrasyonlar baz alınarak insan sağlığı ve sucul canlılar için risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Aynı şekilde EU-FOCUS'taki senaryoları kullanan başka bir çalışmada, yüzeysel sular için PRZM ve TOXSWA ile simülasyonlar hazırlanmıştır. Yağışın yüzeysel akışı nasıl etkilediği ve yüzeysel akıştaki ve nehirdeki pestisit konsantrasyonları belirlenmiştir. TOXSWA modeli, PERPEST ile birlikte kullanılarak Bangladeş'te çeltik tarımı için kullanılan pestisitlerin sucul canlılarda oluşturacağı potansiyel risk faktörleri araştırılmıştır [98]. TOXSWA modeli yüzeysel sulardaki pestisit maruziyet konsantrasyonlarını bulmak için kullanılmış olup, PERPEST ise ekolojik risk değerlendirme işlevi görmüştür. Oluşturulan senaryolar sonucu chlorpyrifos, cypermethrin, alpha-cypermethrin ve malathion'un omurgasız canlılar ve balıklar için orta dereceden yüksek akut ve kronik risk taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Havzada pestisitlerin taşınım ve akıbetini modelleyen çalışmalara bakıldığında, yeni geliştirilen bir model olan "Integrated Model For Pesticide Transport (IMPT)" ile çeşitli havza büyüklüklerinde çalışılmıştır [94]. Çalışmada modelin hangi matematiksel altyapıları ve pestisit taşınımı ve akıbetini modellerken hangi algoritmaları kullandığından bahsedilmiştir. Birleşik Krallık'ta oluşturulan bu modelde yerel kaynaklardan veri kullanılabilir. Çalışmada, model önce küçük bir havzada denenmiş daha sonra daha büyük havzalarda (479-1653 km²) simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Modelin büyük havzalarda gerçek değerlerden daha düşük tahminlerde bulunduğu tespit edilerek, bu durumun sızmanın yüzeysel akıştan daha fazla olduğu durumlarda modelin zayıf çalışmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Bir başka sebep olarak da, topografik yapısı karmaşık olan yerlerde toprak doygunluğu ile ilgili tahminlerin ve yeşil alanlardaki herbisit kullanımı verilerinin eksiliğinin IMPT'nin daha zayıf performans göstermesine sebep olabileceği öngörülmüştür. Yeni oluşturulan modellerin stabilitesinin ve kullanılabilirliğinin artması için farklı şartlar altında denenmesi gerekmektedir. Kalibrasyon, validasyon ve hassasiyet hesaplamalarının yapılması [99] ve bunun için de havzaya ve pestisit kullanımına ait verilerin yeterli ve sağlıklı olması gerekmektedir.

Bir başka havza bazlı model olan SWAT kullanılarak 141.5 km²'lik bir havzada atrazin, oxadiazon ve isoprothiolan pestisitlerinin zamansal ve mekansal akıbetleri 18 yıllık bir simülasyon ile elde edilmiştir [100]. Simülasyon için gerekli olan arazi kullanımı, toprak yapısı, yükseklik haritası, günlük meteorolojik veriler, tarımsal yönetim verileri (hasat, gübreleme, ekim takvimi gibi), ekimi yapılan tarım ürünleri ve kullanılan pestisit çeşitleri yerel kaynaklardan elde edilmiştir. Kullanılan pestisit miktarına ait bilgiler ise çiftçiler ile anket yapılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, aylık simülasyonlarda isoprothiolan ve atrazin için ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları uyum göstermiş, fakat oxadiazon için trendleri aynı olsa da simülasyon sonuçları daha düşük çıkmıştır. Yine SWAT ile yapılan bir başka çalışmada, Kuzey Tayland'daki 77 km² büyüklüğünde bir havzada atrazin, chlorothalonil ve endosulfan pestisitleri ile çalışılmıştır [101]. Havzaya ait bilgiler ve iklimsel veriler kullanılarak öncelikle akış simülasyonu yapılmış, daha sonra pestisit uygulaması modellenmiştir. SWAT aynı anda sadece bir tane pestisit modelleyebilme yeteneğine sahip olduğu için her bir pestisit için ayrı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Anketlerden elde edilen pestisit kullanım miktarları ile simülasyon sonuçları kıyaslanmış, bazı zaman dilimlerinde pestisit kullanımlarında aşırı fark tespit edilmiştir. Bu durumun anket ile elde edilen pestisit tüketim bilgilerinin sağlıklı olmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Daha güvenilir veri elde edildikçe modelin de performansı artacaktır. Yapılan simülasyonlar ve kalibrasyonlar sonucunda, pestisitlerin taşınımını etkileyen en önemli faktörün toprakta sızma ve pestisit uygulama takvimi olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer çalışmada, Fransa'daki 1110 km² Save River Havzası'nda taşkın zamanlarındaki çözünmüş ve tutunmuş metolachlor ve triflural'in yük ve konsantrasyonları SWAT ile modellenmiştir [102]. Bir yıl boyunca her hafta nehirden numune alınarak pestisit miktarları ölçülmüştür. Bu veriler ile resmi kurumlardan alınan su kaynaklarındaki pestisit ölçümleri, simülasyon ve kalibrasyonlarda kullanılmıştır. Pestisit taşınım ve akıbetinin modellenmesine geçilmeden önce akış, sediment ve azot modellenmesi yapılmıştır. Günlük yapılan simülasyonlarda gözlemlenen ile simüle edilen yüklerin her iki

pestisit için de benzerlik gösterdiği bulunmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre bazı günlerde, sudaki pestisit varlığının Avrupa Birliği limitlerini geçtiği görülmektedir. Yıllık simülasyon sonuçlarında methachlor'un çözünmüş fazda daha fazla, trifluralin pestisitinin ise sediment fazında daha fazla olduğu görülmüştür. Sediment ve sularda birlikte çalışılması taşkın olaylarında gerçekleşebilecek muhtemel değişimleri görebilmek açısından önemlidir. Kaliforniya'daki Sacramento-San Joaquin Delta'sında yapılan bir çalışmada akış, sediment ve diuron pestisitinin modellenmesi için SWAT kullanılmıştır [103]. Diuron simülasyonlarında pestisit uygulama sıklığı, sızma katsayısı ve diuron'un yarı ömrünün, modelin doğruluğunu etkileyen en hassas parametreler olduğu bulunmuştur. Ayrıca SWAT yeraltı suyu ile yüzeysel sular arasındaki etkileşimi dikkate alan yeteneğe sahip olup, bu çalışmada yüzeysel sulardan yer altı suyuna kayıp olduğu kabul edilmiştir. Sediment simülasyonlarının diğerlerine-akış ve pestisit-göre daha zayıf kaldığı tespit edilmiş, bunun sebebi olarak erozyona ve sediment transferine ilişkin tarımsal faaliyetler ile ilgili verinin yeterli olmaması gösterilmiştir. Kaliforniya'daki PUR veritabanı sayesinde, zamansal ve mekansal olarak doğru pestisit tüketim verisine sahip olunmasından dolayı pestisit simülasyonlarındaki performansın yüksek olduğu bu çalışmada görülmektedir. Bir başka çalışmada, SWAT ile beraber çeltik alanlarındaki pestisit konsantrasyonunu simüle etmek üzere kurulan PCPF-1 modeli ile Japonya'daki bir nehir havzasında pestisit taşınımı ve akıbeti incelenmiştir [104]. Günlük yapılan simülasyon sonucuna göre, toplam pestisit ağırlığında herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Pestisit uygulamasından sonraki günlerde, zaman ilerledikçe su fazındaki pestisit miktarı azalırken, sediment fazındaki pestisit miktarının arttığı görülmüştür. Model performansını etkileyecek tarımsal yönetim uygulamaları, pestisit uygulama takvimi ve miktarı ile ilgili eksik bilgilerin bulunmasına rağmen, gözlemlenen sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının korelasyonu yüksek bulunmuştur. SWAT ile yapılan başka bir çalışma ile havzanın topografik yapısının da pestisit modellemesine etki ettiği saptanmıştır [105]. Chlorpyrifos ve diazinon pestisitlerinin mekansal olarak değişimleri SWAT ile gözlemlenmiş, çalışma alanı olan San Joaquin River Havzası'nın batısındaki althavzalarda daha fazla pestisit yüküne rastlanmıştır. Güney bölgesindeki toprak yapısında kil içeriğinin yüksek olmasının ve dik eğimlerin bulunmasının yüzeysel akışı arttırdığı, bundan dolayı da pestisit yükünde artış olduğu tespit edilmiştir. SWAT ile yapılan çalışmalara bakıldığında farklı havza büyüklüklerinde, iklim koşullarında ve topografik özelliklerde çalışıldığı görülmektedir (Tablo 5).

SWAT, pestisitlerin su ve sedimentteki etkileşimlerinin yanısıra [106],[107] yeraltı suyuna sızma mekanizmasını da içermesi bakımından pestisit modellemesinde güçlü sayılmaktadır [108].

Tüm modeller için en temel bileşen ve en zor adım havzaya ve kirleticilere ait doğru verilerin elde edilmesidir. Su dengesini kurabilmek, akış/sediment modellemesini yapabilmek için meteorolojik, topografik, toprak ve arazi yapısı ile ilgili verilerin, pestisitlerin taşınımını modelleyebilmek için de pestisit kullanımına ait verilerin sağlıklı ve yeterli olması gerekmektedir. SWAT dışında, Monte Carlo simülasyonu [109],[110], Stics-Pest [111], WATPPASS-"Watershed Agricultural Techniques and Pesticide Practices ASSESSMENT"-[112], ve MACRO [113]-[115] pestisitlerin taşınımı ve akıbetini modellemek için kullanılmaktadır.

Tablo 5: Pestisit kirliliğinin kontrolünde SWAT kullanımı.

Model	Havza özellikleri	Modellenen pestisitler	Sonuçlar	Kaynak
SWAT	Çin'de tarımsal havza 141.5 km ²	Atrazin, oxadiazon, isoprothiolan. Pestisit kullanım miktarları çiftçiler ile yapılan anketlerden elde edilmiştir.	Aylık simülasyonlarda isoprothiolan ve atrazin için gerçek ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları uyum göstermiş, fakat oxadiazon için trendleri aynı olsa da simülasyon sonuçları gerçek değerlerden daha düşük çıkmıştır.	[100]
SWAT	Kuzey Tayland'da tropikal havza 77 km ²	Atrazin, chlorothalonil, endosulfan Pestisit kullanım miktarları çiftçiler ile yapılan anketlerden elde edilmiştir.	Bazı zaman dilimlerinde simülasyon sonuçlarında aşırı fark tespit edilmiştir. Bu durum anketlerden elde edilen pestisit kullanım miktarlarının gerçeği yansıtmamasından kaynaklanmaktadır.	[101]
SWAT	Save Nehri Havzası, Fransa 1110 km ²	Çözünmüş ve tutunmuş formdaki metolachlor ve triflural Bir yıl boyunca her hafta nehirden numune alınarak pestisit miktarları ölçülmüştür.	Yıllık simülasyon sonuçlarında methachlor'un çözünmüş fazda daha fazla, trifluralin ise sediment fazında daha fazla olduğu görülmüştür.	[102]
SWAT	Sacramento-San Joaquin Deltası, Kaliforniya 15 000 km ²	Akış, sediment ve diuron pestisitinin modellenmesi Pestisit kullanım bilgisi, Kaliforniya'daki PUR veritabanından elde edilmiştir.	PUR sistemi sayesinde pestisit simülasyonlarında iyi performans gösterilmiştir. Sediment simülasyonlarının akış ve pestisite göre daha zayıf kaldığı görülmüş, erozyona ve sediment transferine ilişkin tarımsal faaliyetler ile ilgili verinin yeterli olmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür.	[103]
SWAT PCPF-1	Sakura Nehri Havzası, Japonya	Mefenacet Pestisit kullanım bilgileri bir başka bilimsel çalışmadan alınmıştır.	Gözlemlenen mefenacet konsantrasyonları ile simülasyon sonuçlarının korelasyonu yüksek bulunmuştur.	[104]
SWAT	San Joaquin Deltası, Kaliforniya 14 983 km ²	Chlorpyrifos, diazinon Pestisit kullanım bilgisi, Kaliforniya'daki PUR veritabanından elde edilmiştir	Güney bölgesindeki toprak yapısında kil içeriğinin yüksek olmasından ve dik eğimlerin bulunmasından dolayı yüzeysel akışın arttığı görülmüş, bu bölgelerde yüksek pestisit yüklerine rastlanmıştır.	[105]

Pestisitlerin havzada taşınımı ve akıbetinin yanısıra bazı modeller, pestisitlerin hedef bitkiye uygulanmasıyla gerçekleşen bitki özümlemesi, bitki yüzeyinden buharlaşma, yıkanma ve fotokimyasal parçalanma gibi prosesleri dikkate alarak pestisit modellemesi yapabilmektedir [116].

SWAT gibi modeller Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı çalışmakla beraber, sadece CBS ve uzaktan algılama kullanılarak farklı büyüklüklerdeki havzalardaki yüzeysel suların da pestisit kaynaklı kirlilik durumları değerlendirilebilmektedir [117]-[119]. Su kaynağında önceden yapılmış su kalitesi ölçümleri, tarımsal yönetim uygulamaları, uydu görüntüleri gibi girdiler kullanılarak kirlilik açısından baskı oluşturan bölgeler belirlenip, pestisit kirlilik haritaları çıkarılabilmektedir.

Tarımsal alanlarda uygulanan kontörleme, ürün rotasyonu, besi maddesi yönetimi, nadasa bırakma, bitkilendirilmiş su yolları, yapay sulak alanlar, bitkilendirilmiş şeritler gibi yaklaşımları içeren En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) su

kaynaklarını korumaya yönelik uygulamalardır [120]. EİYU'ların uygulanabilirliği ve verimliliğini saptayabilmek için de KDS'ler kullanılmaktadır. Türkiye'de yapılan araştırmalar incelendiğinde tarımsal su havzalarında KDS'lerin nutrient kaynaklı kirliliğin yönetiminde kullanıldığı görülmüş [121],[122], pestisit kontrolüne yönelik herhangi bir KDS kullanılan çalışmaya rastlanmamıştır.

Pestisitlerin taşınım ve akıbeti için kullanılan SWAT modelinde EİYU da yer almaktadır. Kaliforniya'da bir su havzasında yapılan çalışmada [123], yapısal EİYU'ların (bitkilendirilmiş filtre şerit, yeşillendirilmiş su yolları, ürün atığı yönetimi gibi) etkisi chlorpyrifos ve diazinon pestisitleri için değerlendirilmiştir. SWAT simülasyonları sonucu yeşillendirilmiş su yolu uygulaması chlorpyrifos yükünü %5 azaltırken, diazinon yükünü %7 azaltmıştır. Aynı havzada SWAT ile yapılan başka bir çalışmada [124], EİYU olarak sediment havuzlarının uygulanması ile sediment akışında %54-85 azalma olurken, bu uygulama diazinon ve chlorpyrifos'un giderimine sadece 10% etki etmiştir.

Bitkilendirilmiş yolların ve tampon şerit uygulamalarının birlikte uygulanmasıyla, pestisitler için %90 ve sediment yükü için %60 azalma görülmüştür. Belçika'da bulunan Havzası'nda atrazin pestisitinin çözünmüş ve sedimente tutunmuş fazdaki giderimi için çeşitli EİYU'lar SWAT ile denenmiştir [125]. Şerit ekim uygulaması toplamda –bağlı ve tutunmuş fazda- en etkili yöntem olup, 40% oranında pestisit giderimi sağlanmıştır.

Özetle, pestisit kirliliğinin yönetimi için KDS'ler;

- Su kaynaklarında pestisit konsantrasyonlarının hangi zamanlarda limit değerleri geçip geçmediği,
- Pestisitlerin mevsimsel dağılımı,
- Pestisitlerin su ve sedimentte nasıl dağıldığı, taşkın, erozyon gibi durumlarda sızma potansiyelleri,
- Pestisit açısından havzadaki kritik bölgelerin tespit edilmesi v) çiftçilere seçecekleri pestisitler hakkında öneri, pestisit risk analizi gibi işlevleri görmektedir.

Pestisitlerin taşınımının ve akıbetinin modellenmesi ile ilgili ulusal çalışmaların azlığı görülerek bu çalışma kapsamında pestisit kirliliğinin kontrolü için kullanılan matematiksel modeller incelenmiş, modellerin işlevleri ile ilgili bilgiler detaylandırılmıştır. Pestisit izleme çalışmalarının ve laboratuvarlarda pestisit analizlerinin enstrümental olarak pahalı olması modellerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu çalışma ile farklı havzalarda uygulanan modeller EİYU'lar ile birlikte incelenmiş, pestisit kirliliğinin yönetimi için modelleme araçlarını kullanacaklara bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Uluslararası çalışmalarda görüldüğü üzere modeller ile pestisit kirliliğinin kontrolünde olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu çalışmaların ülkemizdeki çalışmalara katkı sağlayacağı ve yol gösterici nitelikte olacağı umulmaktadır.

4 Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Türkiye'de pestisit kullanımına ve su kaynaklarındaki pestisit kirliliğine dair yapılan çalışmalar ile uluslararası literatürde yer alan ve bu kirliliğin yönetimi için kullanılacak KDS'lerden bahsedilmiştir. Türkiye'de tarımsal faaliyetin olduğu bazı bölgelerde aşırı pestisit tüketiminin olması, yasaklı ve gereksiz pestisit kullanımı, çiftçilerin ve zirai bayilerin pestisit kullanımına dair yeterli bilgi ve sorumluluğa sahip olmamaları gibi sebepler pestisit kirliliğini ortaya çıkarmaktadır. Pestisitler, sebze-meyvelerde kalıntı olarak, içme ve kullanma suyu kaynaklarında, toprak ve sedimentte karşımıza çıkmaktadır. Farklı bakanlıklar tarafından, pestisit kullanımı, tüketimi ve varlığına dair getirilen sınırlamalar ile pestisit kirliliği önlenmeye çalışılmaktadır. Üretici Kayıt Defteri uygulaması, pestisit kullanımını kayıt altına alması ve kontrol altında tutması bakımından önemlidir. Ayrıca BİKOP projesi ile su kaynaklarındaki pestisitler için çevresel kalite standardı getirilmesi, pestisit kirliliğinin azaltılmasında etkili bir adım olacaktır.

Yapılan izleme çalışmaları, pestisit kirliliğini değerlendirmede ve yönetimde önemli bir yer tutmaktadır. İzleme çalışmaları ile birlikte deneysel giderim çalışmaları da pestisitlere ait özellikleri ortaya koymaktadır. İzleme çalışmaları ve deneysel çalışmalardaki verilerin modelleme programlarında kullanılmasıyla pestisitlerin taşınım ve akıbetleri hakkında bilgi elde edilmektedir. Ayrıca EİYU'ların modeller vasıtasıyla simüle edilmesi, zaman ve emek tasarrufu sağlamaktadır. Türkiye'de pestisit kirliliğinin yönetimi açısından, bu alanda yapılan çalışmalara rastlanmaması önemli bir eksikliktir. Modellerin kullanılması için izleme çalışmaları ve deneysel

çalışmalar ile birlikte arazi kullanım haritaları, uzun yıllara ait meteorolojik veriler, araziye ait topografik haritalar ve yükselti haritaları gibi verilerin de elde edilmesi gerekmektedir. Bu verilerin düzenli kayıtlarının tutulması ve uzun yıllara ait sağlıklı verilerin bulunması modellerin performansı açısından önemlidir. Uluslararası çalışmalara bakıldığında DSS'lerin pestisit kirliliğinin kontrolünde etkin bir biçimde kullanıldığı görülmektedir. Pestisit ile yapılan çalışmalara bakıldığında ülkemizde su kaynaklarında pestisit izleme ve meyve ve sebzelerde kalıntı pestisit analiz çalışmalarının yoğun olduğu görülmektedir.

Pestisit kirliliğinin havza bazında yönetilmesi için pestisit kullanımına dair çevrimiçi bir veri tabanının oluşturulması, pestisit kullanımını azaltacak yöntemlerin belirlenmesi, su kaynaklarında pestisit kirliliğini izleme çalışmalarının tespit edilmesi, deneysel çalışmalar ile pestisitlerin dağılımının ve çeşitli fazlardaki kinetiğinin hesaplanması ve KDS'lerin yardımıyla havza bazında pestisitlerin taşınımının modellenmesi ile pestisit kirliliğinin havza bazında kontrolü sağlanabilecektir. Ayrıca EİYU'lar ile birlikte yerinde ve doğal arıtım yöntemlerinin havzada uygulanabilirlikleri ve pestisit kirliliğini azaltmadaki verimleri incelenebilecektir.

5 Kaynaklar

- [1] Storck, V, Karpouzias DG, Martin-Laurent F. "Towards a better pesticide policy for the European Union". *Science of Total Environment*, 575, 1027-1033, 2017.
- [2] Chen Y, Wen X, Wang B, Nie P. "Agricultural pollution and regulation: How to subsidize agriculture?". *Journal of cleaner production*, 164, 258-264, 2017.
- [3] Hillocks RJ. "Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture". *Crop Protection*, 31(1), 85-93, 2012.
- [4] Barriere V, Lecompte F, Lescourret F, "Efficacy of pest and pathogen control, yield and quality of winter lettuce crops managed with reduced pesticide applications" *European Journal of Agronomy*, 71, 34-43, 2015.
- [5] Engindeniz S. "Economic analysis of agrochemical use for weed control in field-grown celery: A case study for Turkey". *Crop Protection*, 27(3-5), 377-384, 2008.
- [6] Topal A, Çomaklı S, Özkaraca M, Baran A, Köktürk M, Parlak V, Sağlam YS, Atamanalp M, Ceyhan SB. "Immunofluorescence evaluation of 4-hydroxynonenal and 8-hydroxy-2-deoxyguanosine activation in zebrafish (*Danio rerio*) larvae brain exposed (microinjected) to propyl gallate". *Chemosphere*, 183, 252-256, 2017.
- [7] Coskun M, Cayir A, Ozdemir O, "Frequencies of micronuclei (MNi), nucleoplasmic bridges (NPBs), and nuclear buds (NBUDs) in farmers exposed to pesticides in Canakkale, Turkey". *Environment International*, 37(1), 93-96, 2011.
- [8] Lai W. "Pesticide use and health outcomes: Evidence from agricultural water pollution in China". *Journal of Environmental Economics and Management*, 86, 93-120, 2017.
- [9] Bille L, Binato G, Gabrieli C, Manfrin A, Pascoli F, Pretto T, Toffan A, Dalla Pozza M, Angeletti R, Arcangeli G. "First report of a fish kill episode caused by pyrethroids in Italian freshwater". *Forensic Science International*, 281, 176-182, 2017.

- [10] T.C. Türkiye İstatistik Kurumu. "Bitkisel Üretim İstatistikleri 2017" http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 (20.01.2018).
- [11] World Bank. "Agricultural land (% of land area) in the world". <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS> (20.01.2018).
- [12] Roser M, Ritchie H. "Fertilizer and Pesticides Consumption In the World 2017" <https://ourworldindata.org/fertilizer-and-pesticides> (20.01.2018).
- [13] Şık B. "Küresel ısınma çağında pestisitler ve gıda güvenliği". https://tr.boell.org/sites/default/files/downloads/bulent_sik_persp.2_tr.pdf (22.01.2018).
- [14] Delen N, Güncan A, Güngör N, Turgut C, Burçak A. "Türkiye'de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Organizmalarda Duyarlılık Azalışı Sorunları". *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongre*, Ankara, Türkiye, 3-7 Ocak 2005.
- [15] T.C Antalya İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü. "Antalya Tarım Master Planı 2011". https://antalya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/yay%C4%B1nlar%C4%B1m%C4%B1z/master_kitap.pdf (19.01.2018).
- [16] Food and Agriculture Organization. "FAO Questionnaire on Pesticides Use 2017". <http://www.fao.org/faostat/en/> (24.01.2018)
- [17] RASFF Portal Database. "Pesticide Database". <https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/?event=SearchForm&cleanSearch=1> (20.01.2018).
- [18] Guler GO, Cakmak YS, Daglı Z, Aktumsek A, Ozparlak H. "Organochlorine pesticide residues in wheat from Konya region, Turkey". *Food and Chemical Toxicology*, 48(5), 1218-1221, 2010
- [19] Bakırcı GT, Yaman Acay DB, Bakırcı F, Ötleş S. "Pesticide residues in fruits and vegetables from the Aegean region, Turkey". *Food Chemistry*, 160, 379-392, 2014.
- [20] Erdogan C, Moores G.D, Gurkan M.O, Gorman K.J, Denholm I. "Insecticide resistance and biotype status of populations of the tobacco whitefly Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae) from Turkey". *Crop Protection*, 27(3-5), 600-605, 2008.
- [21] İşci, M, Ay R. "Determination of resistance and resistance mechanisms to thiacloprid in Cydia pomonella L. (Lepidoptera: Tortricidae) populations collected from apple orchards in Isparta Province, Turkey". *Crop Protection*, 91, 82-88, 2017.
- [22] Tiryaki O, Canhilal R, Horuz S. "Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 154-169, 2010.
- [23] Darçın ES, Darçın M. "Health effects of agricultural pesticides". *Biomedical Research* (Special Issue S13-S17), 13-17, 2017.
- [24] Golge O, Kabak B. "Evaluation of QuEChERS sample preparation and liquid chromatography-triple-quadrupole mass spectrometry method for the determination of 109 pesticide residues in tomatoes". *Food Chemistry*, 176, 319-32, 2015.
- [25] Cengiz MF, Başlar M, Basançelebi O, Kılıçlı M. "Reduction of pesticide residues from tomatoes by low intensity electrical current and ultrasound applications". *Food Chemistry*, 267, 60-66, 2017.
- [26] Varol M, Sunbul, MR. "Organochlorine pesticide, antibiotic and heavy metal residues in mussel, crayfish and fish species from a reservoir on the Euphrates River, Turkey". *Environmental Pollution*, 230, 311-319, 2017.
- [27] Kalyoncu L, Agca I, Aktumsek A. "Some organochlorine pesticide residues in fish species in Konya, Turkey". *Chemosphere*, 74(7), 885-889, 2009.
- [28] Orman ve Su İşleri Bakanlığı. "Ulusal Havza Yönetim Stratejisi Raporu". Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2014.
- [29] Delipinar Ş, Karpuzcu M. "Policy, legislative and institutional assessments for integrated river basin management in Turkey". *Environmental Science & Policy*, 72, 20-29, 2017.
- [30] Toma P, Miglietta PP, Zurlini G, Valente D, Petrosillo I. "A non-parametric bootstrap-data envelopment analysis approach for environmental policy planning and management of agricultural efficiency in EU countries". *Ecological Indicators*, 83, 132-143, 2017.
- [31] Ateş HC, Yılmaz H, Demircan V, Gul M, Ozturk E, Ormeci Kart MÇ. "How did post-2000 agricultural policy changes in Turkey affect farmers? – A focus group evaluation". *Land Use Policy*, 69, 298-306, 2017.
- [32] Stupak N. "Adaptation of Russian agriculture to climatic variability: The role of federal and provincial policies". *Environmental Science & Policy*, 68, 10-19, 2017.
- [33] Grovermann C, Schreinemachers P, Riwthong S, Bergera T. "Smart' policies to reduce pesticide use and avoid income trade-offs: An agent-based model applied to Thai agriculture". *Ecological Economics*, 132, 91-103, 2017.
- [34] Lamichhane JR. "Pesticide use and risk reduction in European farming systems with IPM: An introduction to the special issue". *Crop Protection*, 97, 1-6, 2017.
- [35] Pretty J, Bharucha Z. "Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa". *Insects*, 6(1), 152-182, 2015.
- [36] Ehi-Eromosele CO, Nwinyi OC, Ajani OO. Weed and Pest Control- Conventional and New Challenges Editors: Soloneski S, Larramendy M. Integrated Pest Management, Chapter 5, Rijeka, Croatia, InTech Press, 2013.
- [37] Bajwa WI, Kogan M. Compendium of IPM Definitions (CID)- What is IPM and how is it defined in the Worldwide Literature? IPPC Publication No. 998, Integrated Plant Protection Center (IPPC), Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA, 2002.
- [38] EurepGAP. "EurepGAP Global Report, 2005". <http://www2.globalgap.org/documents/webdocs/E-book-Globalreport.pdf> (21.01.2018).
- [39] Ersoy N, Yılmaz S, Gümüş E. "The importance of good agricultural practices in EU membership process". *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(2), 133-136, 2017.
- [40] US EPA-Office of Pesticide Programs. "Pesticide Chemical Search". <https://iaspub.epa.gov/apex/pesticides/f?p=chemicalsearch:1> (25.01.2018).
- [41] EFSA. "Conclusion on the peer review of the pesticide human health risk assessment of the active substance chlorpyrifos". *EFSA Journal*, 12(4), 1-34, 2014.
- [42] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. "Yasaklanan Bitki Koruma Ürünleri Aktif Madde Listesi 2017". <https://www.tarim.gov.tr/Konu/934/Yasaklanan-Bitki-Koruma-Urunleri-Aktif-Madde-Listesi> (25.01.2018).

- [43] İlkay K, Ceylan İC. "Antalya ili merkez ilçesinde entegre mücadele yönteminin yayılması ve benimsenmesi". *Bahçe*, 37(1), 25-33, 2008.
- [44] Peshin R, Zhang W. *Integrated Pest Management-Pesticide Problems vol 3*. Editors: Pimentel D, Peshin R. Integrated Pest Management, Chapter 1, 1-46, London, UK, Springer Press, 2014.
- [45] Aydın MH. "Bitki fungal hastalıklarıyla biyolojik savaşta trichoderma'lar". *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2, 135-148, 2015.
- [46] Çeliker NM, Onoğur E. "Türkiye'de Kestane kanseri ile biyolojik mücadelede ümitvar bulgular". *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17, 122-130, 2011.
- [47] İskender NA, Algur OF, Aksu Y, Saral A. "Isolation, identification and characterization of biotechnologically important bacteria from microflora of Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae)". *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(3), 505-510, 2017.
- [48] Gül M, Akpınar MG, Demircan V, Yılmaz H, Bal T, Arıcı ŞE, Polat M, Şan B, Eraslan F, Örmeci Kart MÇ, Gürbüz D, Yılmaz ŞG. "Zirai ilaç bayilerinin yapısı ve entegre mücadele konusundaki tutum ve davranışları". *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 11-25, 2014.
- [49] Yılmaz H. "Farm level analysis of pesticide use in sweet cherry (*Prunus avium* L.) growing in west mediterranean region of Turkey". *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 143(3), 115-129, 2015.
- [50] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. "Bitki Koruma Ürünlerinin Önerilmesi, Uygulanması ve Kayıt İşlemleri Hakkında Yönetmelik-Üretici Kayıt Defteri" http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/2014_1203.pdf (28.01.2018).
- [51] USA California Department of Pesticide Regulation. "Pesticide Use Reporting -PUR-" <http://www.cdpr.ca.gov/docs/pur/purmain.htm> (28.01.2018).
- [52] VoPham T, Brook MM, Yuan JM, Talbott EO, Darren Ruddell D, Hart JE, Chang CCH, Weissfeld JL. "Pesticide exposure and hepatocellular carcinoma risk: A case-control study using a geographic information system (GIS) to link SEER-Medicare and California pesticide data". *Environmental Research*, 143(Pt A), 68-82, 2015.
- [53] Zhan Y, Zhang M. "Application of a combined sensitivity analysis approach on a pesticide environmental risk indicator". *Environmental Modelling & Software*, 49, 129-140, 2013.
- [54] Wang D, Singhasemanon N, Goh KS. "A statistical assessment of pesticide pollution in surface waters using environmental monitoring data: Chlorpyrifos in Central Valley, California". *Science of Total Environment*, 571, 332-41, 2016.
- [55] Luo Y, Zhang M. "Spatially distributed pesticide exposure assessment in the Central Valley, California, USA". *Environmental Pollution*, 158(5), 1629-1637, 2010.
- [56] Zhan Y, Zhang M. "PURE: a web-based decision support system to evaluate pesticide environmental risk for sustainable pest management practices in California". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 82, 104-113, 2012.
- [57] T.C Sağlık Bakanlığı. "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik". <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7510&MevzuatIliski=0> (28.01.2018).
- [58] Schreinemachers P, Chen H.P, Nguyen T.T.L, Buntong B, Bouapao L, Gautam S, Le NT, Pinn T, Vilaysone P, Srinivasan R. "Too much to handle? Pesticide dependence of smallholder vegetable farmers in Southeast Asia". *Science of Total Environment*, 593-594, 470-477, 2017.
- [59] Jin S, Bluemling B, Mol APJ. "Information, trust and pesticide overuse: Interactions between retailers and cotton farmers in China". *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 72-73, 23-32, 2015.
- [60] Jasim SY, Irabelli A, Yang P, Ahmed S, Schweitzer L. "Presence of pharmaceuticals and pesticides in detroit river water and the effect of ozone on removal". *Ozone: Science & Engineering*, 28(6), 415-423, 2006.
- [61] Kock-Schulmeyer M, Villagrasa M, López de Alda M, Céspedes-Sánchez R, Ventura F, Barceló D. "Occurrence and behavior of pesticides in wastewater treatment plants and their environmental impact". *Science of Total Environment*, 458-460, 466-76, 2013.
- [62] Arias-Estévez M, Lopez-Periago E, Martinez-Carballo, E, Simal-Gandara J, Mejuto JC, Garcia-Rio L. "The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(4), 247-260, 2008.
- [63] Curutiu C, Lazar V, Chifiriuc MC. "Pesticides and antimicrobial resistance: from environmental compartments to animal and human infections". 373-392, New Pesticides and Soil Sensors, Academic Press, 2017.
- [64] Pazi İ, Gönül LT, Küçüksezgin F. "Pesticide and PCB residues in biotic and abiotic environment in Lake Bafa". *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 30(4), 175-182, 2013.
- [65] Ardıç G. Yukarı Sakarya Havzası'nda Yaşayan Balık Türlerindeki Organoklorlu Pestisit Kalıntılarının Mevsimsel Olarak Belirlenmesi. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2013.
- [66] Kumbur H, Arslan H, Ünal ED, Özer Z, Türkay GK, "Investigation of organochlorine pesticide residues in the well-water of Göksu Delta". *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 2(1), 1-13, 2016.
- [67] T.C. Devlet Su İşleri. "Göksu Deltası İçme Suyu Temin Projesi". [http://www.dsi.gov.tr/haberler/2016/09/29/g%C3%B6ksu-havzas%C4%B1na-dayal%C4%B1-\(d%C3%BCzba%C4%9F\)-i-%C3%A7mesuyu-temini-projesi-protokol%C3%BC-i-mzaland%C4%B1](http://www.dsi.gov.tr/haberler/2016/09/29/g%C3%B6ksu-havzas%C4%B1na-dayal%C4%B1-(d%C3%BCzba%C4%9F)-i-%C3%A7mesuyu-temini-projesi-protokol%C3%BC-i-mzaland%C4%B1) (29.01.2016).
- [68] Kaftan, NS. Ege Üniversitesi Kullanma Sularının Kalitesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.
- [69] Yohannes YB, Ikenaka Y, Nakayama SMM, Mizukawa H, Ishizuka M. "DDTs and other organochlorine pesticides in tissues of four bird species from the Rift Valley region, Ethiopia". *Science of Total Environment*, 574, 1389-1395, 2017.

- [70] Gerber R, Smit NJ, Van Vuren JHJ, Nakayama SMM, Yohannes YB, Ikenaka Y, Ishizuka M, Wepener V. "Bioaccumulation and human health risk assessment of DDT and other organochlorine pesticides in an apex aquatic predator from a premier conservation area". *Science of Total Environment*, 550, 522-33, 2016.
- [71] Bulut S, Erdoğan SF, Konuk M, Cemek M. "The organochlorine pesticide residues in the drinking waters of Afyonkarahisar, Turkey". *Ekoloji*, 19(74), 24-31, 2010.
- [72] Filiz N. Distribution of Organochlorine Pesticide Residues in Surface Sediments from Gediz and Bakırçay Rivers. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2005.
- [73] Asaroğlu M. Ankara İli Sınırları İçindeki Bazı Yüzey Suyu Kaynaklarında Pestisit Kalıntı Düzeylerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [74] Öztas NB. Pesticide Pollution in Surface and Groundwater of an Agricultural Area, Kumluca, Turkey. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [75] Tanik, A, Yazgan MS. "Application of hazard rating system for pesticides used in a watershed of Istanbul, Turkey". *Diffuse Pollution Conference*, Dublin, IR, 17-21 August 2003.
- [76] Sağlam H. Melen Havzasında Pestisit Uygulamaları ve Pestisitlerin Biyolojik Bozunma, Yüzeysel Akış ve Sızma Yüzdelelerinin Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [77] Ataseven Y. "Examining the Farmers Decisions and the Level of their Knowledge in Pesticide Use and its Possible Environmental Impacts. Ankara Province Example". *ProEnvironment*, 5, 153-160, 2012.
- [78] Duodu GO, Goonetilleke A, Ayoko GA. "Factors influencing organochlorine pesticides distribution in the Brisbane River Estuarine sediment, Australia". *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2), 349-356, 2017.
- [79] Wang W, Bai J, Zhang G, Wang X, Jia J, Cui B, Liu X. "Depth-distribution, possible sources, and toxic risk assessment of organochlorine pesticides (OCPs) in different river sediment cores affected by urbanization and reclamation in a Chinese delta". *Environmental Pollution*, 230, 1062-1072, 2017.
- [80] Kucuksezgin F, Gonul LT. "Distribution and ecological risk of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in surficial sediments from the Eastern Aegean". *Marine Pollution Bulletin*, 64(11), 2549-2555, 2012.
- [81] Alkan Uckun A. "Ecotoxicological Evaluation of Pesticide Pollution in Ataturk Dam Lake (Euphrates River), Turkey". *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(2), 313-321, 2017.
- [82] Ünal ED. Kuzey Doğu Akdeniz'de (Mersin Körfezi) Deniz Suyu, Sediman ve Biyotada Organik Klorlu Pestisit Kirlilik Düzeyinin Araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2010.
- [83] Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. "BİKOP Bitki Koruma Ürünlerinin Kullanımı Neticesinde Meydana Gelen Su Kirliliğinin Tespiti ve Madde veya Madde Grubu Bazında Çevresel Kalite Standartlarının Belirlenmesi Projesi". Ankara, Türkiye, 2016.
- [84] Vymazal J, Brezinova T. "The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: a review". *Environment International*, 75, 11-20, 2015.
- [85] Şahin Ç. Organofosfatlı Pestisitlerin Meriç-Ergene Havzasındaki Sulak Alanlarda Akibetinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [86] Lyu T, Zhang L, Xu X, Arias CA, Brix H, Carvalho PN. "Removal of the pesticide tebuconazole in constructed wetlands: Design comparison, influencing factors and modelling". *Environmental Pollution*, 233, 71-80, 2018.
- [87] Karpuzcu ME, Sedlak DL, Stringfellow WT. "Biotransformation of chlorpyrifos in riparian wetlands in agricultural watersheds: implications for wetland management". *Journal of Hazardous Materials*, 244-245, 111-120, 2013.
- [88] Tang X, Yang Y, Tao R, Chen P, Dai Y, Jin C, Feng X. "Fate of mixed pesticides in an integrated recirculating constructed wetland (IRCW)". *Science of Total Environment*, 571, 935-942, 2016.
- [89] Chen H, Grieneisen ML, Zhang M. "Predicting pesticide removal efficacy of vegetated filter strips: A meta-regression analysis". *Science of Total Environment*, 548-549, 122-130, 2016.
- [90] Sabbagh GJ, Munoz-Carpena R, Fox GA. "Distinct influence of filter strips on acute and chronic pesticide aquatic environmental exposure assessments across U.S. EPA scenarios". *Chemosphere*, 90(2), 195-202, 2013.
- [91] Tiryaki O, Temur C. "The fate of pesticide in the environment". *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 4(10), 29-38, 2010.
- [92] Catana V, Elliott NC, Giles K, Mirik M, Porter DR, Hein G, Peairs F, Michels J. 2008. The role of databases in areawide pest management. Editors: Koul O, Cuperus GW, Elliott NC. Areawide Pest Management: Theory and Implementation, 142-158, Oxfordshire, UK, CAB International, 2008.
- [93] de Solla SR, Struger J, McDaniel TV. "Detection limits can influence the interpretation of pesticide monitoring data in Canadian surface waters". *Chemosphere*, 86(6), 565-571, 2012.
- [94] Pullan SP, Whelan MJ, Rettino J, Filby K, Eyre S, Holman IP. "Development and application of a catchment scale pesticide fate and transport model for use in drinking water risk assessment". *Science of Total Environment*, 563-564, 434-447, 2016.
- [95] Ouyang W, Hao FH. "The loss characteristics of agricultural non-point source pollution and the optimization of biochar control". Science Press, Beijing, 2016.
- [96] Wu L, Chang H, Ma X. "A modified method for pesticide transport and fate in subsurface environment of a winter wheat field of Yangling, China". *Science of Total Environment*, 609, 385-395, 2017.
- [97] Teklu BM, Adriaanse PI, Ter Horst MM, Deneer JW, Van den Brink PJ. "Surface water risk assessment of pesticides in Ethiopia". *Science of Total Environment*, 508, 566-574, 2015.
- [98] Sumon KA, Rico A, Ter Horst MMS, Van den Brink PJ, Haque MM, Rashid H. "Risk assessment of pesticides used in rice-prawn concurrent systems in Bangladesh". *Science of Total Environment*, 568, 498-506, 2016.

- [99] Ostojski MS, Gebala J, Orlinska-Wozniak P, Wilk P. "Implementation of robust statistics in the calibration, verification and validation step of model evaluation to better reflect processes concerning total phosphorus load occurring in the catchment". *Ecological Modelling*, 332, 83-93, 2016.
- [100] Ouyang W, Cai G, Tysklind M, Yang W, Hao F, Liu H. "Temporal-spatial patterns of three types of pesticide loadings in a middle-high latitude agricultural watershed". *Water Research*, 122, 377-386, 2017.
- [101] Bannwarth MA, Sangchan W, Huguenschmidt C, Lamers M, Ingwersen J, Ziegler AD, Streck T. "Pesticide transport simulation in a tropical catchment by SWAT". *Environmental Pollution*, 191, 70-79, 2014.
- [102] Boithias L, Sauvage S, Taghavi L, Merlina G, Probst JL, Pérez JM. "Occurrence of metolachlor and trifluralin losses in the Save river agricultural catchment during floods". *Journal of Hazardous Materials*, 196, 210-219, 2011.
- [103] Chen H, Luo Y, Potter C, Moran PJ, Grieneisen ML, Zhang M. "Modeling pesticide diuron loading from the San Joaquin watershed into the Sacramento-San Joaquin Delta using SWAT". *Water Research*, 121, 374-385, 2017.
- [104] Boulange J, Watanabe H, Nguyen ST, Inao K, Iwafune T, Zhang M, Luo Y, Arnold J. "Development and validation of a basin scale model PCPF-1@SWAT for simulating fate and transport of rice pesticides". *Journal of Hydrology*, 517, 146-156, 2014.
- [105] Yuzhou Luo Y, Zhang X, Liu X, Ficklin D, Zhang M. "Dynamic modeling of organophosphate pesticide load in surface water in the northern San Joaquin Valley watershed of California". *Environmental Pollution*, 156(3), 1171-1181, 2008.
- [106] Vigiak O, Malago A, Bouraoui F, Vanmaercke M, Obreja F, Poesen J, Habersack H, Feher J, Grošelj S. "Modelling sediment fluxes in the Danube River Basin with SWAT". *Science of Total Environment*, 599-600, 992-1012, 2017.
- [107] Sinnathamby S, Douglas-Mankin KR, Craig C. "Field-scale calibration of crop-yield parameters in the Soil and Water Assessment Tool (SWAT)". *Agricultural Water Management*, 180, 61-69, 2017.
- [108] Payraudeau G. "Modelling pesticides transfer to surface water at the catchment scale: a multi-criteria analysis". *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 479-500, 2012.
- [109] Ouyang W, Cai G, Huang W, Hao F. "Temporal-spatial loss of diffuse pesticide and potential risks for water quality in China". *Science of Total Environment*, 541, 551-558, 2016.
- [110] Boulange J, Watanabe H, Akai S. "A Markov Chain Monte Carlo technique for parameter estimation and inference in pesticide fate and transport modeling". *Ecological Modelling*, 360, 270-278, 2017.
- [111] Queyrel W, Habets F, Blanchoud H, Ripoche D, Launay M. "Pesticide fate modeling in soils with the crop model STICS: Feasibility for assessment of agricultural practices". *Science of Total Environment*, 542(Pt A), 787-802, 2016.
- [112] Mottes C, Lesueur Jannoyer M, Charlier JB, Carles C, Guene M, Le Bail M, Malézieux E. "Hydrological and pesticide transfer modeling in a tropical volcanic watershed with the WATPPASS model". *Journal of Hydrology*, 529, 909-927, 2015.
- [113] Pierlot F, Marks-Perreau J, Real B, Carluer N, Constant T, Lioeddine A, Dijk PV, Villerd J, Keichinger O, Cherrier R, Bockstaller C. "Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination". *Science of Total Environment*, 605-606, 655-665, 2017.
- [114] Villamizar ML, Brown CD. "A modelling framework to simulate river flow and pesticide loss via preferential flow at the catchment scale". *Catena*, 149, 120-130, 2017.
- [115] Giannouli DD, Antonopoulos VZ. "Evaluation of two pesticide leaching models in an irrigated field cropped with corn". *Journal of Environmental Management*, 150, 508-515, 2015.
- [116] Lichiheb N, Personne E, Bedos C, Van den Berg F, Barriuso E. "Implementation of the effects of physicochemical properties on the foliar penetration of pesticides and its potential for estimating pesticide volatilization from plants". *Science of Total Environment*, 550, 1022-31, 2016.
- [117] Macary F, Morin S, Probst JL, Saudubray F. "A multi-scale method to assess pesticide contamination risks in agricultural watersheds". *Ecological Indicators*, 36, 624-639, 2014.
- [118] VoPham T, Wilson JP, Ruddell D, Rashed T, Brooks MM, Yuan JM, 3, Talbott EO, Chang CH, Weissfeld JL. "Linking pesticides and human health: a geographic information system (GIS) and Landsat remote sensing method to estimate agricultural pesticide exposure". *Applied Geography*, 62, 171-181, 2015.
- [119] Wan N. "Pesticides exposure modeling based on GIS and remote sensing land use data". *Applied Geography*, 56, 99-106, 2015.
- [120] Liu Y, Engel BA, Flanagan DC, Gitau MW, McMillan SK, Chaubey I. "A review on effectiveness of best management practices in improving hydrology and water quality: Needs and opportunities". *Science of Total Environment*, 601-602, 580-593, 2017.
- [121] Özcan Z, Kentel E, Alp E. "Evaluation of the best management practices in a semi-arid region with high agricultural activity". *Agricultural Water Management*, 194, 160-171, 2017.
- [122] Esen E, Uslu O. "Assessment of the effects of agricultural practices on non-point source pollution for a coastal watershed: A case study Nif Watershed, Turkey". *Ocean & Coastal Management*, 51(8-9), 601-611, 2008.
- [123] Luo Y, Zhang M. "Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT". *Environmental Pollution*, 157(12), 3370-3378, 2009.
- [124] Zhang X, Zhang M. "Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff". *Science of Total Environment*, 409(10), 1949-1958, 2011.
- [125] Gevaert V, Griensven AV, Holvoet K, Seuntjens P, Vanrolleghem PA. "SWAT developments and recommendations for modelling agricultural pesticide mitigation measures in river basins". *Hydrological Sciences*, 53(5), 1075-1089, 2008.