

ARAŞTIRMA MAKALESİ

En İyi Yönetim Uygulamalarının Pestisit Kirliliğinin Kontrolünde Kullanımı

Fatma Nihan DOĞAN¹, Mahmut Ekrem KARPUZCU²

Yazışma yazarı:

F.Nihan DOĞAN,
doganf15@itu.edu.tr¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0002-6245-9621²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6832-2151

Referans:

Doğan, F.N. ve Karpuzcu, M.E., (2023), En İyi Yönetim Uygulamalarının Pestisit Kirliliğinin Kontrolünde Kullanımı, Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik, 24, (1) 25–31.

Makale Gönderimi: 23 OCAK 2023

Online Kabul : 02 NSAN 2023

Online Basım : 18 NİSAN 2023

Özet Su Havzaları'nda gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler havzadaki su kalitesi açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır. Kontrolsüz ve aşırı pestisit kullanımı ile tarım alanlarından özellikle yüzeysel akış ile Su Havzaları ve drenaj ağına pestisit taşınımı gerçekleşmektedir. Havzadan su kaynaklarına taşınan kirlenmelerin kontrolünü içeren En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) kaynağında azaltma, tarım alanları ile su kaynakları arasında önlemler olarak kirlenmelerin su kaynaklarına ulaşmasını engelleme ve kirlenen suların ihyası gibi yapısal ve yapısal olmayan yöntemler ile havzadaki su kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olur. Bu amaçla İstanbul'daki bir su havzasında (AV01) yapısal EİYU'lardan filtre şerit uygulaması ile yapısal olmayan EİYU'lardan pestisit kullanımının azaltılması ve sonlandırılması yöntemleri SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli ile simüle edilerek havzadaki pestisit yüküne etkisi araştırılmıştır. Modellenen chlorpyrifos ve fenpropimorph pestisitleri için, 1, 5 ve 25 metrelik filtre şerit genişliklerinde tutulum verimleri incelenmiştir. 1 m genişlikte filtre şerit uygulamasında %36, 5 metrede %59 ve 25 metrede %95 tutulum sağlanmıştır. 1 metre filtre şerit uygulaması ile %20 pestisit kullanım azaltımına gidildiğinde nehir ağına taşınan pestisit miktarında %49'luk bir azalma görülmüştür. Pestisit kullanımı tamamen sonlandırıldığında, incelenen havzadan gelen pestisit kirliliğinin 3-4 yıllık süreçte sonlanacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile SWAT modeli EİYU yeterliliği açısından incelenmiş, EİYU süreçlerini daha iyi temsil etmek için yeni parametrelerin dahil edilmesi (K_{oc} , arazi eğimi, yüzeysel akış derinliği v.b) gibi iyileştirmeler ile modelin daha gerçekçi sonuçlar vereceği öngörülmüştür. Karar destek sistemleri olarak kullanılan matematiksel modeller, yayılı kirlenmeler açısından kritik bölgelerin tespit edilmesi ve buna uygun kontrol yöntemlerinin belirlenmesine yardımcı olarak ümit vaat etmektedir.

Anahtar Kelimeler: En İyi Yönetim Uygulamaları, SWAT, filtre şeritler, pestisit kirliliği

Best Management Practices for Pesticide Pollution Control

Abstract Agricultural activities pose a serious risk to the water quality in drinking water basins. Uncontrolled and excessive use of pesticides has resulted in pesticide transport via surface runoff to water sources in the AV01 basin. Best Management Practices (BMPs), which include the control of pollutants transported from the basin to the water resources can potentially aid in improving the water quality in the basin. Best Management Practices (BMPs) are structural or non-structural management practices that aim to reduce the impacts of diffuse pollutants on water quality. For this purpose, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) was used for evaluating BMP implementation. Structural BMPs (vegetated filter strips) and non-structural ones (pesticide use reduction and complete elimination of pesticide use) were simulated to evaluate pesticide loads in the basin. In 1, 5 and 25 m wide filter strip applications, 36%, 59% and 95% retention were achieved, respectively. The combination of 1 m filter strip application and 20% reduction in pesticide use has resulted in 49% decrease in pesticide loads. The use of chlorpyrifos and fenpropimorph was terminated in 2020. When pesticide pollution loads were simulated after 2020, it was found that pesticide pollution from the basin to the Lake in the basin ended within 3-4 years. In this study, the SWAT model has been examined in terms of BMP's efficiency, and it is predicted that the model will provide more realistic results with improvements such as the inclusion of new parameters (K_{oc} , land slope, surface flow depth, etc.) to better represent BMP processes. Mathematical models used as decision support systems are promising tools to identify critical zones in terms of pesticide loads and to determine appropriate control methods.

Keywords: Best Management Practices, SWAT, filter strip, pesticide pollution

1. Giriş

Tarım havzalarındaki su kalitesi ve su miktarının yönetimi sürdürülebilir bir su ekosistemi için kilit öneme sahiptir. Tarım alanlarının su kaynakları üzerindeki aşırı gübre ve pestisit kullanımı, sulama suyunun fazla kullanımı gibi olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik tüm uygulamalar gıdalardaki kalıntı pestisitlerin azalmasına, toprak ve su kalitesinin korunmasına, sucul ekosistemin sürdürülebilir şekilde devam etmesine ve insan sağlığına yönelik tehditlerin azalmasına yardımcı olmaktadır. En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) olarak adlandırılan bu uygulamalar, tarım kaynaklı yayılı kirlenmelerin (TKYK) kontrolünü içeren yapısal ve yapısal olmayan çözüm yöntemleridir. Yayılı kirlenmeler birçok ülkede su kirliliğinin birincil sebebi olarak görülmektedir (Wang ve diğ., 2019). EİYU'lar TKYK'leri kaynağında azaltma, tarım alanları ile su kaynakları arasında önlemler alarak kirlenmelerin su kaynaklarına ulaşmasını engelleme ve kirlenen suların iyihyası gibi yöntemler ile havzadaki su kalitesini korur. EİYU'ların türü, boyutu ve kapasitesi verimliliklerinde etkili olup birçok çalışmada yayılı kirlenici kontrolünde başarı ile uygulanmıştır (Ahmadi ve diğ., 2013; Cho ve diğ., 2010; Zhang & Zhang, 2011).

Su kaynaklarında bulunan tarımsal kaynaklı besin maddeleri (azot, fosfor) gibi kirlenmeler su arıtma tesislerinde arıtılabilmekte, lakin çok çeşitli etken maddeli pestisit kullanılması ve bu pestisitlerin bozunmaya dirençli olması pestisitlerin konvansiyonel yöntemleri ile arıtımını zorlaştırmaktadır. Bu kirlenmelerin arıtılmasında daha farklı yöntemlerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkarmıştır. Pestisit kontrolü için uygulanan yapısal EİYU'lar genellikle filtre şeritler, yapay sulak alanlar, tampon şeritler, bitkilendirilmiş yollar ve kanallardır. Filtre şeritler (FŞ) tarım alanları ile su kaynakları arasında bir tampon bölge oluşturarak yüzeysel akışın yavaşlamasını, sediment tutulumunu ve dolayısıyla sedimende adsorbe olmuş kirlenmelerin su kaynaklarına ulaşmasını engellemektedir. Filtre şeritlerin pestisit tutulumu açısından veriminde genel olarak K_{oc} (organik karbona göre normalize edilmiş toprak adsorpsiyon katsayısı) ile ilişkisinin yanı sıra saha çalışmalarında toprak geçirgenliğinin, arazi eğiminin, bitki örtüsünün ve iklimsel şartların etkili olduğu görülmüştür. Bazı çalışmalarda düşük ve orta dereceli K_{oc} 'ye sahip pestisitlerin filtre şeritlerde düşük oranda tutulduğu görülmüş, benzer pestisitler başka saha çalışmalarında belirgin şekilde filtre şeritlerde tutulmuşlardır (Sabbagh ve diğ., 2009). Krutz ve diğ., 2005 yılındaki bir çalışmada filtre şerit genişliklerinin artmasının orta derecede tutulan pestisitlerin gideriminde etkili olduğunu vurgulamış, yüksek K_{oc} 'ye sahip pestisitlerin ise FŞ'lerin ilk kısmında tutulduğu dolayısıyla FŞ genişliğinin artmasının verimi etkilemediğini belirtmiştir. Bitkilendirilmiş kanallar filtre şeritlere benzer mantıkta çalışarak tarım alanlarından gelen yüzeysel akışın depolanması, sediment birikimi ve pestisit tutulumunda işlev görürler (Anderson ve diğ., 2011). Suyun kanaldaki hızı ve drene olma potansiyeli pestisit tutulma verimini etkiler.

Yapay sulak alanlar (YSA) tarımsal havzalardaki pestisit gideriminde oldukça yaygın kullanılmaktadır (Fernández-Pascual ve diğ., 2020; Karpuzcu ve diğ., 2013). YSA'lar tasarlanmış mühendislik uygulamaları olup kontrollü bir ortamda doğada gerçekleşen prosesleri taklit ederek çok yönlü bir arıtım sağlamayı hedefler (Vymazal & Březinová, 2015). Pestisitler, YSA'larda fiziksel (sedimentasyon, flokülasyon, adsorpsiyon, çökelme), kimyasal (oksidasyon-redüksiyon, kation değişimi, hidroliz, fotoliz) ya da biyokimyasal (mikrobiyal bozunma) prosesler ile giderilir.

YSA'lar akım çeşidine (serbest yüzey akışlı, yüzeyaltı akışlı) ve kullanılan su bitkilerinin türüne göre kategorize edilebilir. Ayrıca pilot ve laboratuvar ölçekli birçok çalışmada YSA'ların çalışma koşulları ve pestisit giderim verimleri araştırılmıştır. Şahin & Karpuzcu, 2020'de yaptıkları çalışmada, mezokozmos ölçeğinde sulak alanların organofosfatlı pestisitlerin dönüşümlerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, sulak alan sedimentlerinin aromatik karakterinin ve sedimentte hümit maddelerin varlığının pestisitlerin biyolojik ayrışma üzerinde hızlandırıcı etkisi olduğu ortaya konmuştur. Başka bir sulak alan çalışmasında, yaş-kuru döngüsünde çalıştırılan yapay sulak alanların aerobik mikrobiyal popülasyonu artırarak organofosfatlı pestisitlerin biyolojik ayrışmasına katkıda bulunacağı sonucuna varılmıştır (Karpuzcu ve diğ., 2013). YSA'larda pestisit gideriminde özellikle sedimente tutunan pestisitler için sedimentasyon önemli bir faktördür. Budd ve diğ., 2009'da sedimentasyonun en çok sulak alanlardaki hidrolik bekleme süresi ve sulak alan bitki örtüsünden etkilendiği tespit etmiştir. Üç aşamalı bir yapay sulak alan uygulamasında çeşitli pestisitlerin giderim verimlerinin incelendiği bir çalışmada, chlorpyrifos, propanil ve MCPA pestisitleri için %80'nin üzerinde giderim verimi elde edilmiştir (Matamoros ve diğ., 2020).

EİYU'ların pestisit giderimindeki etkinliğini ölçmek için pilot ölçekli çalışmalar kullanılmakla beraber matematiksel modellerin kullanılması da günümüzde yaygınlaşmıştır. Saha uygulamalarının pahalı ve tekrarlanabilirliğinin zor olması, modellerin kullanılmasını avantaj haline getirmiştir. Modeller vasıtasıyla birçok senaryo oluşturularak çeşitli ve birleştirilmiş EİYU'ların havza ölçeğinde etkinlikleri değerlendirilmiştir (Cho ve diğ., 2010; Gali ve diğ., 2016; Merriman ve diğ., 2018). Bu modellerden biri olan SWAT (Soil and Water Assessment Tool) bir hidroloji ve su kalitesi modeli olup içerdiği EİYU'lar ile havza bazlı bir değerlendirme yapma şansı sunmaktadır. SWAT modelinin azot ve fosfor kaynaklı kirlenmelerin yönetiminde kullanılması oldukça yaygın iken literatürde pestisit kontrolü için kullanımını içeren az sayıda çalışma vardır (Abimbola ve diğ., 2021; Love ve diğ., 2011; Luo & Zhang, 2009; Maringanti ve diğ., 2011). SWAT'ta bulunan filtre şerit uygulaması deneysel bir regresyon denklemine dayanarak FŞ'lerde pestisit tutulumunu hesaplar. Fakat gerçekçi bir FŞ modellemesinde, arazi kullanımı, bitki örtüsü, toprak yapısı ve pestisitlerin fizikokimyasal özellikleri FŞ verimini etkilemektedir. SWAT'ın basitleştirdiği FŞ uygulaması farklı filtre şerit genişliklerinde tutulum oranları hakkında fikir vermekle birlikte, pestisitlerin zamansal ve mekânsal taşınım ve dönüşümlerini daha iyi yansıtmak için modifiye edilmesi gerekmektedir (Muñoz-Carpena ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2019). SWAT modeli yapay sulak alan uygulamasında hidroloji ve nütrient modellemesi gerçekleştirirken, güncel versiyonunda sulak alanlarda pestisit modellenmemektedir.

AV01 İstanbul için önemli su kaynaklarından biri olup drenaj ağı etrafında bulunan tarım alanları havza için risk teşkil etmektedir. Diğer İstanbul içme suyu havzaları ile kıyaslandığında, AV01 Havzası'nın pestisit tüketimi açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir (İBB, 2009). AV01 Havzası'nda pestisit tüketimi 3,4 kg/ha iken, bu değer AV02 Havzası'nda 2,7 kg/ha, AS01 Havzası'nda 0,2 kg/ha ve AV03 Havzası'nda 1,1 kg/ha'dır. AV01 Havzası'nda gerçekleştirilen çeltik tarımı ve kuru tarım havzadaki su kalitesi açısından ciddi bir tehlike oluşturmaktadır.

Bu çalışmada İstanbul için önemli bir içme su kaynağı olan AV01 Havzası'nda bulunan tarım alanlarından kaynaklı pestisit kirliliğinin kontrolüne yönelik tedbirler incelenmiştir.

Öncelikle çalışmanın ön kısmında hidroloji, sediment ve pestisit modellemesi bir karar destek sistemi olan SWAT ile tamamlanmış, daha sonra model çıktıları kullanılarak çeşitli EİYU'lar denenmiştir. Çalışmada, i) farklı filtre şerit uzunluklarının uygulaması ile pestisit tutulumu hesaplanmış, ii) filtre şerit uygulaması ve pestisit kullanımında azalmanın etkisi birlikte incelenmiş, iii) modellenen pestisitlerin 2020 yılında kullanımının yasaklanmasından ötürü 2020 yılı sonrası için bu pestisitlerin akıbeti AV01 içerisinde incelenmiştir. Bu çalışma AV01 Havzası su kaynakları için sorun teşkil eden aşırı pestisit kullanımının kontrolüne dair yöntemleri içermektedir.

2. Veri ve Çalışma Alanı

2.1 Çalışma alanı

AV01 Havzası, İstanbul'un kuzeybatısında bulunup, yaklaşık 639 km² su toplama alanına sahiptir. Havzanın mansabında bulunan AV01, İstanbul için içme suyu kaynaklarından biri olarak kullanılmaktadır. Görece havzada şehirleşmenin az olmasından dolayı İstanbul'un en temiz su kaynaklarından biri olma özelliği taşımaktadır. AV01 ve drenaj ağı ağırlıklı olarak kış aylarındaki (Aralık-Şubat) yağışlardan gelen sularla beslenmektedir. Ilıman iklim şartlarına sahip havzada, uzun yıllar yıllık toplam yağış ortalaması 748 mm, ortalama sıcaklık ise 17 °C'dir. Havzanın ana beslemesini oluşturan, havzanın güneybatı kısmında bulunan Karamandere/Istranca Deresi'dir. Havzaya ait arazi kullanım haritası ve alt havza bilgileri Şekil 1'de verilmiştir.

2.2 Modelleme aşaması ve yöntem

Bu çalışma Doğan (2022)'in doktora tez çalışmasının bir parçası olup EİYU uygulamaları öncesinde gerçekleştirilen hidrolojik model kurulumu, kalibrasyonu ve validasyonuna ait tüm adımlar bu doktora tezinde ve Doğan ve Karpuzcu (2023) çalışmasında ayrıntılı olarak verilmiştir. Özetle, SWAT modeli hidrolojik modelin kurulumu için kullanılmış, daha sonra SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Program) aracılığı ile hidroloji ve sediment kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sediment kalibrasyonu havzadan sediment ile taşınan pestisitlerin modellenmesi için önemlidir. Hidroloji ve sediment kalibrasyonu tamamlanan modele pestisit kullanımına dair bilgiler (modellenecek pestisitlere dair fizikokimyasal özellikler, hektar başına pestisit kullanımı gibi) girilmiştir. Pestisit kalibrasyonu havzada pestisit ölçümü yapılan Karamandere nehrinden alınan numuneler ile manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Modellenen pestisitler (chlorpyrifos ve fenpropimorph) bu yapılan ölçümler sonucunda havzada en sık ve yüksek konsantrasyonlarda bulunan pestisitler arasından seçilmiştir.

Modellenen chlorpyrifos ve fenpropimorph için çeşitli genişliklerde filtre şerit uygulaması denenmiştir. Filtre şerit uygulandıktan sonra Yüzeysel akış ile araziden taşınan pestisit miktarları hesaplanmıştır. SWAT'ta filtre şerit uygulaması, pestisit ve arazinin özelliklerinden bağımsız olarak denklem (1) ile hesaplanmaktadır.

$$trap_{eff} = 0.367 \times (width_{buffer})^{0.2967} \quad (1)$$

Burada; $trap_{eff}$, filtre şeritte pestisit tutulma verimini, $width_{buffer}$, filtre şerit uygulamasının genişliğini (m) ifade etmektedir (SWAT, 2009). 1, 5, 25 m genişliğinde filtre şeritler kritik alt havzalardaki alanlara uygulanmıştır. SWAT ile pestisit modellemesi sonucunda havzada pestisit yükü

açısından kritik alt havzalar belirlenmiştir. Bu alt havzalar 3,4,5,9 ve 11 olup bu alt havzalarda diğer alt havzalara nazaran daha yüksek miktarda pestisit araziden su kaynaklarına taşınmaktadır.

Filtre şerit uygulaması ile birlikte kullanım miktarının azaltımı uygulaması chlorpyrifos ve fenpropimorph pestisitleri için denenmiştir. Kritik alt havzalarda %20 oranında pestisit kullanım miktarının azaltımı ve 1 m filtre şerit uygulaması incelenmiştir.

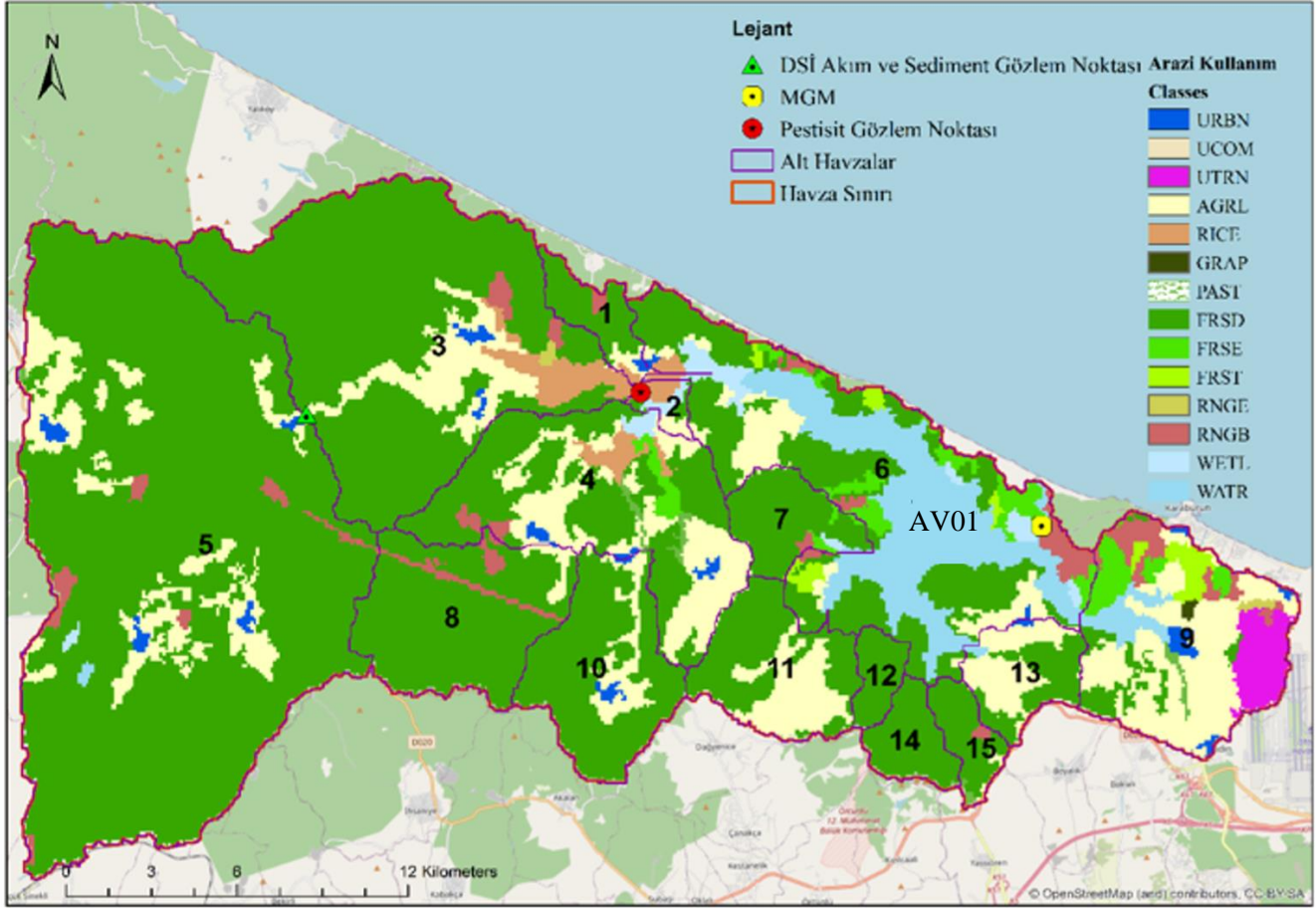
Fenpropimorph ve chlorpyrifos pestisitlerinin 2020 yılı itibarıyla Türkiye'de kullanımı yasaklanmıştır. Bundan dolayı SWAT modelinin 2020 yılı sonundaki değerleri alınarak, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilen iklim değişikliği projeksiyon verileri (yağış, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, solar radyasyon) ile pestisitler SWAT'ta tekrar modellenmiştir. İklim değişikliği projeksiyon modeli olan MPI-ESM (Max-Planck-Institute Earth System Model) ve RCP 4.5 senaryosu kullanılmıştır. RCP 4.5 senaryosu, IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından ara/orta derecede bir senaryo olarak tanımlanmaktadır (IPCC, 2014). 2020'de kullanım sonlandırılması ile havzada kalan fenpropimorph ve chlorpyrifosun AV01 rezervuarında nasıl bir dönüşüme uğrayacağı gelecek iklim verileri ile modellenmiştir. Bunun için AV01 modelde rezervuar olarak modellenmiş, İSKİ faaliyet raporlarından elde edilen rezervuardan çekilen su miktarları ve rezervuara ait fiziksel özellikler verileri ile simüle edilmiştir (İSKİ, 2019).

3. Sonuç ve Tartışma

3.1 Filtre şerit uygulaması ve kullanım azaltılması

Çeşitli filtre şerit uygulamaları ile ulaşılan nihai pestisit miktarları, AV01'e girmeden önceki althavza için (althavza 3) Şekil 2'de verilmiştir. Denklem (1)'den de görüleceği üzere, pestisit özelliklerinden bağımsız olarak, aynı genişlikteki filtre şerit uygulamaları yüzdesel olarak aynı giderim oranı sağlamaktadır. 1 m genişlikte filtre şerit uygulamasında %36, 5 metrede %59 ve 25 metrede %95 giderim sağlanmıştır. Yüzeysel akış ile taşınan çözünmüş pestisit miktarları, tutunmuş pestisitlere göre daha fazla olduğu için, çözünmüş formdaki pestisitlerde giderim daha net görülmektedir. Burada dikkat çekilmesi gereken kısım, bu giderim verimini sağlayan uygulamaların alt havzalardaki sadece kritik bölgelerde uygulanmış olmasıdır. Bu kritik alanların toplam alt havzadaki tarımsal alana oranları diğer alt havzalar için Tablo 1'de verilmiştir.

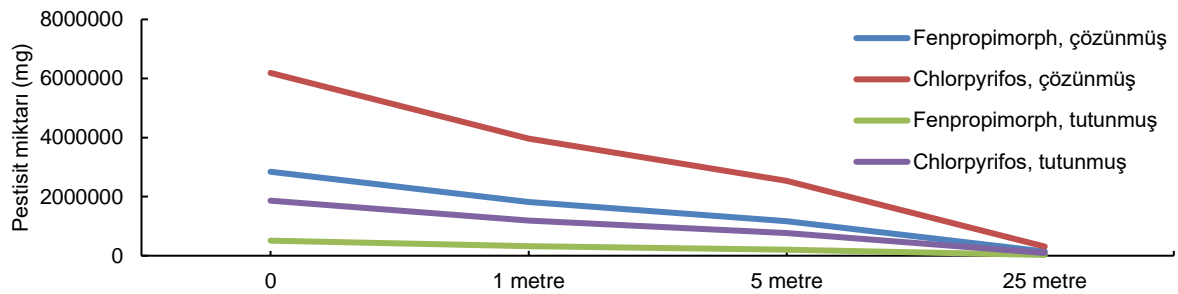
Filtre şerit uygulamalarının performansı yağış, sızma, yüzey akışı gibi hidrolojik etkenlere, filtre şerit genişliği, eğimi, bitki yoğunluğu gibi tasarım kriterlerine ve pestisit özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. SWAT modeli, deneysel verilere dayanarak oluşturduğu denklem (1) ile bu faktörleri göz ardı ederek giderim verimi hesaplamasını basitleştirmiştir. Fakat modelin havzada pestisit kirliliğine katkıda bulunan kritik alanları belirleyerek EİYU uygulanacak bölgeler için fikir vermesi büyük bir avantajdır.



Şekil 1. AV01 Havzası arazi kullanım haritası (CORINE,2018; URBN:şehir alanları, UCOM:endüstriyel alanlar, UTRN:ulaşım alanları, AGRL:tarım alanları, RICE:çeltik tarlaları, GRAP:üzüm bağları, PAST:otlak ve meralar, FRSD:yaprak dökken ağaçlar, FRSE:yaprak dökmeyen ağaçlar, FRST:karışık orman alanı, RNGE:yeşillikler (çimen), RNGB:yeşillikler (çalılık), WETL:sulakalanlar, WATR:su kütleleri).

Tablo 1. Filtre şerit uygulanan alanların toplam tarım alanlarına oranı.

Kritik alt havzalar	Filtre şerit uygulanan alan (ha)	Toplam tarım alanı (ha)	%
Alt havza 3	610	1186	51
Alt havza 4	721	1786	40
Alt havza 5	143	1994	7
Alt havza 9	346	2044	17
Alt havza 11	780	833	93



Şekil 2. Çeşitli filtre şerit genişliklerinde havzadan gelen pestisit miktarlarının değişimi (alt havza 3).

Belirtilen kritik bölgelerde 1 metrelik filtre şerit uygulamasının yanı sıra kullanımda %20 azaltıma gidildiğinde pestisit yaklaşık %49'luk bir giderim sağlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda EİYU'ları seçerken havzada baskın kullanılan pestisitlerin özelliklerinin, su ve sediment fazındaki dağılımlarının önemli olduğu görülmektedir. Pestisit yükünü azaltmaya yönelik uygulamalarının verimi, pestisit türüne, uygulama alanına, pestisit bitki ile ilişkisine, toprak yapısı ve iklimsel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Otto ve diğ., (2012) İtalya Po Vadisi'nde gerçekleştirdikleri çalışmada, bitkilendirilmiş filtre şerit uygulamalarının yüzeysel akış ile taşınan herbisit miktarındaki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, düz arazi alanlarında, yüzeysel akış ile taşınan pestisit miktarlarının kritik olmadığı, fakat arazi eğimi arttığında ve ekstrem yağış koşullarında filtre şeritlerin %80-88 oranında herbisit yükünü azaltabileceğini bulmuşlardır.

Watanabe ve Grismer (2001), Kaliforniya'daki meyve bahçelerinde diazinon pestisiti ile çalışmış, bitkilendirilmiş filtre şerit uygulaması yapılan alanda diazinon yükünü, uygulama olmayan alanların dörtte biri kadar bulmuştur. Saha ve deneysel küçük filtre şerit uygulamalarında filtre şerit uygulamalarının verimliliği ölçülmekte, söz konusu uygulamalar çalışılan mevcut arazi yapısı ve iklimsel şartlar için kıymetli sonuçlar vermektedir. SWAT gibi uygulamalar ise karar vericilere EİYU'lar hayata geçirilmeden önce fikir vererek daha ekonomik ve farklı önerileri sunabilir.

SWAT filtre şerit uygulaması, filtre şeritin pestisit tutma verimini, filtre şeritin genişliğine bağlı ampirik bir denkleme dayandırmaktadır. Bu denklem gerçek şartların oldukça basitleştirilmiş bir hali olup arazi eğimi, bitki türü, pestisit fizikokimyasal özellikleri (K_{oc}) gibi etkenleri göz ardı etmektedir. K_{oc} parametresinin filtre şerit hesaplamalarına eklenmesiyle daha gerçekçi sonuçlar alınabilecektir. Yüksek K_{oc} değerine sahip piretrioidler, organofosfatlar gibi pestisitler ($K_{oc} > 1000$) hidrofobik yapıda olup sedimentteki organik karbona bağlanmaya daha meyillidirler. Bundan dolayı bu tür pestisitler için filtre şeritlerin kullanılması daha düşük K_{oc} değerine sahip pestisitlere nazaran daha yüksek tutulum sağlayacaktır (Zhang & Zhang., 2011). Sadece filtre şeritlerde pestisit giderimi üzerine çalışan VFSMOD-W modeli yüzeysel akış derinliği ve sızma faktörlerini de dikkate almakta, SWAT'ın göz ardı ettiği bu parametreleri de sürece dahil etmektedir (Muñoz-Carpena ve diğ., 2018). İleri bir çalışma olarak SWAT'ın filtre şerit denkleminin pestisit türünden ve arazi yapısından bağımsız olmayacak şekilde modifiye edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışma ve literatürdeki başka çalışmaların sonuçlarından da görüldüğü üzere farklı EİYU'ların birlikte kullanılması ile daha verimli ve daha az maliyetli sonuçlar alınabilir (Li ve diğ., 2021; Wang ve diğ., 2019; Zhang & Zhang, 2011).

3.2 Pestisit kullanımının sonlandırılması

2020 yılında kullanımı yasaklanan chlorpyrifos ve fenpropimorph için iklim değişikliği projeksiyon verileri ile model tekrar kurulmuştur. 2021 yılından itibaren havzadaki tarım alanlarından gelerek AV01 rezervuarına ulaşan pestisit miktarları Şekil 3'te verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre 2024 yılına kadar, grafik üzerinde belirgin olmasa da havzadan rezervuara çok düşük konsantrasyonlarda pestisit girişleri görülmüştür. 2024 yılı itibarıyla chlorpyrifos için, 2023 itibarıyla fenpropimorph için havzadan rezervuara pestisit taşınmamıştır.

Pestisitlerin kullanımı sonlandırılırsa da 3-4 yıl gibi süre boyunca araziden AV01'e pestisit taşındığı görülmektedir.

Türkiye'de birçok su kaynağında DDT gibi kullanımı yasak pestisitlerin halen tespit edildiği bilinmektedir (Doğan & Karpuzcu, 2019). Bu çalışmada modellenen pestisitler DDT gibi uzun yarı ömürlere sahip olmamakla birlikte, toprakta az miktarda depolanmalarına ve kullanımlarının sonlandırılmasına rağmen yüzeysel akış ile beraber havzadan su kaynaklarına taşınmaktadır.

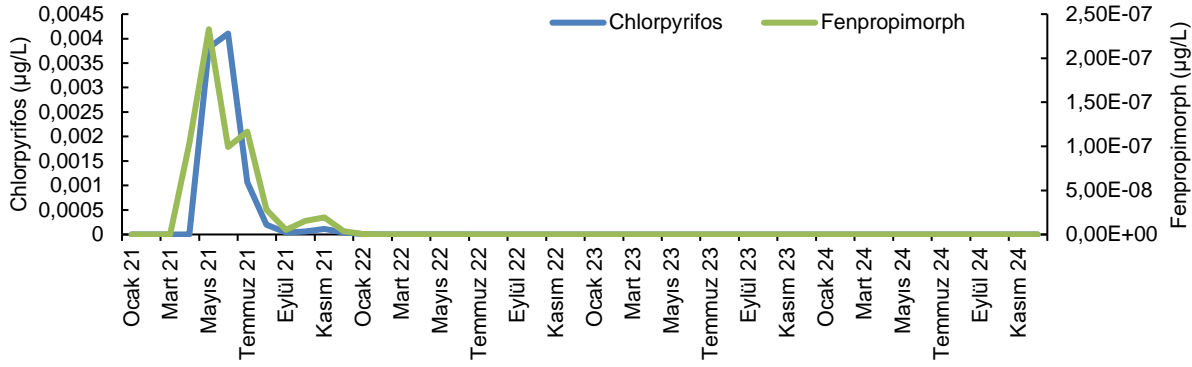
4. Değerlendirme

Pestisit kirliliğinin yönetiminde su kaynaklarında izleme çalışmaları ve karar destek sistemlerinin kullanılması önemli bir adım olmakla birlikte, kullanılan pestisit çeşidinin çok çeşitli olması, kullanım miktar ve zamanlarının farklılıklar göstermesi, yasaklanan pestisitlerin oluşturduğu kirlilik ve yasaklanan pestisitlerin artmasıyla piyasaya yeni pestisitlerin girmesi izleme ve modelleme çalışmalarında büyük bir belirsizliğe yol açmaktadır.

Bütüncül bir havza koruması için SWAT gibi modeller havzadaki pestisit kirliliği açısından kritik bölgeleri belirleyerek pestisit kirliliğinin yönetiminde önemli bir platform sunmaktadır. Yüzeysel akış kaynaklı pestisit yükünü azaltmak için çeşitli yapısal ve yapısal olmayan EİYU'ların etkinliği araştırılmış, bu uygulamalarda SWAT modelinin eksiklikleri ve olumlu yönleri tartışılmıştır. SWAT modelinin EİYU simülasyonlarındaki model algoritmalarının gelişmesi, farklı EİYU yöntemlerinin modele eklenmesi, EİYU süreçlerini daha iyi temsil etmek için yeni parametrelerin dahil edilmesi (K_{oc} , arazi eğimi, yüzeysel akış derinliği v.b) gibi iyileştirmeler ile SWAT modeli hidroloji alanında olduğu gibi yayılı kirleticilerin modellenmesi ve buna uygun EİYU'ların belirlenmesinde de etkili bir model olacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje no: 40202) birimi tarafından desteklenmiştir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.



Şekil 3. İncelenen Göl rezervuarında pestisitlerin sudaki konsantrasyon değişimi (simülasyon).

6. Kaynaklar

- Abimbola, O., Mittelstet, A., Messer, T., Berry, E., & van Griensven, A. (2021). Modeling and prioritizing interventions using pollution hotspots for reducing nutrients, atrazine and e. Coli concentrations in a watershed, *In Sustainability (Switzerland)* 13(1), pp. 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13010103>
- Ahmadi, M., Arabi, M., Hoag, D. L., & Engel, B. A. (2013). A mixed discrete-continuous variable multiobjective genetic algorithm for targeted implementation of nonpoint source pollution control practices, *Water Resources Research*, 49(12), 8344–8356. <https://doi.org/10.1002/2013WR013656>
- Anderson, B., Phillips, B., Hunt, J., Largay, B., Shihadeh, R., & Tjeerdema, R. (2011). Pesticide and toxicity reduction using an integrated vegetated treatment system, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(5), 1036–1043. <https://doi.org/10.1002/etc.471>
- Cho, J., Lowrance, R. R., Bosch, D. D., Strickland, T. C., Her, Y., & Vellidis, G. (2010). Effect of watershed subdivision and filter width on swat simulation of a coastal plain watershed1, *Journal of the American Water Resources Association*, 46(3), 586–602. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00436.x>
- Doğan, F.N. (2022). Tarım Kaynaklı Pestisitlerin SWAT ile Havza Ölçeğinde Modellenmesi. (Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul)
- Doğan, F. N. & Karpuzcu, M. E. (2019). Türkiye’de tarım kaynaklı pestisit kirliliğinin durumu ve alternatif kontrol tedbirlerinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (6), 734-747. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/50276/650540>
- Fernández-Pascual, E., Bork, M., Hensen, B., & Lange, J. (2020). Hydrological tracers for assessing transport and dissipation processes of pesticides in a model constructed wetland system, *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(1), 41–60. <https://doi.org/10.5194/hess-24-41-2020>
- Gali, R. K., Cryer, S. A., Poletika, N. N., & Dande, P. K. (2016). Modeling pesticide runoff from small watersheds through field-scale management practices: Minnesota watershed case study with chlorpyrifos, *Air, Soil and Water Research*, 9, 113–122. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S32777>
- IPCC. (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi). (2009). 1/100.000 Ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı Raporu İstanbul İl Bütünü Araştırma Bulguları. İstanbul:
- İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi). (2019). 2019 Faaliyet Raporu. <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/faaliyet-raporlari1>
- Karpuzcu, M. E., Sedlak, D. L., & Stringfellow, W. T. (2013). Biotransformation of chlorpyrifos in riparian wetlands in agricultural watersheds: Implications for wetland management, *Journal of Hazardous Materials*, 244–245, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.047>
- Krutz, L. J., Senseman, S. A., Zablotowicz, R. M., & Matocha, M. A. (2005). Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips: a review, *Weed Science*, 53(3), 353–367. <https://doi.org/10.1614/ws-03-079r2>
- Li, S., Li, J., Hao, G., & Li, Y. (2021). Evaluation of Best Management Practices for non-point source pollution based on the SWAT model in the Hanjiang River Basin, China. *Water Supply*, 21(8), 4563–4580. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.196>
- Love, B. J., Einheuser, M. D., & Nejadhashemi, A. P. (2011). Effects on aquatic and human health due to large scale bioenergy crop expansion. *Science of the Total Environment*, 409(17), 3215–3229. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.007>

- Luo, Y., & Zhang, M. (2009). Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT, *Environmental Pollution*, 157(12), 3370–3378. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.06.024>
- Maringanti, C., Chaubey, I., Arabi, M., & Engel, B. (2011). Application of a multi-objective optimization method to provide least cost alternatives for NPS pollution control, *Environmental Management*, 48(3), 448–461. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9696-2>
- Matamoros, V., Caiola, N., Rosales, V., Hernández, O., & Ibáñez, C. (2020). The role of rice fields and constructed wetlands as a source and a sink of pesticides and contaminants of emerging concern: Full-scale evaluation, *Ecological Engineering*, 156, 105971. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105971>
- Merriman, K. R., Daggupati, P., Srinivasan, R., Toussant, C., Russell, A. M., & Hayhurst, B. (2018). Assessing the impact of site-specific BMPs using a spatially explicit, field-scale SWAT model with edge-of-field and tile hydrology and water-quality data in the Eagle Creek Watershed, Ohio, *In Water (Switzerland)* 10(10), <https://doi.org/10.3390/w10101299>
- Muñoz-Carpena, R., Fox, G. A., Ritter, A., Perez-Ovilla, O., & Rodea-Palomares, I. (2018). Effect of vegetative filter strip pesticide residue degradation assumptions for environmental exposure assessments, *Science of the Total Environment*, 619–620, 977–987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.093>
- Sabbagh, G. J., Fox, G. A., Kamanzi, A., Roepke, B., & Tang, J.-Z. (2009). Effectiveness of Vegetative Filter Strips in Reducing Pesticide Loading: Quantifying Pesticide Trapping Efficiency. *Journal of Environmental Quality*, 38(2), 762–771. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0266>
- Sahin, C., & Karpuzcu, M. E. (2020). Mitigation of organophosphate pesticide pollution in agricultural watersheds, *Science of the Total Environment*, 710. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136261>
- Vianello M, Vischetti C, Scarponi L, Zanin G. (2005). Herbicide losses in runoff events from a field with a low slope: role of a vegetative filter strip. *Chemosphere*, 61: 717–25.
- Vymazal, J., & Březinová, T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review, *Environment International*, 75, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>
- Wang, R., Yuan, Y., Yen, H., Grieneisen, M., Arnold, J., Wang, D., Wang, C., & Zhang, M. (2019). A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns, *Science of the Total Environment*, 669, 512–526. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.141>
- Wang, Y., Bian, J., Lao, W., Zhao, Y., Hou, Z., & Sun, X. (2019). Assessing the impacts of best management practices on nonpoint source pollution considering cost-effectiveness in the source area of the Liao River, China, *Water (Switzerland)*, 11(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w11061241>
- Watanabe H, Grismer M. E. (2001). Diazinon transport through inter-row vegetative filter strips: micro-ecosystem modeling, *Journal of Hydrology* 247:183–99
- Zhang, X., & Zhang, M. (2011). Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff, *Science of the Total Environment*, 409(10), 1949–1958. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.012>