

ALICI ORTAMI GÖL OLAN FARKLI ARITIM PROSESLERİNİN PESTİSİT GİDERİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

İpek AKSANGÜR¹ (ORCID: 0000-0003-3204-2662)*
Berrak EROL NALBUR¹ (ORCID: 0000-0002-0078-2722)

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

Geliş / Received: 20.03.2018
Kabul / Accepted: 15.05.2018

ÖZ

Göllerin, önemli kirletici parametrelerinin başında pestisitler gelmektedir. Tarımsal uygulamalar sonucu, toprak yüzeyinde kalan pestisitler, yağmur suları ile yüzey akışına ya da topraktan süzülerek taban suyu ve diğer su kaynaklarına ulaşırlar. Pestisitler evsel ve sanayi faaliyetleri sonucunda oluşan atıksulardan da toplama sistemleri ile atıksu arıtma tesislerine (AAT) ulaşmaktadır. Burada yeterince giderim sağlanamaması nedeniyle alıcı ortamı olan göllere taşınmaktadır. Ülkemizde AAT'ler; deşarj standartlarında herhangi bir pestisit türüne ait sınır değer olmaması nedeniyle, pestisit giderimine yönelik tasarlanmamakta ve pestisit kaynağı olarak kabul edilmektedir. Çalışmada, arıtma proseslerinin pestisit giderim verimlerinin ortaya konması amacıyla; farklı arıtma proseslerine sahip tesislerin pestisit giderim performansları incelenerek durum analizi yapılmıştır. Ardından tarımsal havza niteliğine sahip göllere deşarj edilen arıtılmış sular, pestisit parametresi yönünden değerlendirilmiştir. Çalışma ile atıksudaki pestisit türlerinin havza bazında çeşitlilik gösterdiği, seçilen arıtma proseslerinin atıksudan pestisit giderim veriminin farklı olduğu ve göllere deşarj eden tesislere ileri arıtma proseslerinin ilave edilerek pestisit kaynaklı kirliliğin azaltılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Pestisit, arıtılmış sular, arıtma teknolojileri, göller

INVESTIGATION OF THE PESTICIDE REMOVAL EFFICIENCY OF DIFFERENT TREATMENT PLANTS WHERE THE RECEIVING ENVIRONMENT IS LAKE

ABSTRACT

Pesticides are the major pollutant parameters for the lakes. As a result of agricultural applications, pesticides remaining on the surface of the soil, reach at the surface waters by runoff or to the ground water table by leaching through the soil and other sources of water. Pesticides reach wastewater treatment plants (WWTPs) by domestic and industrial wastewaters through collecting sewer systems and eventually they are carried to the lakes which are receiving environment, due to the lack of adequate treatment. Turkish environmental regulations do not contain a limit value for the discharge of pesticides. Since the treatment facilities are not designed for removal of such significant pollutants, effluents of wastewater treatment systems can be considered as pesticide sources. In the study, in order to determine the pesticide removal efficiencies of treatment processes, pesticide removal performances of plants with different treatment processes were analyzed and a state analysis was carried out. In addition, treated wastewaters discharged into the lakes within agricultural basins were evaluated in terms of pesticide parameters. It has been determined by the study that the pesticide species in the wastewater are diversified according to the watershed, the selected treatment processes have different pesticide removal efficiencies from wastewater, and that pesticide-induced pollution can be reduced by adding advanced treatment processes to the wastewater treatment facilities.

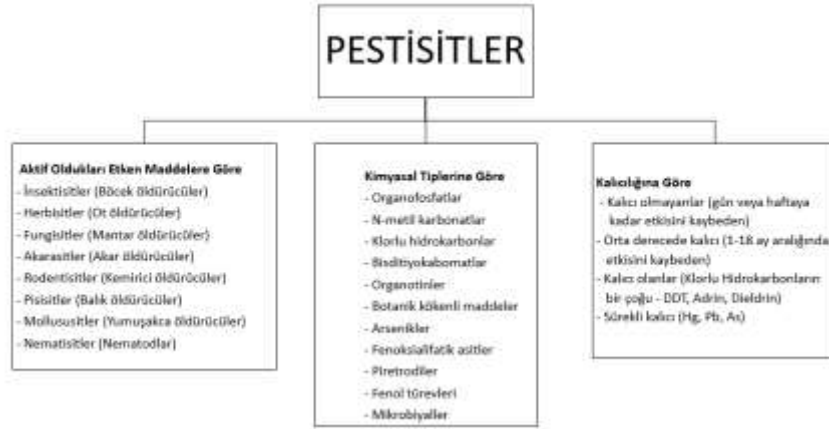
Keywords: Pesticides, treated water, treatment technology, lakes

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 546 447 34 50 ; e-mail / e-posta: ipzey@hotmail.com

1. GİRİŞ

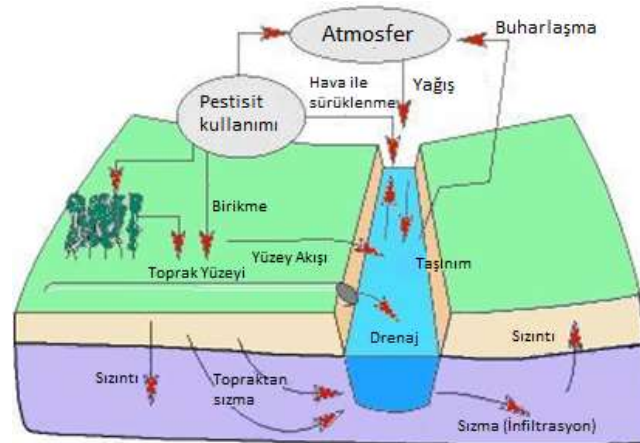
İnsani ve sanayi faaliyetleri sonucunda oluşan, değişken yapıya sahip olan atıksular nehir, göl ve deniz gibi alıcı ortamlara boşaltıldıklarında ortamın fizikokimyasal ve biyolojik yapısında önemli ölçüde değişimlere neden olmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri (AAT) bölgede bulunan atıksuların toplanıp, çeşitli fiziksel, biyolojik ve kimyasal prosesler yardımıyla arıtıldığı tesislerdir. AAT'lerde seçilen arıtma prosesleri tesiste giderilecek kirliliğin türü ve giderme verimi için önemli bir faktördür. Aynı zamanda AAT'ler alıcı ortamların kirlilik seviyelerinin korunmasında sınırlayıcı görevi de görmektedir.

Yaygın kullanım alanı nedeniyle farklı amaçlara yönelik birçok pestisit türü kullanılmaktadır. Pestisitler genel olarak aktif oldukları madde, kimyasal yapıları ve kalıcılıklarına göre sınıflandırılırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Pestisitlerin sınıflandırılması

Atmosferle uzun mesafelere taşınabilen pestisitler, çevrede dayanıklı ve lipofil özellikleri ile biyo-ekosistemlerde birikerek (biyoakümülyasyon), besin zinciri boyunca taşınırken yüksek yapılı canlılara doğru gittikçe artarak depolanmaktadır (biyomagnifikasyon) [1,2,3]. Pestisitler; topraktan havaya buharlaşabilecekleri gibi yeraltılarına sızarak veya akarak yayılabilirler. Şekil 2'de pestisitlerin hava-su-toprakta dağılım döngüsü verilmiştir. Özellikle, tarımsal faaliyetin yoğun olduğu bölgelerde organoklorolu pestisit grubunda yeralan Adrin, DDT (Dikloro Difenil Trikloroethan), Endrin, HCH (Hekzaklorohekzan)'ler US. EPA ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından toksik bileşikler olarak rapor edilmektedir [4].



Şekil 2. Pestisit doğal ortam döngüsü [5]

Atıksulardaki pestisit kaynaklı kontaminasyonun büyük bir kısmının tarım arazilerinden ve tarım arazilerinin olduğu yüzey sularından kaynaklandığı bilinmektedir [6]. Aynı zamanda pestisitler evsel ve sanayi faaliyetleri sonucunda oluşan atıksulardan toplama sistemleri ile AAT'lere ulaşmakta ve bu tesislerde yeterince giderim sağlanamaması nedeniyle alıcı ortamı olan göllere bu yolla da taşınmaktadır.

ALICI ORTAMI GÖL OLAN FARKLI ARITIM PROSESLERİNİN PESTİSİT GİDERİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Sulardaki insektisit kalıntıları genellikle çözünemez, süspansiyon şeklinde organik maddelerde, sedimentlerde, çamurda, çürüme artıklarında ve planktonlarda tutunur. Bu yolla besin zincirine girerek, suda yaşayan omurgasızlarda, balıklarda kolaylıkla birikebilirler [7]. Ayrıca, bazı organik pestisitlerin suda erime ve homojen şekilde dağılma özelliği çok yüksektir. Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK) sınıfında yer alan organoklorlu pestisitler (Adrin, DDT, Dieldrin, Endrin, Heksaklorobenzen (HCB) vb.) yüksek toksisite, kalıcılık, uçuculuk ve biyoakümülyasyon özellikleri nedeniyle insan sağlığı ve ekosistemler için olumsuz etkiye sahiptirler.

Göller çok sayıda alıcı noktası olması ve durgun su niteliği göstermesi nedeniyle kirlenmeye karşı oldukça yüksek riske sahiptir. Özellikle dışarıya akışı olmayan göllerde (kapalı havza gölleri) ağır metaller, zor parçalanabilen pestisitler gibi bozunmayan kirleticilerin giderek kirlilik potansiyelini arttırmaları, yüzeysel sular arasında kirlenmeye karşı en hassas su grubunu oluşturan göllerin korunmasında ne denli hassas olunması gerektiğini ortaya koymaktadır [8].

Başta göller olmak üzere su kaynağı olarak da görev yapan su kütlelerinin su kalitesinin korunması ve devamlılığının sağlanması adına mikrokirletici sınıfında yer alan pestisitlerin toksisiteleri ve su kirliliği üzerine etkilerinin net olarak ortaya konması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada; çeşitli arıtma proseslerinin pestisit türlerine göre giderim verimlerinin ortaya konması ve havza niteliğine sahip göllere deşarj edilen arıtılmış suların pestisit parametresi yönünden değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ

Atıksular çeşitli kirlilik parametrelerine sahiptir. Atıksuda makro ve mikro kirleticilerin konsantrasyonu kaynağa bağlı olarak değişmektedir. Makro kirleticilerin giderimi için klasik arıtma prosesleri -yüksek giderim performansları nedeniyle- tercih edilmektedir. Fakat başta pestisitler olmak üzere birçok mikro kirleticinin atıksudan gideriminde klasik arıtma prosesleri yetersiz kalmakta ve ileri arıtma proseslerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde pestisit tüketimindeki artışa paralel olarak atıksuda pestisit konsantrasyonları da artmaktadır. Membran prosesleri, membran biyoreaktörler (MBR), adsorpsiyon prosesleri ve ileri oksidasyon prosesleri (İOP) ileri arıtma prosesleri olarak günümüzde bilinmektedir. Bu proseslerin pestisit çeşidine bağlı olarak giderim performansları da değişmektedir.

Membran prosesleri; son yıllarda kullanım alanı giderek artmaktadır. Kullanılan membran tipine bağlı olarak; Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters Osmoz (RO) olarak ayrılmaktadır. Genel ifadeyle membranlar; iki fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan ince ve geçirgen bir tabakadan oluşmaktadır [9]. Membran prosesleri; partikül boyutundan çözünmüş haldeki maddelere kadar birçok maddenin atıksudan ayrılmasına olanak sağlamaktadır.

MBR (Membran biyoreaktörler) ise biyolojik arıtma proseslerinin membran prosesleri ile entegrasyonu sonucu oluşmuş özellikle çözünmüş organik maddenin giderimi noktasında yüksek giderime sahip olan bir ileri arıtma prosesidir. Konvansiyonel aktif çamur prosesinde iki ayrı tankta gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon (havalandırma tankında) ve su/biyokütle ayrımı (sedimentasyon ile çökeltim tankında) MBR'larda tek tankta gerçekleşmektedir. Bu tank içinde havalandırma suretiyle aktif çamur oluşturulmakta, tankın içinde suda gömülü olan membran kasetlerindeki fiberlerin ya da düz tabaka membranların çok küçük gözeneklerinden vakum uygulanarak arıtılmış su çekilmekte ve biyooksidasyon ile karbon giderimini yapan biyokütle tank içerisinde kalmaktadır [10].

İleri oksidasyon prosesleri (İOP), birincil oksidasyon türleri olarak hidroksil radikalleri (OH●) kullanan oksidasyonlardır. Özellikle son yıllarda atıksu arıtımında kullanımı oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Akuatik sistemlerde hidroksil radikallerin üretilmesi için hidrojen peroksit/ozon (H₂O₂/O₃), H₂O₂/ultraviyole (UV), O₃/UV, TiO₂/UV, O₃/OH, Fe+2/H₂O₂ (Fenton reaksiyon), Fe+2/H₂O₂/UV (Foto-Fenton reaksiyon), gama ışınlaması ve sonoliz gibi arıtma prosesleri kullanılmaktadır [10].

Adsorpsiyon prosesleri; atıksuda akışkan fazda çözünmüş haldeki bileşenlerin (pestisit türevleri, vb.) bir katı adsorbent yüzeyine tutunmasına dayanan bir prostestir. Özellikle su kaynaklarında pestisit kalıntılarının gideriminde adsorbant olarak aktif karbon kullanılarak yapılan adsorpsiyon işlemi sıklıkla tercih edilmektedir.

Çalışma kapsamında; çeşitli arıtma proseslerinin pestisit giderim verimlerinin ortaya konması amacıyla; Dünya'da ve Türkiye'de farklı arıtma proseslerine sahip arıtma tesislerinin pestisit giderim performansı incelenerek durum analizi yapılmıştır. Ardından tarımsal havza niteliğine sahip göllere deşarj edilen arıtılmış sular pestisit parametresi yönünden değerlendirilmiştir.

3. ATIKSULARDAN PESTİSİT GİDERİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Mevcut Durum Analizi

3.1.1. Pestisit tüketimi

Tarımda ürün veriminin yükseltilmesi için, insan ve çevreye toksik etkisi yüksek olan pestisitler sıklıkla kullanılmaktadır. Dünyadaki toplam pestisit üretimi yıllık 3 milyon ton civarında olup [11], Türkiye’de pestisit üretimi ise yıllık ortalama 33000 ton olarak hesaplanmıştır [12]. Bu miktarın %47’sini insektisitler, %24’ünü herbisitler, %16’sını fungusitler ve %13’ünü de diğer gruplar oluşturmaktadır [13]. Dünya’da hektar başına pestisit tüketen ilk 3 ülke Hollanda (13,8 kg/ha), Yunanistan (13,5 kg/ha) ve İtalya (9,3 kg/ha) dır [14]. Türkiye’de ise pestisit tüketiminin 1,3 kg/ha olduğu tahmin edilmektedir [15].

3.1.2. Türkiye’de göllerin durumu

Göller çok sayıda alıcı noktası olması ve durgun su niteliği göstermesi nedeniyle kirlenmeye karşı oldukça yüksek riske sahiptir. Tarım uygulamalarının yoğun olduğu havzalarda bulunan göllerin tarım kaynaklı kirlenmeler nedeniyle olumsuz etkilendiği anlaşılmaktadır. Ülkemizde Bafa Gölü, İznik Gölü, Sapanca Gölü ve Uluabat Gölü’nün -başta tarım alanlarından gelen arıtılmış sular olmak üzere- tarımsal gübre ve pestisit kullanımı nedeniyle kirlenmekte olduğu belirtilmektedir [12]. Marmara bölgesinde bulunan mevcut AAT’lerinin %3’ü, İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan AAT’lerinin %16’sı ve Doğu Anadolu Bölgesi’nde bulunan AAT’lerinin %57’si arıtılmış sularını baraj ve göllere deşarj etmektedir [16].

Ülkemizde 04.04.2014 tarih ve 28962 sayılı “Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği” kapsamında sulak alanlar koruma bölgelerinde yapılması bakanlık iznine tabi olan faaliyetler arasında kentsel ve/veya evsel nitelikte atıksu arıtma tesisleri yer almaktadır. Göllerin su kalitesinin korunması için ise 11.02.2014 tarih ve 28910 sayılı RG. “Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik” yayınlanmıştır. Yönetmelik çerçevesinde birçok pestisit türü (Atrazin, Benzen, Diuron, Hekzaklorobenzen, vb.) göllerin izlenmesinde gereken kalite parametreleri arasında yer almaktadır.

İlgili yönetmeliklerce tanımlanan alıcı ortam standartları aynı zamanda su kütlelerinin kalitesinin korunması için kısıtlayıcı görevi görmektedir. Buna karşın ülkemizde su kütlelerinin korunmasına yönelik hazırlanan ve yürürlükte olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı R.G.) alıcı ortam deşarj standartlarında herhangi bir pestisit türüne ait sınır değeri henüz yer almamaktadır.

3.2. Çeşitli Arıtma Proseslerinin Pestisit Giderim Verimleri

Atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularında bölgeye özgü faaliyetlere bağlı olarak pestisit türlerine rastlanmaktadır. Tarımsal faaliyetin yoğun olduğu bölgelerde bulunan AAT’lerin çıkış sularında sıklıkla Adrin, Pentachlorobenzene, Atrazin, Diuron, Linuron, Benzo (α) pyrene, Fluoranthene, Pyrene’e rastlanmaktadır [17]. Klasik arıtma prosesleri, makrokirleticilerin yüksek giderimini sağlarken pestisit gibi mikrokirleticilerin giderimi konusunda yetersiz kalabilmektedir. Bazı pestisit türleri için bir üst arıtma prosesi olan ileri arıtma proseslerine ya ön arıtma prosesi olarak ya da ilave proses olarak ihtiyaç duyulabilmektedir.

3.2.1. Klasik arıtma prosesleri ile pestisit giderimi

Klasik arıtma proseslerine sahip olan AAT’lerin çeşitli pestisit türlerinin giderim verimleri üstünde yapılmış çalışma örnekleri Tablo 1’de bir araya getirilmiştir.

Tablo 1 değerlendirildiğinde; suda çözünmeyen, yalnızca organik solventler ile ayrışabilen ve herbisit sınıfında yer alan bir pestisit türü olan Diuron’un biyolojik arıtma prosesleri ile bir miktar giderilebildiği belirlenmiştir. Stasinakis ve ark. (2009)’nın yaptığı çalışmada; Diuron giderimi için ortamda düşük konsantrasyonlarda substrat kaynağının olmasının Diuron biyodegradasyonunu etkilemediği, buna karşılık ortama uyum sağlanmasının ardından, anoksik koşullar altında eliminasyonunun hızlandığı belirlenmiştir.

Morasch ve ark. (2010)’nın yaptığı bir çalışmada bir içmesuyu kaynağı olarak kullanılan göle deşarj yapan bir atıksu arıtma tesisinden (Kimyasal+Biyolojik arıtma prosesleri) Diazinon, İrgarol ve Terbutryn’in gideriminin olduğu (sırasıyla %13, %75, %47) ve gölün içme suyu sağlanan noktasında alınan numunelerde ise pestisit konsantrasyonlarında düşme (sırasıyla %91, %86, %92) olmasına karşın halen varlığını sürdürdüğü tespit edilmiştir.

ALICI ORTAMI GÖL OLAN FARKLI ARITIM PROSESLERİNİN PESTİSİT GİDERİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bernard ve ark. (2006)'nın yaptığı çalışmada ise polar özelliğe sahip kalıcı kirleticilerden Atrazin'in klasik aktif çamur prosesinde nerdeyse hiç giderilemediği belirlenmiştir.

Katsoyiannis ve Constantini (2004) nin yaptığı çalışmada; yüksek toksik etkilere sahip ve organaklorlu pestisit türü olan HCB (Hekzaklorobekzen) ve DDT' nin klasik arıtma prosesleri ile %50 gideriminin sağlanabildiği belirlenmiştir.

Tablo 1. Klasik arıtma yöntemlerinin atıksulardan pestisit giderim verimi

Pestisit Türü	Arıtma Yöntemi	Verim (%)	Referans
Diuron	Biyolojik Arıtma (Aerobik)	60	Stasinakis ve ark., 2009 [18]
	Biyolojik Arıtma (Anoksik)	95	
Diazinon	Kimyasal + Biyolojik Arıtma	13	Morasch B ve ark., 2010 [19]
İrgarol		75	
Terbutryn		47	
Atrazin	Biyolojik Arıtma	<1	Bernard M. ve ark.. 2006 [20]
HCB	Fiziksel+Biyolojik Arıtma	50	Katsoyiannis A. ve Constantini S., 2004 [21]
DDT		50	

Bu çalışmalardan yola çıkılarak klasik arıtma proseslerinin bazı pestisit türlerinin gideriminde yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Bu noktada arıtma yönteminin bölgede yoğunlukla kullanılan tarım ilaçlarının tespitinin ardından belirlenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

3.2.2. İleri arıtma prosesleri ile pestisit giderimi

Klasik arıtma prosesleri mikrokirletici sınıfına giren pestisitlerin birçoğunun biyolojik parçalanma (biyodegradasyon) özelliğinin düşük olması nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle atıksudan pestisit giderimi için bir üst arıtma yöntemi olan ileri arıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Adsorpsiyon prosesleri, ileri oksidasyon prosesleri, membran prosesleri (nanofiltrasyon, ters osmoz ve membran biyoreaktörler) gibi ileri arıtma prosesleri mikrokirletici gideriminde yüksek verime sahiptir. Tablo 2 ve 3'te ileri arıtma proseslerine sahip olan atıksu arıtma tesislerinin aynı pestisit türü yönünden giderim verimleri üstünde yapılmış çalışma örnekleri bir araya getirilmiştir.

Tablo 2. İleri arıtma yöntemleri ile atıksulardan pestisit (Atrazin) giderim verimi

Pestisit Türü	Arıtma Yöntemi	Verim (%)	Referans
Atrazin	- O ₃ (5 mg/L)+H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)+UV ₂₅₄ (10 dk)	69	Gerrity ve ark., 2011 [22]
	- H ₂ O ₂ (50 mg/L)+ Fe ⁺² (5 mg/L)+UV ₂₅₄ (10-30 dk)	43-100	De la Cruz ve ark., 2012 [23]
	-TiO ₂ /UV(9,1 dk)	90	Pelizzetti ve ark., 1990 [24]
	-Nanofiltrasyon	97	Yangali-Quintanilla ve ark., 2011 [25]
	-Memranbiyoreaktör	4,4	Tadkaew ve ark., 2011 [26]

Atıksulardan pestisit gideriminde ileri arıtma proseslerinin kullanıldığı çalışmalarda özellikle tek pestisit türü seçilerek farklı arıtma teknolojilerinin etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Atıksularda yoğun miktarda gözlenen ve bir herbisit türü olan Atrazin'in daha çok Fotokimyasal ve Kimyasal Oksidasyon Prosesleri [22, 23,24] ile yüksek verimle giderildiği, biyolojik prosesleri içinde bulunduran arıtma yöntemlerinde [26] ise bu pestisit için daha düşük giderim verimlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Uygulama kolaylığı ve optimum işletme şartları düşünüldüğünde en yüksek giderme veriminin membran proseslerinin bir türü olan Nanofiltrason [25] ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında seçilen bir diğer pestisit türü olan 2,4-D aynı zamanda tarımsal faaliyetlerde en çok kullanılan ve sulama suları ve yağış ile alıcı ortamlara en çok taşınan pestisit (herbisit) türüdür [31, 32]. Atıksudan 2,4-D giderimi için biyolojik prosesleri içine alan ileri arıtma proseslerinin [29,30] en yüksek giderim verimine sahip olduğu tespit edilmiştir.

2,4-D ve Atrazin'in atıksudan giderilme performansları karşılaştırıldığında 2,4-D'nin özellikle biyolojik prosesleri içine alan ileri arıtma prosesleri ile gideriminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiler

doğrultusunda 2,4-D'nin Atrazin'e oranla daha yüksek biyolojik parçalanma özelliğinin olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3. İleri arıtma yöntemleri ile atıksulardan pestisit (2,4-Diklorofenoksiasetik asit) giderim verimi

Pestisit Türü	Arıtma Yöntemi	Verim (%)	Referans
2,4-D	TiO ₂ /UV(15 dk)	90	Trillas ve ark., 1995 [27]
	Aktif Karbon	91,09	Sezer ve Aksu, 2013 [28]
	Elektrokimyasal proses+Aktif Çamur (14 gün)	100	Fontmorin ve ark., 2013 [29]
	MBR	99	Ghosdastidar ve Tong, 2013 [30]

Atıksuların arıtılmasında kullanılan adsorpsiyon yöntemi toksik ve biyolojik parçalanmaya dayanıklı maddelerin gideriminde önemli bir yere sahiptir. Tablo 4'te adsorpsiyon proseslerinde farklı adsorbent kullanımı ile çeşitli pestisit türleri yönünden giderim verimleri üstünde yapılmış çalışma verileri yer almaktadır.

Tablo 4. Adsorpsiyon yöntemi ile atıksulardan pestisit giderim verimi

Pestisit Türü	Zeolit Verim (%)	Aktif Karbon Verim (%)	Poliüretan Tozu Verim (%)	Referans
Propanil	28-68	64-73		Lüle, 2011 [33]
Diazinon	33-63	69-75	-	
Fenitrothion	43-75	72-79	-	
Trifloralin	51-92	81-88	-	
2,4-D	21-70	55-72	-	
DDT	-	-	99,5	Moawed ve Radwan, 2017 [4]
Adrin	-	-	98,5	

Tablo 4 incelendiğinde kullanılan adsorbentin aynı pestisit türlerinin, atıksudan giderme verimlerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Aktif karbon ile adsorpsiyon yöntemi Zeolit'e nazaran aynı pestisit türleri için değerlendirildiğinde verimi daha yüksektir [33]. Ayrıca bir organoklorlu pestisit grubunda yeralan DDT ve Adrinin ise poliüretan tozunun bir adsorbant olarak görev aldığı sistemde yüksek giderme verimine sahip olduğu belirlenmiştir [4].

Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK) listesinde bulunan ve organoklorlu pestisit grubunda yeralan HCB, HCHs, DDT, DDE'lerin atıksularda etkin arıtma yöntemleri kullanılarak giderilmesi gerekmektedir. Tablo 5'te ise farklı ileri arıtma proseslerinin çeşitli organoklorlu pestisit türlerinde giderim verimleri üstünde yapılmış çalışma verileri yer almaktadır.

Tablo 5. İleri arıtma yöntemi ile atıksulardan pestisit giderim verimi

Pestisit Türü	Arıtma Yöntemi	Verim (%)	Referans
HCH	O ₃ (20 dk.)	54	Simkovic ve ark., 2016 [34]
	Fenton Prosesi (Fe ⁺² :H ₂ O ₂ ;1:1,33) HCH (α,β,γ)	99,6	Barbusinski ve Filipek, 2001 [35]
		100	
		99,3	
Anaerobik MBR	94	Yiping ve ark., 2008 [36]	
DDT	Fenton Prosesi (Fe ⁺² :H ₂ O ₂ ;1:1,33)	96,8	Barbusinski ve Filipek, 2001 [35]
	O ₃ +TiO ₂ +H ₂ O ₂	60	Ormod ve ark., (2010) [37]
	Anaerobik MBR	99	Yiping ve ark., 2008 [36]

Tablo 5 incelendiğinde HCH ve DDT' nin ozon ile oksidasyon prosesleri ile yüksek giderme verimine sahip olmamasına karşın farklı katalizör ilaveli oksidasyon prosesleri ile gideriminin yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı grupta yeralan farklı pestisit türlerinin atıksudan gideriminde ise aynı proseslerin yakın giderme verimlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

ALICI ORTAMI GÖL OLAN FARKLI ARITIM PROSESLERİNİN PESTİSİT GİDERİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**3.3. Göllerde Pestisit Konsantrasyonları**

Pestisitler, içme suyu kaynağı olan ve havzada yoğun tarım uygulamaları yapılan göllerin Dünya’da ve ülkemizde su kalitesini etkileyen önemli kirlenici parametrelerinden biridir. 1998 yılında, U.S. EPA tarafından, yüzeysel sularda en az 76 farklı, yeraltı sularında en az 46 farklı pestisitinin mevcut olduğu rapor edilmiştir. Pestisitler arasında en sık görülenlerin atrazin, endosulfan, pronofos, dimethoate, chlordane, diuron, prometryn ve fluometuron olduğu belirtilmiştir [38,39]. Tablo 6’da farklı göllerde su fazlarında belirlenmiş olan çeşitli pestisit türlerinin konsantrasyonları bir araya getirilmiştir.

Tablo 6. Çeşitli göllerde rastlanan pestisit türleri ve konsantrasyon değerleri

Arıtma Yöntemi	Pestisit Türü	Değer (µg/L)		Alıcı ortam	Referans
		Min	Max.		
Kentsel AAT (İleri Biyolojik A2/O)	HCB	2,53	3,12	Gaobeidian Gölü (Beijing, Çin)	Li ve diğ., 2008 [40]
	HCHs ($\alpha,\beta,\gamma,\sigma$)	1,02	1,48		
	DDTs (p,p'-DDD,p,p'-DDE, p,p'-DDT, o,p'-DDT)	10,3	15,6		
Kentsel AAT (Fiziksel + Biyolojik)	DDE/DDT	0,84	1,66	Van Gölü (Türkiye)	Oğuz ve Kankaya, 2013 [41]
Kentsel AAT	HCH (α)	290	-	Geriyö Gölü (Nijerya)	Shinggu ve diğ., 2015 [42]
	Aldrin	330	-		

Tablo 6 incelendiğinde EPA kirlenici listesinde yer alan DDT, HCB’lerin atıksu arıtma tesislerinin deşarj nedeniyle içmesuyu kaynağı olan göllerde yüksek konsantrasyonda [40,41] varlığını sürdürdüğü tespit edilmiştir. İçme suyu elde edilen yüzey sularının kalitesinin korunması için belirlenen limit değerlerde HCH (Hekzakloroheksan)’ın 1 µg/L değerini aşmaması gerekmektedir [43]. Tablo 6’da ayrıca 1980’li yıllarda ülkemizde yasaklanan kalıcılığı oldukça yüksek DDT’nin çıkış sularını Van gölüne deşarj eden atıksu arıtma tesisleri ve diğer kaynaklardan halen taşındığı belirlenmiştir [41]. Temiz suya erişim oranının düşük olduğu ülkeler arasında yer alan Nijeryada bulunan Geriyö Gölü’nde atıksuların arıtıldıktan sonra deşarj edilmesine rağmen tarımda insektisit olarak kullanılan Adrin ve HCH’nin oldukça yüksek konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışma ile atıksudaki pestisit türlerinin -atıksu kaynağının olduğu bölgede kullanılan tarım ilacına göre-havza bazında çeşitlilik gösterdiği ortaya konmuştur. Atıksu arıtma teknolojilerinin pestisit türüne göre giderme verimleri değişmektedir (Tablo 1-2-3-4-5). Göllere deşarj edilen atıksularda bulunan pestisitler gölün su kalitesini etkilemektedir (Tablo 6). Göllere deşarj eden mevcut tesislere ileri arıtma proseslerinin ilave edilerek pestisit kaynaklı kirliliğin azaltılabileceği belirlenmiştir (Tablo 3-4-5).

Bu çalışmanın sonucunda Dünya’da ve ülkemizde içme suyu kaynağı olan su kütlelerinin arasında kirlenmeye en yatkın olan göllerin su kalitesinin korunması için pestisit kaynaklı kontaminasyonun önlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda alıcı ortam olarak gölleri kullanan atıksu arıtma tesislerinin bölgede yoğun olarak kullanılan tarım ilaçlarının tespitinin ardından tasarlanması ve mevcut tesislerin ise tekrar değerlendirilip pestisit türüne özgü ileri arıtma prosesleri ilave edilerek giderim verimlerinin artırılmasının gerektiği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] COVACI, A., GHEORGHE, A., HULEA, O., SCHEPENS, P., “Levels and Distribution of Organochlorine Pesticides, Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments and Biota from The Danube Delta”, Environmental Pollution, 140, 136-149, 2006.
- [2] ROCHE, H., VOLLAIRE, Y., PERSIC, A., BUET, A., OLIVEIRA-RIBEIRO, C., COULET, E., BANAS, D., RAMADE, F., “Organochlorines in the Vaccarès Lagoon Trophic Web (Biosphere Reserve of Camargue, France). Environmental Pollution, 157, 2493-2506, 2009.
- [3] PAZI, İ., GÖNÜL, L.T., KÜÇÜKSEZGİN, F.,” Pesticide and PCB Residues in Biotic and Abiotic Environment in Lake Bafa”, Ege J Fish Aqua Sci 30(4), 175-182, 2013.

İ. AKSANGÜR, B. EROL NALBUR

- [4] MOAWED, E.A., RADWAN, A.M., “Appliacion of Acid Modified Polyurethane Foam Surface for Detection and Remaing of Orhanochlorine Pesticides From Wastewater.”, Journal of Chromotography B.1044-1045, 95-102, 2017.
- [5] <http://www.pesticidemodels.eu/toxswa/documentation/> (erişim tarihi 28.08.2017)
- [6] BURÇAK A. A., KAYA Ü., Pesticide usage and investigation of pesticide residues in Turkey”, First Mediterranean Workshop, Research and European Policy on Pesticide Residues in Mediterranean Countries and MCPR Annual Meeting,” N.AG.RE.F., 7, Athens, Greece, 2000.
- [7] ALTİKAT, A., TURAN, T., TORUN, E.F., BİNGÜL, Z., “Türkiye’de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri”. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. 40 (2), 87-92, 2009.
- [8] ÇAKMAK, L., DEMİR, T., “Su Kirliliği ve Etkileri”, Çevre ve İnsan Dergisi, 36, 27-29, 2007.
- [9] KAYACAN B.B., “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Proseslerle Geri Kazanımının Araştırılması”, Y.L. Tezi, Çevre Mühendisliği A.B.D., Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [10] KİTİŞ, M., YİĞİT, N.Ö., KÖSEOĞLU, H., BEKAROĞLU, Ş.Ş., “Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri- Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı”, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Isparta, Türkiye, 2009.
- [11] DELEN N., Fungisitler, Nobel Yayın Dağıtım, Nobel Yayın No: 1360, Ankara, 2008.
- [12] TURABİ M. S., “Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması”, Tarım İlaçları Kongre ve Sergisi Bildirileri, 50-61, Ankara, Türkiye, 2007.
- [13] TİRYAKİ, O., CANHİLAL, R., HORUZ, S., “Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(2), 154-169, 2010.
- [14] KARLIOĞLU A., “Türkiye’ de Uygulanan Tarımsal İlaç Politikalarının Çiftçi Gelirleri Üzerine Etkisi: Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Örneği”, Y.L. Tezi, Tarım Ekonomisi A.B.D., Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 2007.
- [15] BURÇAK A. İlaç, Alet ve Toksikoloji Araştırmaları Çalışma Grubu. http://www.tarim.gov.tr/TAGEM/Belgeler/SUNULAR/%C4%B0la%C3%A7%2c%20Alet%20ve%20Toksikoloji%20Ara%C5%9Ft%C4%B1rma%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1_Dr.%20A.Alev%20Bur%C3%A7ak.pdf/ (erişim tarihi 11.11.2014)
- [16] <https://www.csb.gov.tr/db/destek/eduardosya/EK1.pdf/> (erişim tarihi 28.08.2017)
- [17] BARCO-BONILLA, N., ROMERO-GONZÁLEZ, R., PLAZA-BOLAÑOS, P., MARTINEZ VIDAL, J.L., GARRIDO FRENICH, A., “Systematic Study of The Contamination of Wastewater Treatment Plant Effluents by Organic Priority Compounds in Almeria Province”, (SE Spain) Science of the Total Environment, 447, 381-389, 2013.
- [18] STASINAKISA, A.S., KOTSIFAB, S., GATIDOUA, G., MAMAIS, D., “Diuron Biodegradation in Activated Sludge Batch Reactors Under Aerobic and Anoxic Conditions”, Water Research 43, 1471–1479, 2009.
- [19] MORASCH, B., BONVIN, F., REISER, H., GRANDJEAN, D., DE ALENCASTRO, L.F., PERAZZOLO, C., “Occurrence and Fate of Micropollutants in The Vidy Bay of Lake Geneva, Switzerland. Partı: Micropollutant Removal Between Wastewater and Raw Drinking Water”, Environ Toxicol Chem, 29,1658-68, 2010.
- [20] BERNARD, M., MULLER, J., KNEPPER, T.P., “Biodegradation of Persistent Polar Pollutants in Wastewater: Comparison of An Optimised Lab-Scale Membrane Bioreactor and Activated Sludge Treatment”, Water Research, 40, 3419 - 3428, 2006.
- [21] KATSAYİANNİS, A., SAMARA, C., “Persistent Organic Pollutants (POPS) in the Conventional Activated Sludge Treatment Process: Fate and Mass Balance”, Environmental Research 97, 245-257, 2005.
- [22] GERRITY, D., GAMAGE, S., HOLADY, J.C., MAWHINNEY, D.B., QUIÑONES, O., TRENHOLM, R.A., “Pilot-Scale Evaluation of Ozone and Biological Activated Carbon For Trace Organic Contaminant Mitigation and Disinfection”, Water Research, 45, 2155-65, 2011.
- [23] DE LA CRUZ, N., GIMÉNEZ, J., ESPLUGAS, S., GRANDJEAN, DE ALENCASTRO, L.F., PULGARIN, C., “Degradation of 32 Emergent Contaminants by UV and Neutral Photo-Fenton in Domestic Wastewater Effluent Previously Treated by Activated Sludge”. Water Research,, 46, 1947-57, 2012.
- [24] PELIZZETTI, E., MAURINO, V., MINERO, C., CARLIN, V., PRAMAURO, E., ZERBINATI, O., TOSATO, ML., “Photocatalytic Degradation of Atrazine and Other s-Triazine Herbicides”, Environ. Science Technology, 24, 1559-1565, 1990.

ALICI ORTAMI GÖL OLAN FARKLI ARITIM PROSESLERİNİN PESTİSİT GİDERİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

- [25] YANGALI-QUINTANILLA, V., MAENG, S.K., FUJIOKA, T., KENNEDY, M., LI, Z., AMY, G., “Nanofiltration vs. Reverse Osmosis for the Removal of Emerging Organic Contaminants in Water Reuse”. *Desalination Water Treatment*, 34, 50-56, 2011.
- [26] TADKAEW, N., HAI, F.I., MCDONALD, J.A., KHAN, S.J., NGHIEM, L.D., “Removal of Trace Organics by MBR Treatment: The Role of Molecular Properties”, *Water Research*, 45, 2439-2451, 2011.
- [27] TRILLAS, M., PERAL, J., DOMENECH, X., “Redox Photodegradation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid Over TiO_2 ”, *Appl Catal B: Environ*, 5, 377-387, 1995.
- [28] SEZER, K., AKSU, Z., “Şeker Pancarı Küspesinden Elde Edilen Aktif Karbonun Atık Sulardaki 2,4-D ve Metribuzin Pestisitlerinin Adsorpsiyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Bitki Koruma Bülteni*, 53(1),57-64, 2013.
- [29] FONTMORIN, J.M., FOURCADE, F., GENESTE, F., FLONER, D., HUGUET, S., AMRANE, A., “Combined Process for 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid Treatment-Coupling of an Electrochemical System with a Biological Treatment”, *Biochemical Engineering Journal*, Elsevier, 70, 17-22, 2013.
- [30] GHOSDASTIDAR, A.J., TONG, A.Z., “Treatment of 2,4-D, Mecoprop and Dicamba Using Membran Bioreactor Technology”, *Environmental Science and Pollution Research International*, 20(8), 5188-5197, 2013.
- [31] KALİPCİ, E., ÖZDEMİR, C., “Investigation of The Ecotoxicologic Effect of Pesticide Industry Wastewater on The Pancreas And Liver of Rats”, *African Journal of Biotechnology*, 10(12), 2290-2294, 2011.
- [32] <http://www.sierraclub.ca/national/programs/health-environment/pesticides/2-4-d.html> (erişim tarihi 20.01.2018)
- [33] LÜLE, G. M., “Investigation of Adsorption of Pesticides by Organo-Zeolite From Wastewater”, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği / Cevher Hazırlama, Ankara, Türkiye, 2011.
- [34] ŠIMKOVIČ, K., DERCO, J., DUDÁŠ J., URMĚNSKÁ B., “Removal of Selected Organochlorine Compounds by Ozone-Based Processes”, *Chem.Biochem. Eng. Q.*, 31(2),161-165, 2017.
- [35] BARBUSIŃSKĪ, K., FĪLĪPEK, K., “Use of Fentons Reagent for Removal of Pesticides from Industrial Wastewater”, *Polish Journal of Environmental Studies*, 10/4, 207-212, 2001.
- [36] XU, Y., ZHOU, Y., WANG, D., CHEN, S., LĪU, J., WANG, Z., “Occurrence and Removal of Organic Micropollutants in the Treatment of Landfill Leachate by Combined Anaerobic-Membrane Bioreactor Technology”, *Journal of Environmental Sciences*, 20,1281-1287, 2008.
- [37] ORMOD, M.P., MĪGUEL, N., LANAO, M., MOSTEO, R., OVELLERĪO J.L., “Effect of Application Ozone and Ozone Combined With Hydrogen Peroxide and Titanium Dioxide in the Removal of Pesticides From Water”, *Ozone: Science & Engineering*, 32,25-32, 2010.
- [38] <http://extoxnet.orst.edu/> (erişim tarihi 19.08.2017)
- [39] AKAL, SOLMAZ, S.K., AZAK, H., ÜSTÜN, G.E., MORSÜN BÜL, T., “Pestisit Gideriminde Fenton Proseslerinin Kullanımına Yönelik Bir Envanter Çalışması”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1), 179-194, 2010.
- [40] LĪ, X., ZHANG, Q., DAĪ, J., GAN, Y., ZHOU, J., YANG, X., CAO, H., JĪANG, G., XU, M., “Pesticide Contamination Profiles of Water, Sediment and Aquatic Organisms in The Effluent of Gaobeidian Wastewater Treatment Plant”, *Chemosphere*, 72, 1145 - 1151, 2008.
- [41] OĞUZ, A. R., KANKAYA, E., “Determination of Selected Endocrine Disrupting Chemicals in Lake Van, Turkey”, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology New York: Springer*, 91 (3), 283-286, 2013.
- [42] SHINGGU, D.Y., MAITERA, O.N., BARMINAS, J.T., “Determination of Organochlorine Pesticides Residue in Fish, Water and Sediment in Lake Geriyo Adamawa State Nigeria”, *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry* 8(4), 212-220, 2015.
- [43] 29.06.2012 tarih ve 28338 sayılı Resmi Gazete, “İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik”, EK-1, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Türkiye, 2012.