



Kesikköprü baraj gölü havzası yayılı kirlilik kaynaklarının ve kirlilik yüklerinin tahmini

Estimating of non-point pollution sources and pollution loads in Kesikköprü reservoir basin

Kağan Cebe^{1,*} , Olcay Gülçiçek Uysal² 

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

² Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

Öz

Bu çalışmanın amacı Kesikköprü baraj gölü havzasında yayılı kirlilik kaynaklarının belirlenmesi ve yayılı kaynaklardan yüzey akışları ile rezervuara taşınan kirlilik miktarının tahmin edilmesidir. Kesikköprü baraj gölündeki su kalitesi, çevresindeki havzadaki yayılı kirlilik kaynaklarından gelen yüklerden olumsuz etkilenmektedir. Bu kaynaklar, arazi kullanım uygulamaları (tarım alanları, kentsel alanlar, çayırlar, meralar ve doğal bitki örtüsü alanları), tarımsal faaliyetler için gübre kullanımı, hayvancılık faaliyetleri, bireysel sızdırmalı fosseptikler ve atmosferik birikimlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yayılı kaynaklardan göle ulaşan kirliliği tahmin etmek için Kesikköprü baraj gölünün mevcut havza sınırları içerisindeki alt havzaların sınırları sayısal yükseklik haritaları kullanılarak oluşturulmuştur. Alt havzalardaki yayılı kaynaklardan gelen toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) kirlilik yükleri 2022 yılı için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların alansal dağılımları ArcGIS 10.8 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı kullanılarak oluşturulan dijital haritalar halinde sunulmuştur. Yayılı kirlilik yüklerinin, alt havzalar içerisinde en büyük alana sahip olan ve antropojenik faaliyetlerin yoğun olarak yürütüldüğü KAH-10 ve KAH-2 alt havzalarında diğer alt havzalara kıyasla daha fazla miktarda oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Su kalitesi, Kirlilik, Yayılı kirlilik Kaynakları, Havza, CBS,

1 Giriş

Göl suyu kalitesini değerlendirmede havzaların rolü oldukça önemlidir. Aşırı besin girdileri göllerde ötrofikasyona neden olarak su kalitesinin ve ekolojik bütünlüğün bozulmasına sebep olabilmektedir. Göl suyu kalitesi değerlendirmede fosfor ve azot konsantrasyonları sınırlayıcı element olarak değerlendirilir [1].

Birçok kirliletiçi türü kentsel, endüstriyel ve tarımsal alanlardan yüzey sularına girmektedir. Tarıma elverişli alanların kullanılması nedeniyle, tarımsal faaliyetler besinlerin ve zararlı kimyasalların ana sağlayıcısıdır [2]. Bu da göl suyu kalitesinin hızla bozulmasına neden olmaktadır. Antropojenik kaynaklardan kaynaklanan kirlilik miktarı

Abstract

The purpose of this study is to determine non-point pollution sources in the Kesikköprü Reservoir basin as well as to estimate the amount of pollution carried into the reservoir by surface flows from non-point sources. Water quality at the Kesikköprü reservoir has been negatively affected by nutrients from non-point pollution sources in the surrounding basin. These sources are identified as actions caused by land use practices (agricultural areas, urban zones, meadows, pastures, and natural vegetation areas), fertilizer use for agricultural activities, livestock activities, leaks from individual septic tanks, and atmospheric deposition in the basin. To estimate the pollution from non-point sources, sub-basin boundaries were established by using digital elevation maps within the existing basin boundaries of Kesikköprü Reservoir. The pollution loads namely, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) from non-point sources in sub-basins are calculated for the year of 2022. The areal distributions of the obtained results are presented as digital maps generated by using ArcGIS 10.8, a Geographic Information System (GIS) software. Non-point pollution loads have been found to occur to a greater extent in the KAH-10 and KAH-2 sub-basins, which have the largest areas among the sub-basins and have a high intensity of anthropogenic activities, in comparison to other sub-basins.

Keywords: Water quality, Pollution, Non-point pollution sources, Basin, GIS

dünyanın bazı bölgelerinde artmakta ve yüzey sularındaki doğal azot ve fosfor yüklerini büyük ölçüde aşmaktadır [3].

Araştırmacılar geleneksel olarak göl içi süreçlerin çalışmasına odaklanmışlardır ancak besin kirliliğinin başarılı bir şekilde önlenmesi, gölleri ve havzalarını birbirine bağlayan bağlantıların doğasına bağlıdır [4]. Son yıllarda nehirlerin ve göllerin su kalitesi üzerindeki havza etkisine ilgi olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır [5,6,7].

Antropojenik kirliliğe sebep olan kirliletiçi kaynaklarının çoğu yayılı kirlilik kaynakları sınıfına girmektedir. Yayılı kirlilik kaynakları ise belirli ve tek bir kaynağı olmayan, yayılmış durumdaki atıklardan kaynaklanan kirliletiçiler olarak değerlendirilmektedir. Yoğun yerleşim yerlerinin ya

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: kagan.cebe@omu.edu.tr (K. Cebe)

Geliş / Received: 05.09.2023 Kabul / Accepted: 04.12.2023 Yayınlanma / Published: 15.01.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1355285

da endüstriyel alanların olmadığı bölgelerde su kütleleri etkileyen kirleticilerin büyük çoğunluğu arazi kullanımı, tarım ve hayvancılık gibi yayılı kaynaklardan su kütesine ulaşan kirleticilerdir.

Bu çalışmada, Ankara ve Kırşehir il sınırında yer alan Kesikköprü baraj gölünün su kalitesini etkileyebilecek bölge yayılı kirlilik kaynakları ortaya konulmuş ve göl suyu kalitesinde belirleyici parametre olan fosfor ve azot için mevcut kirlilik yükleri hesaplanmıştır. Bölgede yerleşim birimlerinin seyrek ve düşük nüfuslu olması ve göle herhangi bir noktasal kaynaktan boşaltım yapılmaması sebebiyle noktasal kaynaklar bu çalışma dışında tutulmuştur. Hesaplanan yüklerin alansal dağılımını gösteren tematik haritalar bir CBS programı olan ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

1966 yılında enerji üretimi ve sulama amaçlı inşa edilen Kesikköprü Barajı, 2014 yılından itibaren Ankara'ya içme suyu sağlamaktadır ve artan su talebi nedeniyle gelecekte de içme suyu temininde kullanılması planlanmaktadır. Bu nedenle baraj gölünü besleyen havzadaki kirlilik kaynaklarının araştırılması ve tespit edilen kirlilik kaynaklarından göle taşınan yüklerin azaltılması için gerekli tedbirlerin alınması önemlidir. Daha önce baraj gölünün su kalitesi durumunu izlemek ve tespit etmek için bazı çalışmalar yapılmıştır, ancak gölün su kalitesini etkileyen kirlilik kaynaklarında ortaya çıkan kirletici miktarlarının tahmini amacıyla herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Çalışma alanı ve alt havzaların belirlenmesi

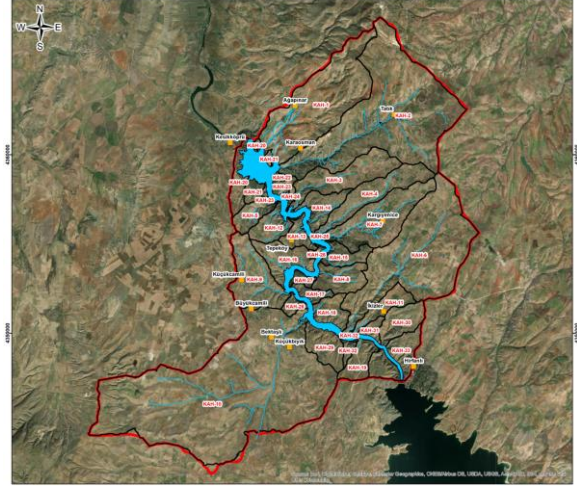
İç Anadolu Bölgesi'nin doğusunda yer alan Kızılırmak havzası, Türkiye'nin ikinci en büyük havzasıdır. 1151 km²'lik uzunluğu ile Türkiye akarsularının en uzununu olan Kızılırmak, 82181 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir [8].

Kızılırmak nehri üzerinde kurulu 11 barajdan biri olan Kesikköprü Barajı, Ankara'nın güney doğusunda bulunmakta olup, Ankara iline 120 km uzaklıktadır.

Başlangıçta yalnızca enerji üretmek amacıyla planlanan baraja, sonradan sulama suyu da eklenmiştir. 1995 tarihli Ankara Su Temin Projesi Master Planı'nda Ankara ilinin gelecekteki içme-kullanma suyu ihtiyacının Kızılırmak üzerinde bulunan Kapulukaya Barajı'ndan karşılanması önerilmiş ancak barajdaki kirlilik nedeniyle, 2000 yılında içme suyunun Kesikköprü Barajı'ndan alınması kararlaştırılmış ve 2014 yılından itibaren baraj gölünden içme suyu temini gerçekleştirilmektedir. Mevcut durumda baraj, enerji üretimi, sulama suyu ve içme suyu temini amacıyla işletilmektedir.

Kesikköprü baraj gölü havzası, 82181 km²'lik yağış alanına sahip Kızılırmak Havzası sınırlarında yer alan ve bu havzanın en batısında bulunan 22264.5 km²'lik yağış alanına sahip Orta Kızılırmak alt havzası sınırları içerisinde yer almaktadır. Kesikköprü baraj gölü havzasının yer aldığı çalışma alanı toplam 252 km²'dir. Çalışma alanının 104.92 km²'lik kısmı Ankara il sınırları içerisinde, Bala ve Şereflikoçhisar ilçelerinde, 138.84 km²'lik kısmı ise Kırşehir il sınırları içerisindeki Kaman ilçesinde, 8.66 km²'lik kısmı ise Kırıkkale il sınırları içerisindeki Çelebi ilçe sınırı içerisinde kalmaktadır.

Havzada su kalitesini etkileyen, yayılı kirletici kaynaklı baskıların, etkilerini ve risklerini belirleyip değerlendirmek için baraj gölü havzası, bölgenin topografik yapısına bağlı olarak alt havzalara bölünmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Kesikköprü baraj gölü alt havzaları

Alt havza sınırlarının oluşturulmasında 1/25000 ölçekli topoğrafik haritada bulunan, Kesikköprü baraj gölü havza sınırlarındaki akarsu kolları temel alınmıştır. Sürekli ve mevsimsel akan akarsu kolları ile baraj gölünü besleyen alt havzalar oluşturulmuştur. Alt havzaları oluşturmak için öncelikle; 1/25000 ölçekli topoğrafik haritada Kesikköprü Barajı havza sınırında yer alan sürekli ve mevsimsel akan, tüm akarsu kolları CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. ArcGIS 10.8 sürümünün alt aracı Arc/Hydrology kullanılarak, bu akarsu kollarını besleyen mikro alt havzalar oluşturulmuştur. Baraj gölünü besleyen akarsu kollarının beslenme alanları, membadan mansaba doğru sıralanarak birleştirilmiştir [9,10]. Oluşturulan alt havza sınırları, kısa kodlama ile adlandırılmıştır. Havzaların büyüklükleri ve alt havzada kalan yerleşim yerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Alt havza kodları ve alanları

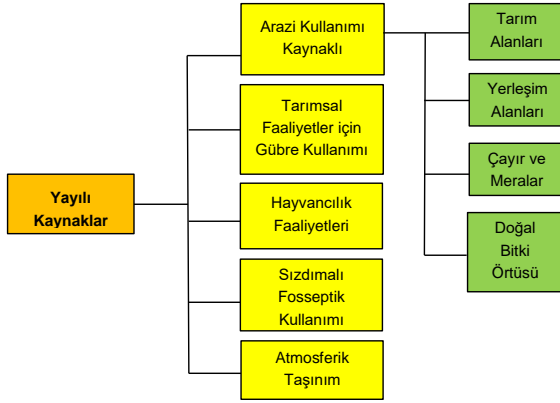
Alt havza kodu	Alt havzada kalan yerleşim yerleri	Alanı (ha)	Alt havza kodu	Alt havzada kalan yerleşim yerleri	Alanı (ha)
KH-1	Ağapınar (Karaosman)	2053	KH-17	-	132
KH-2	Büğüz, Tatık	3765	KH-18	-	280
KH-3	-	800	KH-19	-	297
KH-4	-	710	KH-20	-	271
KH-5	-	267	KH-21	-	147
KH-6	-	2782	KH-22	-	23
KH-7	Kargıyence	1084	KH-23	-	131
KH-8	-	419	KH-24	-	41
KH-9	Küçükcamili	838	KH-25	-	6
KH-10	Büyükcamili, Bektaşlı, Küçükbiyık İkizler	6527	KH-26	-	41
KH-11	-	295	KH-27	-	87
KH-12	-	310	KH-28	-	102
KH-13	-	208	KH-29	-	384
KH-14	-	337	KH-30	-	386
KH-15	Tepeköy	261	KH-31	-	104
KH-16	-	447	KH-32	-	84
			KH-33	-	519
			TOPLAM		24138

2.2 Yayılı kirletici kaynakların belirlenmesi

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda arazi kullanımı (tarım alanları, kentsel yerleşim, çayır-mera ve orman alanları), tarımsal faaliyetler için gübre kullanımı, hayvancılık faaliyetleri, sızdırmalı fosseptik ve atmosferik taşınım başlıca yayılı kirlilik kaynakları olarak kabul edilmiştir (Şekil 2).

2.2.1 Arazi kullanımı

Arazi kullanımından kaynaklanan yayılı kirlilik yüklerini hesaplamak için Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nden elde edilen arazi kullanımlarını gösteren Şimdiki Arazi Kullanım (SAK) verileri ile CORINE 2018 yılı (CORINE) alansal verileri karşılaştırılmıştır. SAK ve CORINE verilerine göre ayrı ayrı yapılan hesaplamalar sonucu tarım alanları arazi kullanımından kaynaklanan kirlilik yükleri için CORINE verileri kullanılarak yapılan hesaplamalarda daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada arazi kullanımı kaynaklı yayılı yükler için CORINE verilerine göre hesaplanan yayılı kirlilik yükleri kullanılmıştır.

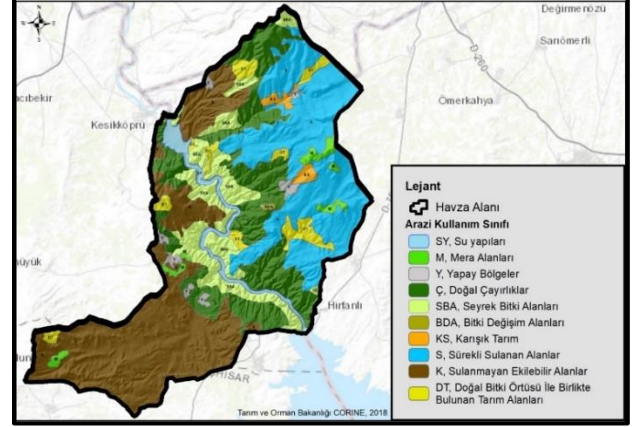


Şekil 2. Havzadaki yayılı kirlilik kaynakları

CORINE, Avrupa Çevre Ajansı kriterlerine göre, uydu görüntüleri kullanılarak çevre koruma amaçlı, çevrenin izlenmesine yönelik arazi örtüsü veya arazi kullanımındaki değişikliklerin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla tespit edilmesi amacıyla başlatılmış ve Türkiye dâhil 29 Avrupa ülkesinin üye olduğu bir projedir. CORINE, 44 sınıftaki arazi örtüsü envanterinden oluşmaktadır. Çalışmada, alansal kullanımlar için 25 ha minimum haritalama birimi ve doğrusal haritalandırma için minimum 100m genişlik kullanılmaktadır [11]. Kesikköprü Baraj Gölü Havzası CORINE 2018 Arazi Kullanım Haritası Şekil 3'te gösterilmektedir.

CORINE ana sınıflarından 2- Tarım Alanları başlığı altında bulunan tüm alanların toplamı, "Tarım Alanı" olarak, "2.3 Meralar ve 3.2 Maki ve Otsu Bitkiler" başlığı altındaki alt sınıfların alanları toplamı "Çayır ve Mera Alanı" olarak değerlendirilmiştir. CORINE ana sınıflarından 1-Yapay Bölgeler başlığı altında bulunan tüm alanların toplamı ise "Yerleşim Alanı" Kesikköprü Baraj Gölü Havzası içerisinde doğal bitki örtüsü "Orman" olarak değerlendirilebilecek alanlar, Hirfanlı Baraj gövdesinin doğusunda kalan ve

santral arazisi içerisinde sonradan ağaçlandırma yapılan arazi ve Kesikköprü Baraj gövdesinin batısında ve Kesikköprü Mahallesi'nin güneyinde kalan, sonradan ağaçlandırma yapılan araziler olarak sıralanabilir.



Şekil 3. Kesikköprü baraj gölü havzası CORINE 2018 arazi kullanım haritası

Ağaçlandırma yapılan iki arazide de Kızılçam (Pinus brutia) dikimi yapılmıştır. Her iki arazinin toplam alanı 111 ha olarak hesaplanmıştır. Bu oran, 25200 ha büyüklüğündeki havza sınırları içerisinde oldukça küçük bir alanı temsil etmektedir. CORINE 2018 verileri içerisinde bu dikim sahaları gösterilmemiştir. Bu nedenle bahsi geçen alanlar CORINE verilerinde tanımlandığı gibi değerlendirilmiştir. CORINE 2018 yılı verilerinde bölgenin doğal bitki örtüsünü (orman) tanımlayan Doğal Çayırıklar, Bitki Değişim Alanları ve Seyrek Bitki Alanları; Çayır (otlaklar) ve Mera Alanı olarak değerlendirilmiştir. Arazi kullanımı kaynaklı kirletici miktarı benzer çalışmalarda [12,13] kullanılan birim değerlere göre hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Arazi kullanımı kaynaklı kirlilik yükleri

Yayılı kaynak	Birim yük (kg/ha.yıl)	
	TN	TP
Yerleşim alanı	3.00	0.50
Tarım alanı	9.50	0.90
Çayır ve mera alanı	5.00	0.10

2.2.2 Tarımsal gübre kullanımı

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda yürütülen tarımsal faaliyetler, havzanın en önemli geçim kaynaklarından birisini oluşturmaktadır. Tarım alanlarında kullanılan gübreler toprağın yapısına, yetiştirilen bitkiye ve bölgenin iklimine bağlı olarak değişmektedir. Gübre kullanımından sonra kullanılan gübre ekilen bitkilerin bünyesine alınmakta ancak bir kısmı yağışlarla birlikte eriyerek süzülüp yeraltı suyuna karışabilmekte ya da yüzeysel akışla birlikte su kaynaklarına ulaşabilmektedir. Sızma ve yüzeysel akış sebebiyle oluşan bu kayıpların hesaplanmasında gübrede bulunan besin maddelerinin (azot ve fosfor) bitkilerin bünyesine alınma oranları önemlidir. Bünyeye alınma oranları da toprağın yapısına, yetiştirilen bitkiye ve bölgenin iklimine bağlı olarak değişmekle birlikte azot için %40-80, fosfor için %5-20 arasındadır. Sızma ve yüzeysel akış ile

oluşan kayıplar ise uygulanan gübrenin bünyesinde bulunan toplam azot miktarının %5-30'u, fosfor miktarının ise %0.5-5'i arasındadır [13,14,15].

2.2.3 Hayvancılık faaliyetleri

Kesikköprü Baraj Gölü Havza'sında büyük ölçekli hayvancılık işletmeleri bulunmamaktadır. Genellikle bölgede yaşayan bireylerin kendi ahır ve kümeslerinde besledikleri hayvanlar, bölgedeki hayvancılık faaliyetlerini oluşturmaktadır. Baraj Gölü Havzası içerisindeki yerleşim yerlerinde bulunan büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvan sayıları İlçe Tarım ve Orman Müdürlükleri'nden elde edilmiştir. Hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan yayılı yüklerin hesaplanmasında literatürden elde edilen birim kirlilik yükleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalama besi hayvanı ağırlıkları kümes hayvanları için 2kg, küçükbaş hayvanlar için 45kg ve büyükbaş hayvanlar için 500kg alınmıştır. Hayvancılık faaliyetlerinde yüzeysel sulara karışan kirlilik oranları azot parametresi için %10, fosfor parametresi için %2.5 olarak alınmıştır [12,13,16,17].

2.2.4 Sızdırmalı fosseptik kullanımı

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası içerisinde bulunan yerleşim yerlerinden Kesikköprü Mahallesi'nin atık suları Kesikköprü Paket Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılmaktadır. Bunun dışında kalan (İkizler köyü hariç) yerleşim yerlerinin tamamında merkezi fosseptik yapısı bulunmaktadır. Ancak İkizler köyünde merkezi fosseptik sistemi bulunmamaktadır ve evsel atıksular sadece ferdi fosseptikler ile bertaraf edilmektedir. Bu nedenle sadece İkizler köyündeki ferdi fosseptikler yayılı kirlilik kaynakları olarak değerlendirilmiştir. 20.03.2010 tarihli Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne [18] göre nüfusa bağlı atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Nüfusa bağlı atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi [18]

Nüfus Aralığı	Atısu (L/kişi-gün)	KOİ (g/kişi-gün)	BOİ (g/kişi-gün)	AKM (g/kişi-gün)	TN (g/kişi-gün)	TP (g/kişi-gün)
2000-10000	80	55	40	35	5	0.9

2.2.5 Atmosferik taşınım

Atmosferik taşınım ile su kütlelerinin kirlenmesi durumu daha çok fosil kökenli yakıt kullanımı, endüstriyel faaliyetler, yoğun yerleşim bölgelerinde kullanılan odun, kömür vb. yakıtların oluşturduğu kirli hava ortamında gerçekleşmektedir. Bahsi geçen kirleticiler kükürtoksit, azotoksit, karbonmonoksitler ve ağır metal ve organik karbon bileşiklerini içeren partiküller maddeler olarak atmosfere bırakılır. Bu kirleticiler, yağışlarla yıkanarak yüzeysel suların bünyelerinde büyük su kütlelerine taşınırlar ve su kaynaklarının kirlenmesine sebep olurlar. Atmosferik taşınımından kaynaklı yayılı yükler, Bolu şehir merkezine 35 km ve Gerede'ye 15 km mesafede bulunan Yeniçağa gölünü inceleyen TÜBİTAK Projesi'nde [19] yapılan araştırma sonucu elde edilen birim yük değerleri kullanılarak (Tablo 4) hesaplanmış ve bölgede yoğun bir yerleşim ve endüstriyel bölge bulunmadığı için taşınımından kaynaklı yayılı birim

yüklerin toplam havza alanında en fazla %5 oranında etkili olacağı kabul edilmiştir.

Tablo 4. Atmosferik taşınım birim kirlilik yükleri [19]

Birim	Toplam Azot (TN)	Toplam Fosfor (TP)
mg/m ² .gün	1.22000	0.11200
t/km ² .yıl	0.44530	0.04088

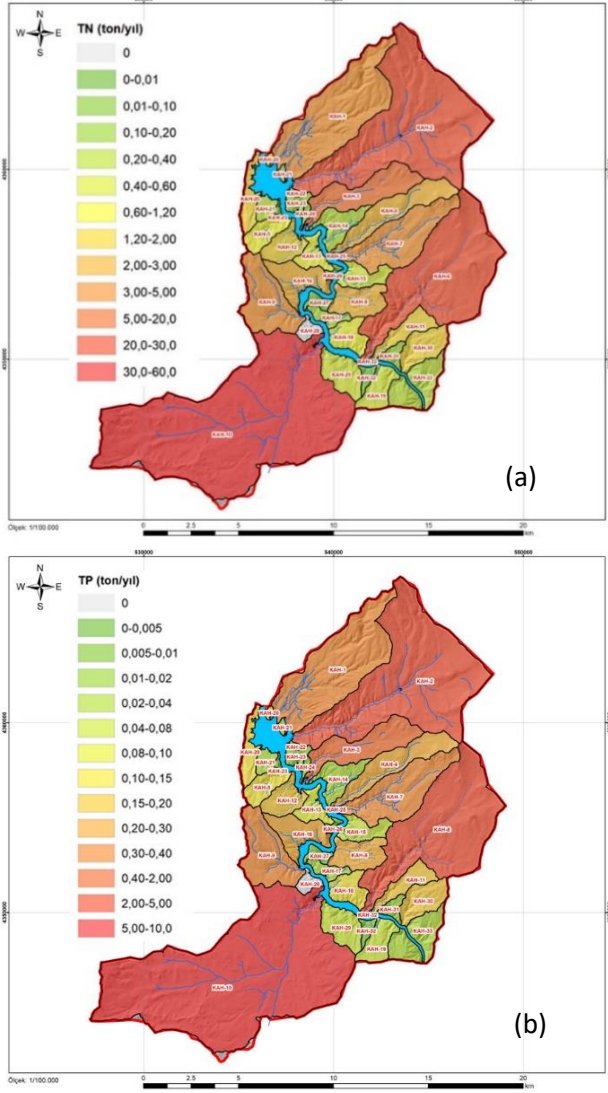
3 Bulgular ve tartışma

Çalışma alanı için belirlenen her bir yayılı kirletici yük çeşidinin, metotta açıklanan kabuller doğrultusunda, alt havza bazında kirletici yükleri hesaplanmıştır. Birim yüklere göre hesaplanan arazi kullanımından kaynaklanan yayılı kirlilik yükleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

CORINE 2018 verilerine göre hesaplanan arazi kullanımlarından kaynaklanan TN ve TP kirlilik yüklerinin alt havza bazlı gösterimi Şekil 4'te sunulmaktadır.

Tablo 5. Arazi kullanımı kaynaklı kirlilik yükleri

Alt havza	Toplam Azot (TN, t/yıl)			Toplam Fosfor (TP, t/yıl)		
	Yerleşim alanı	Tarım alanı	Çayır/Mera alanı	Yerleşim alanı	Tarım alanı	Çayır/Mera alanı
KAH-1	0.074	5.908	7.064	0.012	0.560	0.141
KAH-2	0.252	15.002	10.555	0.042	1.421	0.211
KAH-3	0.023	5.973	0.818	0.004	0.566	0.016
KAH-4	0.039	2.944	1.936	0.007	0.279	0.039
KAH-5	0.014	0.969	0.804	0.002	0.092	0.016
KAH-6	0.044	17.258	4.777	0.007	1.635	0.096
KAH-7	0.132	3.917	3.138	0.022	0.371	0.063
KAH-8	-	1.275	1.424	-	0.121	0.028
KAH-9	0.091	3.634	2.131	0.015	0.344	0.043
KAH-10	0.112	44.903	8.935	0.019	4.254	0.179
KAH-11	0.039	1157	0.804	0.007	0.110	0.016
KAH-12	0.011	2008	0.472	0.002	0.190	0.009
KAH-13	0.054	0.913	0.471	0.009	0.087	0.009
KAH-14	-	1.524	0.883	-	0.144	0.018
KAH-15	0.034	0.535	0.965	0.006	0.051	0.019
KAH-16	0.007	2.467	0.926	0.001	0.234	0.019
KAH-17	-	0.121	0.596	-	0.011	0.012
KAH-18	-	1.162	0.787	-	0.110	0.016
KAH-19	0.005	0.428	1.254	0.001	0.041	0.025
KAH-20	0.045	0.918	0.377	0.008	0.087	0.008
KAH-21	0.008	0.888	0.255	0.001	0.084	0.005
KAH-22	0.000	0.023	0.103	0.000	0.002	0.002
KAH-23	0.005	0.344	0.464	0.001	0.033	0.009
KAH-24	0.002	0.251	0.068	0.000	0.024	0.001
KAH-25	-	-	0.028	-	-	0.001
KAH-26	0.010	0.143	0.111	0.002	0.014	0.002
KAH-27	-	0.017	0.428	-	0.002	0.009
KAH-28	0.008	-	0.498	0.001	-	0.010
KAH-29	0.028	0.492	1.616	0.005	0.047	0.032
KAH-30	-	2.024	0.865	-	0.192	0.017
KAH-31	0.016	0.271	0.350	0.003	0.026	0.007
KAH-32	0.013	0.021	0.387	0.002	0.002	0.008
KAH-33	0.009	0.370	2.287	0.002	0.035	0.046
TOPL.	1.075	117.861	56.577	0.179	11.166	1.132



Şekil 4. Alt havzalarda arazi kullanımlarından kaynaklanan (a) TN ve (b) TP kirlilik yükü dağılımı.

Gübre kullanımından kaynaklanan yayılı yüklerin hesabında Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen 2021 yılı Bala ve Kaman ilçelerindeki gübre kullanım miktarları değerlendirilmiştir. Kullanılan gübrenin alt havzalardaki tüm tarım alanlarında eşit şekilde kullanıldığı kabul edilmiştir ve gübre türünün içeriğinde bulunan azot ve fosforun yüzeysel sulara sırasıyla %10 ve %2.5 oranında karıştığı kabul edilmiştir. Gübre kullanımından kaynaklanan kirlilik yükleri Tablo 6'de gösterilmektedir.

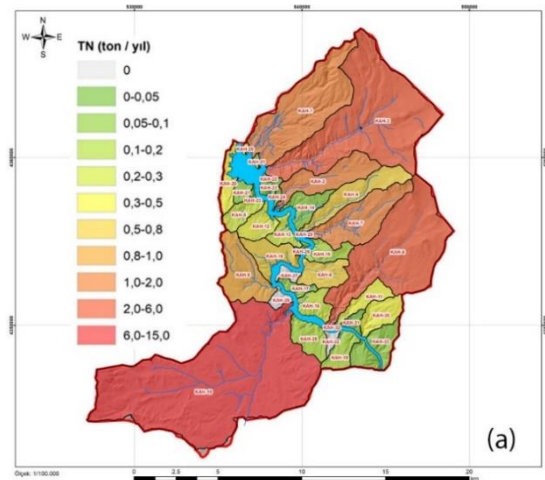
Tablo 6 incelendiğinde tarım arazilerinin en yoğun olarak bulunduğu KAH-10 alt havzasında gübre kullanım miktarının diğer alt havzalardan daha fazla çıktığı görülmektedir. Kullanılan gübre miktarının fazla olmasından dolayı suya karışan TN ve TP oranları da en fazla bu alt havzada ortaya çıkmaktadır.

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda 2021 yılı gübre kullanım miktarlarına göre hesaplanan gübre kullanımından kaynaklı TN kirlilik yükleri Şekil 5'te TP yükleri ise alt havza bazlı olarak Şekil 6'de gösterilmektedir.

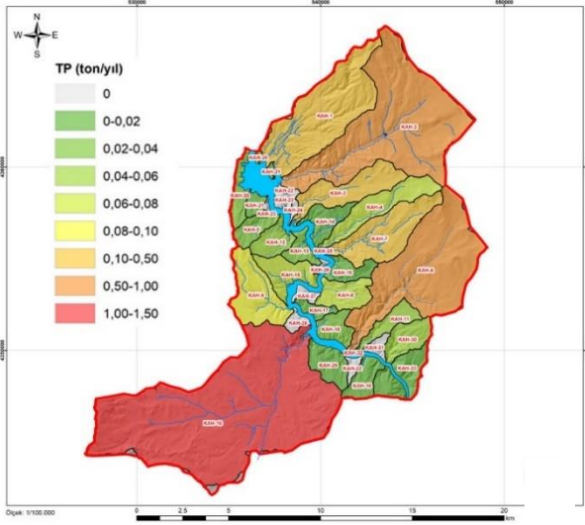
İki şekilde de koyu renkle gösterilen bölgenin doğu ve batısında kalan, tarım alanlarının yoğun olduğu büyük alt havzalarda, sarı ya da yeşil renk ile gösterilen ve tarım arazilerinin daha seyrek olduğu diğer alt havzalardan daha fazla miktarda gübre kaynaklı TN ve TP yüklerinin baraj gölüne deşarj edildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 6. Gübre kullanımı kaynaklı kirlilik yükleri

Alt havza	Tarım alanı (ha)	Kul. top. azot (TN) (t/yıl)	Kul. top. fosfor (TP) (t/yıl)	Suya kar. TN (t/yıl)	Suya kar. TP (t/yıl)
KAH-1	444.98	10.67	4.37	1.07	0.11
KAH-2	2527.01	60.60	24.82	6.06	0.62
KAH-3	618.52	14.83	6.08	1.48	0.15
KAH-4	273.02	6.55	2.68	0.65	0.07
KAH-5	117.67	2.82	1.16	0.28	0.03
KAH-6	2330.01	55.88	22.89	5.59	0.57
KAH-7	432.97	10.38	4.25	1.04	0.11
KAH-8	235.06	5.64	2.31	0.56	0.06
KAH-9	353.51	8.48	3.47	0.85	0.09
KAH-10	5840.06	140.06	57.37	14.01	1.43
KAH-11	172.20	4.13	1.69	0.41	0.04
KAH-12	196.16	4.70	1.93	0.47	0.05
KAH-13	96.97	2.33	0.95	0.23	0.02
KAH-14	38.57	0.93	0.38	0.09	0.01
KAH-15	44.13	1.06	0.43	0.11	0.01
KAH-16	250.19	6.00	2.46	0.60	0.06
KAH-17	41.78	1.00	0.41	0.10	0.01
KAH-18	116.96	2.81	1.15	0.28	0.03
KAH-19	44.44	1.07	0.44	0.11	0.01
KAH-20	127.46	3.06	1.25	0.31	0.03
KAH-21	26.16	0.63	0.26	0.06	0.01
KAH-22	5.56	0.13	0.05	0.01	0.00
KAH-23	12.30	0.29	0.12	0.03	0.00
KAH-24	13.31	0.32	0.13	0.03	0.00
KAH-26	5.69	0.14	0.06	0.01	0.00
KAH-27	1.10	0.03	0.01	0.00	0.00
KAH-29	44.14	1.06	0.43	0.11	0.01
KAH-30	203.36	4.88	2.00	0.49	0.05
KAH-31	19.59	0.47	0.19	0.05	0.00
KAH-32	0.57	0.01	0.01	0.00	0.00
KAH-33	27.71	0.66	0.27	0.07	0.01
Toplam	14661.16	351.61	144.02	35.16	3.60



Şekil 5. Alt havzalarda gübre kullanımlarından kaynaklanan TN kirlilik yükü dağılımı.

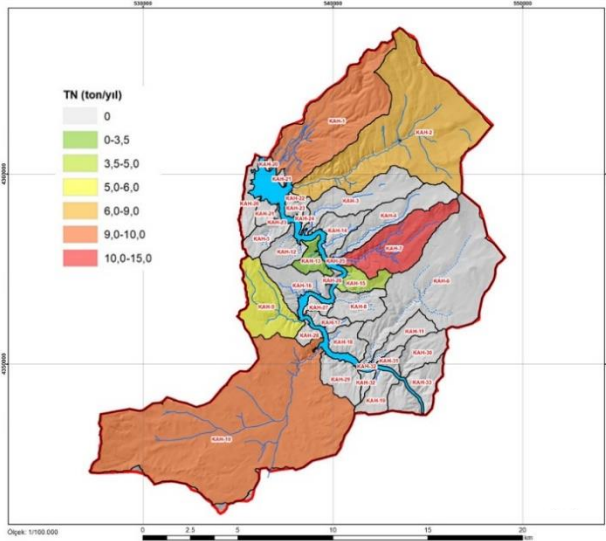


Şekil 6. Alt havzalarda gübre kullanımlarından kaynaklanan TP kirlilik yükü dağılımı.

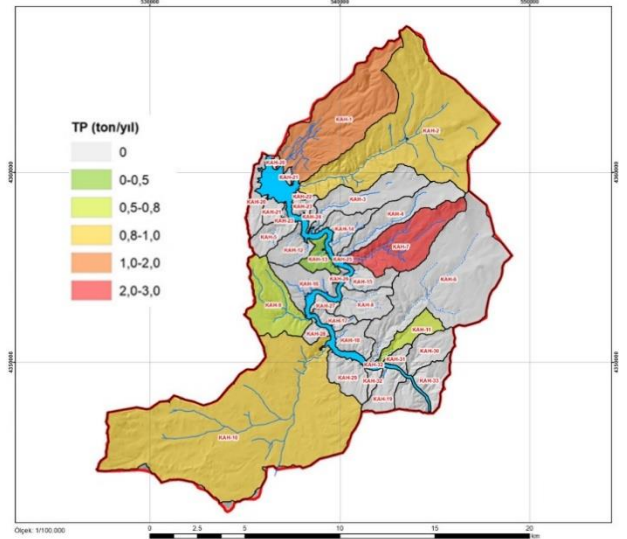
Kesikköprü Baraj Gölü alt havzalarında hesaplanan hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan yayılı kirlilik yükleri Tablo 7’de sunulmaktadır. Hesaplanan hayvansal faaliyetlerden kaynaklanan yayılı TN-kirlilik yükleri Şekil 7’de, TP kirlilik yükleri ise Şekil 8’de sunulmaktadır.

Tablo 7. Hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan yayılı kirlilik yükleri

Alt havza	Yerleşim adı	TN yükü (t/yıl)	TP yükü (t/yıl)
KAH-1	Ağapınar, Karaosman	9.43	1.28
KAH-2	Tatık, Büğüz	6.42	0.84
KAH-7	Kargıyenice	14.60	2.31
KAH-9	Küçükcamili	5.21	0.50
KAH-10	Büyükcamili, Bektaşlı, Küçükbiyık	9.44	0.89
KAH-11	İkizler	3.78	0.54
KAH-13	Tepeköy	3.59	0.27



Şekil 7. Alt havzalarda hayvancılıktan kaynaklanan TN kirlilik yükü dağılımı.



Şekil 8. Alt havzalarda hayvancılıktan kaynaklanan TP kirlilik yükü dağılımı

Ferdi Fosseptiklerden kaynaklı kirlilik yükleri Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8. Ferdi fosseptiklerden kaynaklanan kirlilik yükleri

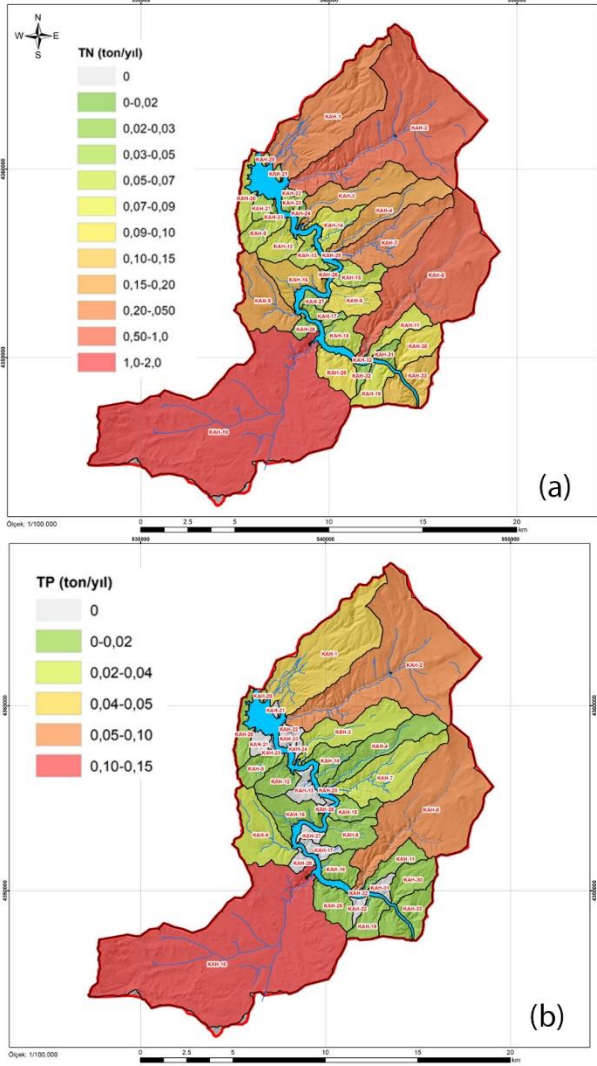
Köy nüfusu (2022)	Atıksu debisi (m ³ /yıl)	KOİ (t/yıl)	BOİ (t/yıl)	AKM (t/yıl)	TN (t/yıl)	TP (t/yıl)
75	3285.00	0.753	0.548	0.479	0.110	0.017

Birim kirlilik yükleri kullanılarak elde edilen baraj havzasındaki atmosferik taşınım kaynaklı kirlilik yükleri Tablo 9’da gösterilmektedir.

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası’nda hesaplanan atmosferik taşınım kaynaklı TN-TP kirlilik yükleri alt havzalara göre Şekil 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. Kesikköprü baraj gölü havzası atmosferik taşınım kaynaklı kirlilik yükleri

Alt havza	Toplam Azot (TN) (t/yıl)	Toplam Fosfor (TP) (t/yıl)	Alt havza	Toplam Azot (TN) (t/yıl)	Toplam Fosfor (TP) (t/yıl)
KAH-1	0.46	0.04	KAH-18	0.06	0.01
KAH-2	0.84	0.08	KAH-19	0.07	0.01
KAH-3	0.18	0.02	KAH-20	0.06	0.01
KAH-4	0.16	0.01	KAH-21	0.03	0.00
KAH-5	0.06	0.01	KAH-22	0.01	0.00
KAH-6	0.62	0.06	KAH-23	0.03	0.00
KAH-7	0.24	0.02	KAH-24	0.01	0.00
KAH-8	0.09	0.01	KAH-25	0.00	0.00
KAH-9	0.19	0.02	KAH-26	0.01	0.00
KAH-10	1.46	0.13	KAH-27	0.02	0.00
KAH-11	0.07	0.01	KAH-28	0.02	0.00
KAH-12	0.07	0.01	KAH-29	0.09	0.01
KAH-13	0.05	0.00	KAH-30	0.09	0.01
KAH-14	0.08	0.01	KAH-31	0.02	0.00
KAH-15	0.06	0.01	KAH-32	0.02	0.00
KAH-16	0.10	0.01	KAH-33	0.12	0.01
KAH-17	0.03	0.00	TOPLAM	5.39	0.49



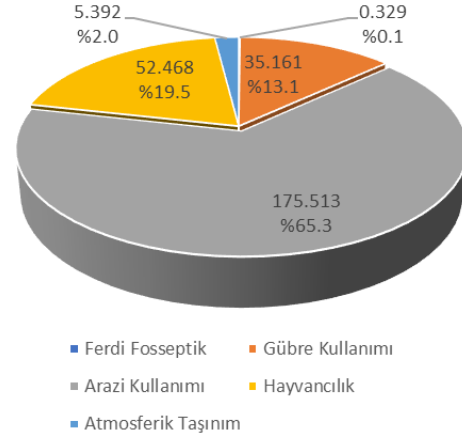
Şekil 9. Alt havzalarda atmosferik taşınımından kaynaklanan (a) TN ve (b) TP kirlilik yükü dağılımı

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda yayılı kirlilik yükü kaynakları dikkate alınarak, alıcı ortama ulaşan toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) yükleri üzerinden değerlendirilmiştir. Belirlenen yayılı kirlilik kaynaklarından hesaplanan TN ve TP yükleri ve yüzdesel dağılımı Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

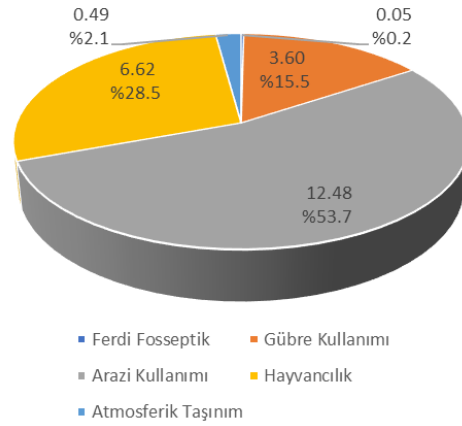
Yayılı kirlilik yükü kaynaklarının tespiti ve değerlendirmesi amacıyla yapılan bu çalışma sonucunda Kesikköprü Baraj Gölüne yüzeysel sular ile ulaşan toplam azot ve toplam fosfor yüklerinin baskın olarak arazi kullanımından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Tarımsal gübre kullanımı, hayvancılık faaliyetleri ve sızan fosseptik sularının ise baraj gölünü kirleten diğer yayılı kirlilik yükleri arasında yer aldığı ortaya konulmuştur. Çalışılan alanlarda kentsel atıksu arıtma tesislerinin varlığında toplam fosfor yükünün azaldığı gözlenmiştir [13,20,21,22].

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda yürütülen tarımsal faaliyetler, havzanın en önemli geçim kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Gübreleme faaliyetleri ve tarımsal arazi kullanımı verileri birlikte değerlendirildiğinde, tarımsal faaliyetlerinin diğer kaynaklar arasında birincil yayılı

kirletici kaynak olduğu ortaya konulmuştur. Alanda yayılı kirlilik kaynağı sınıfına giren fosseptik kullanımı ise sadece düşük nüfusa sahip bir yerleşim alanında bulunsa da ilerleyen zamanda nüfus artışı göz önüne alınarak tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 10. 2022 yılı toplam TN kirlilik yükü (ton) ve yüzdesel dağılımı



Şekil 11. 2022 yılı TP kirlilik yükü (ton) ve yüzdesel dağılımı

Bölgedeki hayvancılık faaliyetlerinden gelen kirlilik yükleri, yayılı kirletici kaynakları arasında 2. sırada olduğu tespit edilmiş olup, bu durum literatürde benzer çalışmalar ile paraleldir

Tüm kirlilik yükü dağılım haritaları incelendiğinde, çalışma alanını ikiye ayıran Kızılırmak Nehri'nin karşılıklı iki yakasında bulunan ve alt havzalar içerisinde en büyük alana ve antropojenik faaliyetlerin yoğun olarak yürütüldüğü KAH-10 ve KAH-2 alt havzalarında yayılı kirlilik yüklerinin diğer alt havzalara kıyasla daha fazla miktarda olduğu ortaya çıkmaktadır.

4 Sonuçlar

Yayılı kirlilik kaynaklarından gelen yüklerin tamamen ortadan kalkması mümkün olmamakla birlikte, çalışma alanının su kalitesinin ve doğal yapısının korunması için yayılı kirlilik kaynaklarından gelen yüklerin azaltılmasına yönelik tedbirlerin alınması elzemdir.

Arazi kullanımından kaynaklı yüklerin azaltılabilmesi amacıyla yerleşim yerlerinin, ticari ve endüstriyel bölgelerin havza alanı dışına doğru genişlemeleri desteklenmeli, havza alanı içerisinde doğal arazilerin korunması ve bu bölgelerin erozyonla mücadele kapsamında ağaçlandırılması, teraslama ve eğim düzenlemeleri yapılması uygun olacaktır. Benzer şekilde mera alanlarında da yüzeysel deşarj ile kirlilik yükü taşınımı ve erozyonu engellemek amacıyla teraslama ve eğim düzenlemeleri yapılması uygun olacaktır.

Tarım faaliyetlerin getirdiği yüklerinin azaltılmasına yönelik yapılacaklar arasında uygun sulama teknikleri, ürün seçimi, gübre uygulamalarının zaman, sıklık ve miktarının belirlenmesi çalışmaları sıralanabilir [23]. Bölgedeki çiftçiler gübreleme faaliyetleri konusunda bilinçlendirilmeli ve doğal gübre kullanımına özendirilmelidir.

Hayvancılık faaliyetlerinin getirdiği yüklerin azaltılmasına yönelik ise çiftliklerde hayvan atıklarının toplanıp, geçirimsiz zemin üzerinde depolanarak uygulamalarda kullanımına özendirilmelidir.

Evsel atıksuların çevreye vereceği zararı minimize edebilmek ve insan sağlığına kötü etkilerini bertaraf edebilmek için Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda kanalizasyon altyapısı bulunmayan tek yerleşim yeri olan İkiizler köyünün atıksularının da bir kanalizasyon şebekesi ile toplanıp, standartlara uygun şekilde kirlilik yükleri azaltılarak alıcı ortama deşarj edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Ankara Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlatılan "Kesikköprü Barajı Havza Koruma Planı ve Özel Hüküm Belirleme Projesi" kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %6

Kaynaklar

- [1] W. Sobolewski, Effect of agricultural land use on the water quality of Polish Lakes: A regional approach, Polish Journal of Environmental Studies, 25(6), 2705-2710, 2016. <https://doi.org/10.15244/pjoes/63654>.
- [2] E. Köse, C. Tokatli and A. Çiçek, Monitoring stream water quality: A statistical evaluation, Polish Journal of Environmental Studies, 23(5), 1637-1647, 2014.
- [3] V.H. Smith, Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. Environmental Science and Pollution Research 10, 126, 2003. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>.
- [4] R.C. Ferrier and A. Jenkins, The Catchment Management Concept. in: Handbook of Catchment Management, R. C. Ferrier and A. Jenkins. (Eds), Wiley-Blackwell, 560, pp.1-18, Oxford, 2009.
- [5] M. Matysik., D Absalon. and M Ruman, Surface water quality in relation to land cover in agricultural catchments (Liswarta River Basin Case Study), Polish Journal of Environmental Studies, 24(1), 175-184, 2015. <https://doi.org/10.15244/pjoes/26203>.
- [6] S. Yang, O. Büttner, R. Kumar, C. Jäger, J. W. Jawitz, P.S.C. Rao and D. Borchardt, Spatial patterns of water quality impairments from point source nutrient loads in Germany's largest national River Basin (Weser River), Science of the Total Environment, 697, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134145>.
- [7] J. Wang, J. Shao, D. Wang, J. Ni and D. Xie, Identification of the "source" and "sink" patterns influencing non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir Area, Journal of Geographical Sciences, 26, 1431-1448, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1336-6>.
- [8] Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu, T.C. Tarım, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016.
- [9] A.N. Strahler, Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography, GSA Bulletin (1952) 63 (11): 1117-1142, [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- [10] A.N. Strahler, Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. in: Handbook of Applied Hydrology, V.Chow (Ed), McGraw Hill, pp.439-476, New York, 1964.
- [11] E.Sertel, N. Musaoğlu, G. Alp, I. Yay Algan, Ş. Kaya, B. Yüksel ve A. Yılmaz, 1:25.000 Ölçekli Ulusal Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırma Sistemi ile HGK TOPOVT Veritabanının Karşılaştırılması, Harita Dergisi, 160, 34-46, 2018.
- [12] N Erdoğan, Doğu Karadeniz Havzası'nda kirlilik yüklerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya, Türkiye, 2017.
- [13] B.H. Gürsoy Haksevenler ve S. Ayaz, Noktasal ve yayılı kirletici kaynaklarının yüzeysel su kalitesi üzerinde etkisi, Alaşehir Çayı alt havzası örneği, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(4), 1258-1268, 2021. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.882693>.
- [14] O. Oenema and C.W.J. Roest, Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters; the effects of policies and measures in the Netherlands, Water Science and Technology, 37(2): 19-30, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00052-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00052-3).
- [15] D. Bottcher, and D. Rhue, Fertilizer management – key to sound water quality program, circular 816, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2000.
- [16] S. Tırınk, Iğdır ili ve ilçelerindeki hayvansal atıkların çevresel etkileri ve yayılı kirletici yükü hesabı. Black Sea Journal of Engineering and Science, 4(2), 43-50, 2021. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.841821>.
- [17] S. Hacısalıhoğlu, Hayvansal kaynaklı yayılı kirlilik yükleri hesabı, Bursa örneği, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 27(1), 361-373, 2022. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1059035>.
- [18] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Resmî Gazete, 27527, 20.03.2010. Erişim adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm>.

- [19] N. Karakaya, H. Cebel, S. Akgül, K. Güngör, F. Evrendilek, O. Başkan ve D. Karakaş, “Yeniçağa gölü'nün ötrofikasyonuna neden olan fosfor kaynaklarının ve kritik kaynak alanlarının kütle dengesi ve fosfor endeksi yöntemleriyle belirlenmesi”, Proje Raporu, 110Y204, TÜBİTAK, ÇAYDAG, 2014.
- [20] D. Özalp, Doğu Karadeniz Havzası'nda yayılı kirletici kaynakların belirlenmesi ve yönetim önerileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [21] B. Yontar, Aras Havzası'nda yayılı kirletici kaynakların belirlenmesi ve yönetim önerileri”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2009.
- [22] C. Ayyıldız, Estimation of diffuse pollution loads of pesticides in Tersakan Sub-Basin of Yeşilirmak River, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2019.
- [23] D. Öztürk, A. Tanık, D. Z. Şeker, K. Alp, M. Gürel, A. Ertürk, A. Ekdal, Ç. Tavşan ve Y. Zorlutuna, Su Kalitesi Nihai Fizibilite Raporu, Büyük İstanbul Su Temini Melen Sistemi II. Merhale Projesi Büyük Melen Havzası Entegre Koruma ve Su Yönetimi Master Planı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul. 2007.

