

# Bölüm 10

## TR21 Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Su Kaynakları ve Kalitesi Üzerine Etkileri

Nusret KARAKAYA<sup>1</sup>, Önder GÜLBAYAZ<sup>1</sup>, Kadir YILDIZ,  
Fatih KONUKCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bolu  
[karakaya\\_n@ibu.edu.tr](mailto:karakaya_n@ibu.edu.tr); [gulbeyaz\\_o@ibu.edu.tr](mailto:gulbeyaz_o@ibu.edu.tr)

<sup>2</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ  
[fkonukcu@nku.edu.tr](mailto:fkonukcu@nku.edu.tr)

### 1.Giriş

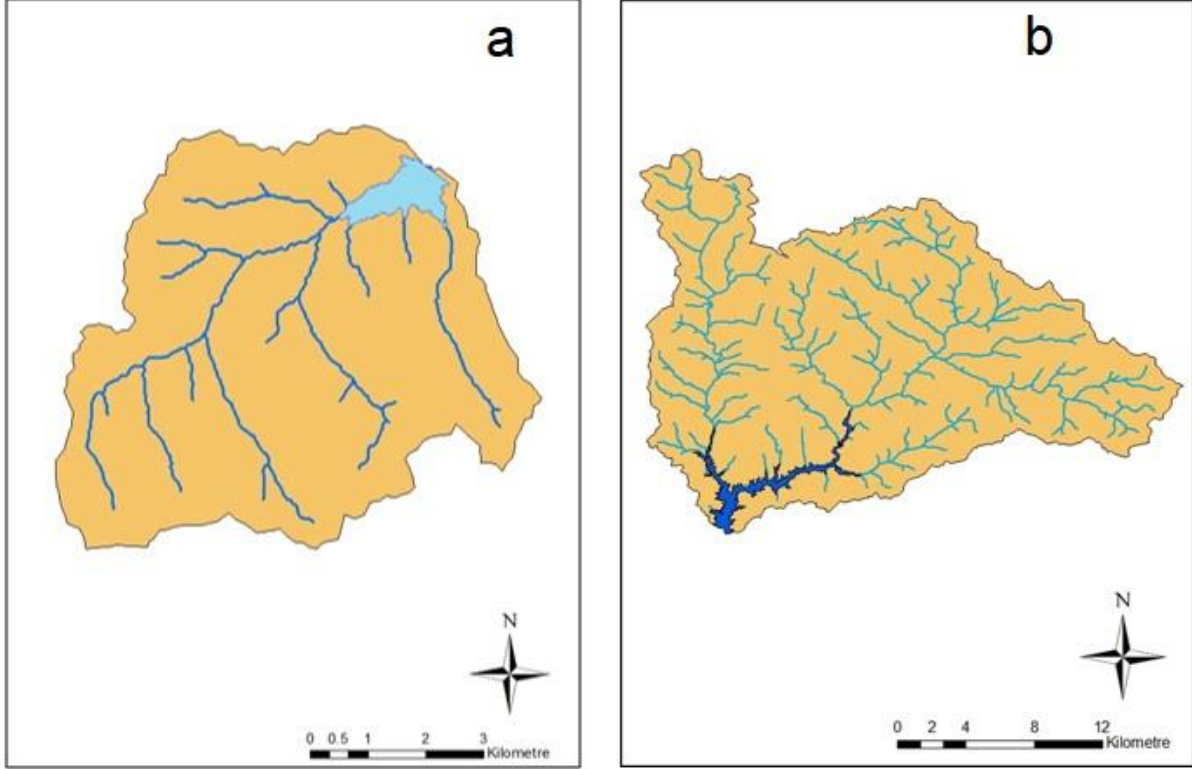
Nehir havzalarındaki insan faaliyetleri su kalitesi ve miktarını olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle içme suyu sağlanan nehir havzalarındaki bu faaliyetler sürdürülebilir su temini açısından bir tehlike oluşturmaktadır. Süreç temelli matematiksel modeller, su kalitesi ve miktarının zamansal ve mekânsal dağılımını anlamak, sürdürülebilir su yönetimi için karar verebilmek için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında; TR21 Trakya Bölgesi sınırları dahilinde seçilmiş, farklı özellikler taşıyan ve içme suyu temini amacıyla kullanılan iki adet baraj gölü ve havzasında (Kırklareli Barajı ve Naipköy Barajı) mevcut durumda su miktar ve kalitesi değerlendirilerek iklim değişikliği koşulları altında beklenen değişimler belirlenmiştir. Kırklareli ve Naipköy Baraj Gölleri havzalarında, havzalardaki mevcut faaliyetlerin su kalite ve miktarına olan etkisini değerlendirmek maksadı ile matematiksel modelleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla çalışmada MapShed ve ampirik su kalite modelleri kullanılmıştır. MapShed yazılımı ile havzada çeşitli arazi kullanım pratikleri sonucunda baraj gölüne taşınabilecek kirletici yüklerin belirlenebilmesi, ampirik modeller ile de bu yüklerin baraj su kalitesi üzerine etkilerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Kalibre edilen MapShed Modeli ile 2019-2050 yılları arasında baraj gölüne gelebilecek su miktarı ve kirletici yükler tahmin edilmiş, ampirik modeller ile de bu kirletici yükler altında baraj trofik seviyesinin 2019-2050 yılları arasında nasıl değişeceği incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Çalışma Alanları

Çalışma; Kırklareli ve Naipköy Barajları'nda yürütülmüştür (Şekil 1). Çalışma sahalarında arazi kullanımı ile ilgili veriler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca arazi kullanım haritaları Şekil 2'de sunulmuştur.



**Şekil 1.** (a) Naipköy barajı havzası ve akarsu ağı (b) Kırklareli barajı havzası ve akarsu ağı.

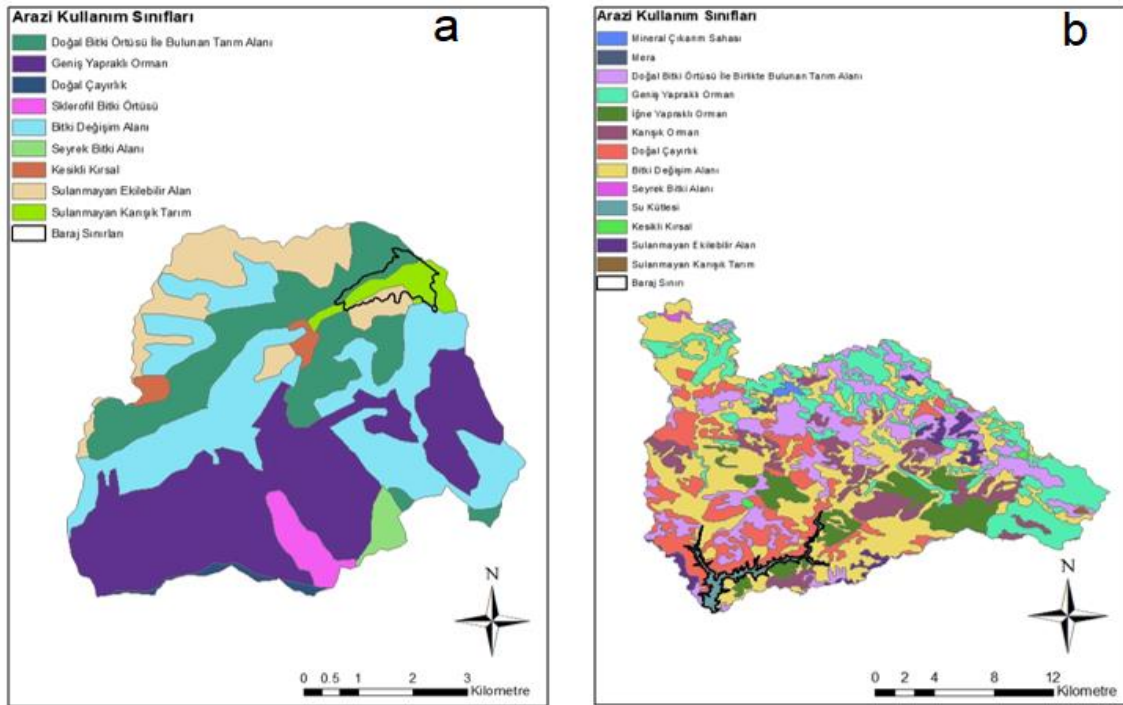
**Çizelge1.** Naipköy Barajı Havzası'nın arazi kullanımı.

Arazi Örtüsü	Alan (m <sup>2</sup> )	Alan (%)
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanlar	7.541.689	17.58
Geniş yapraklı ormanlar	15.098.974	35.20
Doğal çayırliklar	336.695	0.78
Sklerofil bitki örtüsü	1.142.490	2.66
Bitki değişim alanları	11.863.644	27.66
Seyrek bitki alanları	631.103	1.47
Kesikli kırsal	581.721	1.36
Sulanmayan ekilebilir alan	4.593.643	10.71
Sulanmayan karışık tarım	1.108.388	2.58

**Çizelge2.** Kırklareli Barajı Havzası'nın arazi kullanımı.

Arazi Örtüsü	Alan (m <sup>2</sup> )	Alan (%)
Mineral çıkarım sahaları	992.507	0.33

Meralar	379.270	0.13
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanlar	49.862.144	16.60
Geniş yapraklı ormanlar	51.476.513	17.14
İğne yapraklı ormanlar	23.017.021	7.66
Karışık ormanlar	25.736.576	8.57
Doğal çayırliklar	40.730.662	13.56
Bitki değişim alanları	94.842.879	31.58
Seyrek bitki alanları	603.966	0.20
Su kütleleri	4.486.110	1.49
Kesikli kırsal	1.117.681	0.37
Sulanmayan ekilebilir alan	6.849.933	2.28
Sulanmayan karışık tarım	27.1475	0.09



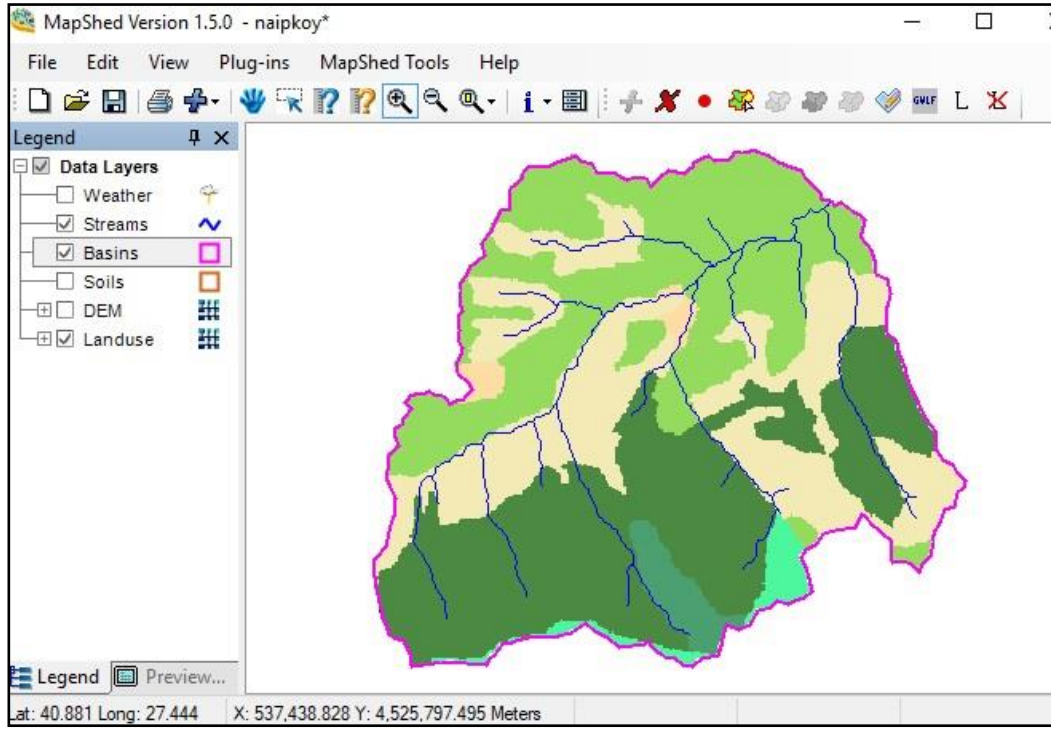
Şekil 2. (a) Naipköy Baraj Havzası'nın arazi kullanım haritası (b) Kırklareli Baraj Havzası'nın arazi kullanım haritası.

## 2.2. Kullanılan Modeller

### 2.2.1. MapShed Modeli

MapShed; coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı havza modelleme aracıdır. Bu program daha önce Pensilvanya Eyaleti Enerji ve Çevre Kurumu (PSIEE) tarafından geliştirilen AVGWLF olarak bilinen bir yazılımın kullanım fonksiyonelliğini kopyalamaktadır (Evans ve diğ. 2002). MapShed daha yeni bir MapWindow CBS yazılım paketi kullanılmaktadır ve herkesin kullanımına açıktır ([www.mapwindow.org](http://www.mapwindow.org)). AVGWLF'ye benzer olarak, MapShed; CBS ile

zenginleştirilmiş GWLF havza modeli arasında bir bağlantı sağlamaktadır ve modele girdi verilerini otomatik şekilde girişini sağlayan grafiksel bir ara yüze sahiptir (Şekil 3).



**Şekil 3.** MapShed yazılımının ara yüzü.

MapShed ile 14 shape (vektör veri) dosyası ve 4 grid dosyası kullanılmaktadır. Çizelge 3 ve Çizelge 4 sırasıyla, şart koşulan ve tercihe bırakılan CBS katmanlarının bir listesi ile özet betimlemelerini ve model girdi verilerini sunmaktadır.

### 2.2.2. MapShed Modelinin Performansı

MapShed Modeli Naipköy Barajı için 1987 ve 1997 yılları arasında çalıştırılmıştır. Model DSİ tarafından işletilen 02-094 nolu akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Kırklareli Barajı için ise model 1970 ve 1985 yılları arasında çalıştırılmıştır. Model DSİ tarafından işletilen 01-014 nolu akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Model performans parametresi olarak Nash-Sutcliffe katsayısı (NS) kullanılmıştır. NS hidrolojik modellerin performansının belirlenmesi için tercih edilen bir büyüklüktür. 0 ile 1 arasındaki NS değerleri modelin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Şekil 4 ve Şekil 5’de akım değerleri ile hesaplanan debi değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5’de görülen pikler şiddetli yağışlar nedeniyle oluşmuştur. Model hem pik debileri hem de debilerdeki atımları iyi bir şekilde simüle edebilmiştir. 02-094 nolu istasyon için NS katsayısı 0.97, 01-014 nolu istasyon için ise NS katsayısı 0.27 bulunmuştur.

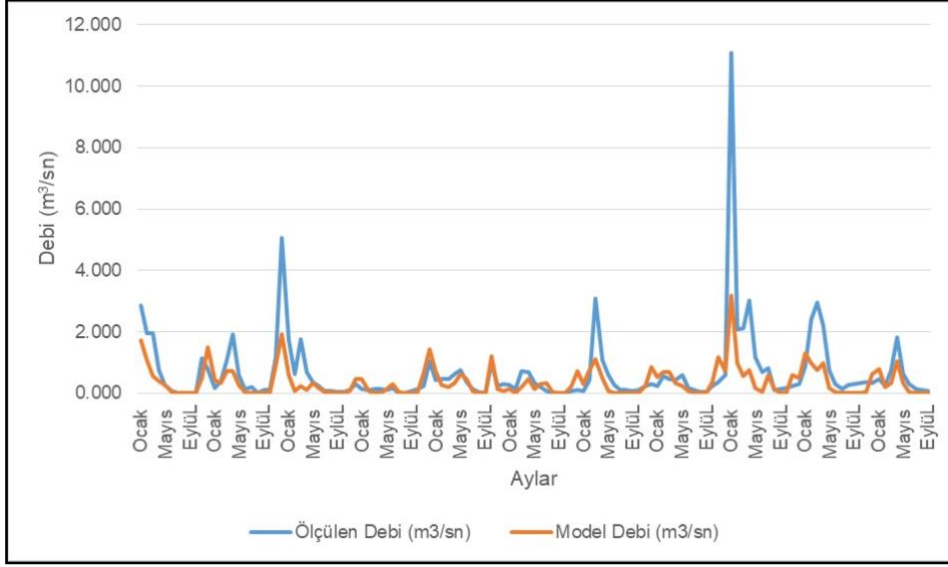
**Çizelge 3.** MapShed’de kullanılan CBS katmanlarına genel bir bakış.

Veri katmanları	Kısa tasvirler	Şart koşumu
-----------------	----------------	-------------

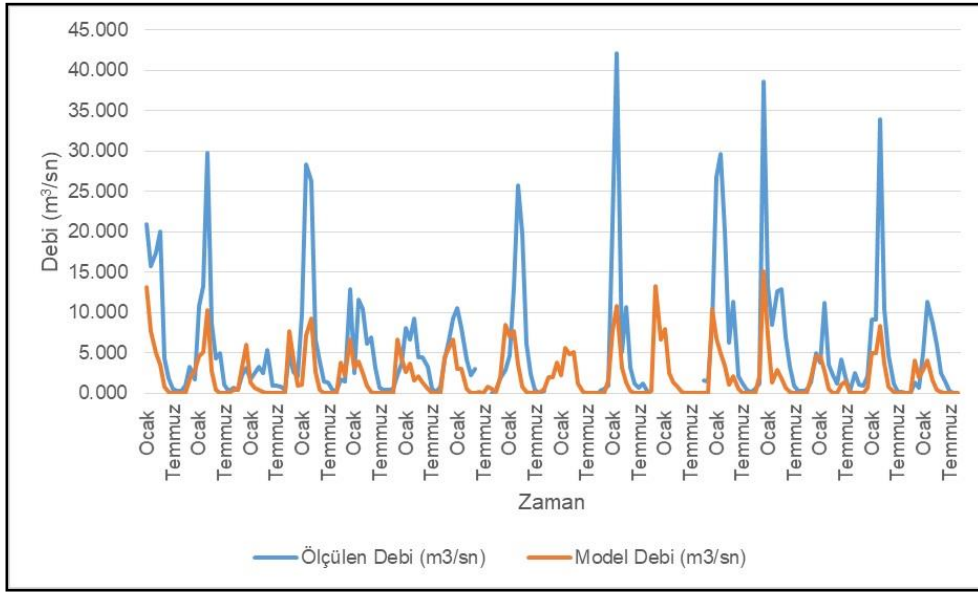
<i>Shape Dosyaları</i>		
İklim istasyonları	İklim istasyonları lokasyonları (noktalar)	Evet
Noktasal kaynaklar	Noktasal kaynak deşarj lokasyonları (noktalar)	Hayır
Su çekimi	Su çekim lokasyonları (noktalar)	Hayır
Havzalar	Modelleme için kullanılan havza sınırı (poligonlar)	Evet
Akarsular	Akarsu ağı haritası (hatlar)	Evet
Geçirimli yollar	Geçirimli yolların haritası (hatlar)	Hayır
Yollar	Yol ağının haritası (hatlar)	Hayır
İdari sınırlar	USLE verileri için idari sınırlar (poligonlar)	Hayır
Septik sistemler	Septik sistem sayıları ve tipleri (poligonlar)	Hayır
Topraklar	Toprak ile ilgili veriler (poligonlar)	Evet
Fizyografik zonlar	Hidrolojik parametre verileri (poligonlar)	Hayır
Akış hatları	Alt havzalardan havza çıkışlarına kadar olan uzunluklar	Hayır
<i>Grid Dosyaları</i>		
Arazi kullanımı/örtüsü	Arazi kullanımı/örtüsü haritası (16 sınıf)	Evet
Yükseklik	Yükseklik verisi	Evet
Yeraltı suyu-N	N (mg/l) geri plan kestirimi	Hayır
Toprak-P	Toprak P (mg/kg) tahmini (toplam veya test P)	Hayır
Kentsel alanlar	Kentsel alanların sınır haritaları	Hayır

**Çizelge 4.** Model girdi verilerinin sınıflandırılması ve içerikleri.

Taşınım.dat	Besin maddesi.dat	Meteoroloji.dat
- Havza boyutu	- Arazi örtüsü tipine göre yüzey	- Yağış
- Arazi kullanımı/örtüsü dağılımı	akışındaki çözünmüş azot (N)	- Min/maks
- Kaynak alana göre eğim sayısı	- Arazi örtüsü tipine göre yüzey	sıcaklık
- Kaynak alana göre USLE (KLSCP) faktörleri	akışındaki çözünmüş fosfor (P)	- Meteoroloji istasyonları
- Evapotranspirasyon (ET) katsayıları	- Ahır gübresi yüzey akışındaki	
- Gün uzunluğu saati	N/P konsantrasyonu	
- Erozyon katsayıları	- Kentsel alandaki N/P	
- Büyüme sezonu süresi (ay)	- Noktasal kaynak yüklerindeki	
- Başlangıç doymun depo	N/P	
- Başlangıç doymun olmayan depo	- Yeraltı suyundaki N/P	
- Durgunluk katsayıları	konsantrasyonu	
- Sızıntı katsayıları	- Topraktaki N/P	
- Başlangıç kar miktarı	konsantrasyonu	
- Sediment iletim oranı	- Ahır gübresi serpmeye ayları	
- Toprak su tutma kapasitesi	- Septik sistem yükleri (N/P)	



**Şekil 4.** 02-094 nolu akım gözlem istasyonu için 1987-1997 yılları arası hesaplanan ve ölçülen debi değerleri (NS=0.97).



**Şekil 5.** 01-014 nolu akım gözlem istasyonu için 1970-1985 yılları arası hesaplanan ve ölçülen debi değerleri (NS=0.27).

MapShed ile barajları besleyen akarsulardaki besi maddesi (toplam azot ve toplam fosfor) ile AKM konsantrasyonları da tahmin edilmiştir. Bu parametreler açısından model çıktılarının kalibrasyonu yeterli veri olmadığı için yapılamamıştır.

### 2.2.3. Trofik Seviyenin Belirlenmesi için Ampirik Modeller

MapShed model çıktıları kullanılarak ele alınan su kütlelerinde toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) konsantrasyonlarının nasıl değişeceği 10 farklı ampirik model ile incelenmiştir. Kullanılan ampirik modeller Çizelge 5'de verilmiştir.

**Çizelge 5.** TP ve TN İçin Test Edilen Vollenweider (Girdi-Çıktı) Tipi Model (Milstead vd. 2013)

No	Model	Kaynak
M1	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 0.45t)$	Brett ve Benjamin, 2008
M2	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 1.06)$	Brett ve Benjamin, 2008
M3	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + (5.1/H)t)$	Brett ve Benjamin, 2008
M4	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 1.12 t^{0.53})$	Brett ve Benjamin, 2008
M5	$\bar{T}_{Nutgöl} = (0.65 T_{Nutin}) / (1 + 0.17 t)$	Brett ve Benjamin, 2008
M6	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 3.0 t^{0.25} H^{0.58} T_{Nutin}^{0.53})$	Reckhow, 1988
M7	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 89 t^{0.4} H^{0.57} T_{Nutin}^{1.08})$	Milstead ve ark. 2013
M8	$\bar{T}_{Nutgöl} = (0.32 T_{Nutin} t^{0.18})$	Windolf, 1996
M9	$\bar{T}_{Nutgöl} = (0.27 T_{Nutin} t^{0.22} H^{0.12})$	Windolf, 1996
M10	$\bar{T}_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 2 t^{0.38} H^{0.29} T_{Nutin}^{1.14})$	Milstead ve ark. 2013

$\bar{T}_{Nutgöl}$  = gölde ölçülen TP veya TN konsantrasyonu (mg/L).  $T_{Nutin}$  = ortalama yıllık TP veya TN girdi konsantrasyonu (mg/L).  $H$  = ortalama derinlik (m).  $t$  = hidrolik bekleme süresi (yıl).

Son 20 yılda, göllerde azot ve fosfor değişimlerini nicelleştirmek için iki tür model geliştirilmiştir; (a) basit ve tek denklemlilik ampirik (deneysel) bütçe modeli (P çökeltisi, girdisi ve çıktısını tanımlarken gölleri kararlı halde tamamıyla karışmış reaktör olarak görür (Vollenweider, 1969); ve (b) daha detaylı üç boyutlu süreç temelli modeller (CercoveCole, 1993). Vollenweider (1969)'e göre; verimliliği P ile sınırlı göller için fitoplanktondaki P konsantrasyonu su sütunundaki P konsantrasyonu ile orantılıdır ve onun için fitoplankton çökmesinin P üzerine etkisi su sütunundaki P çökmesi olarak temsil edilebilir. Bu görüşe göre, P:C ve C:Chl-a oranları, alga bağlı P (partiküller organik P) ile alg dışı P (çözünmüş ve adsorbe edilmiş inorganik P)'yi birbirinden ayırt etmek için kullanılabilir. Böylece, göllerdeki P kayıpları alg dışı P ile alga bağlı P'nin çökmesi olarak iki sınıfa bölünebilir. Alg dışı P'nin çökme hızı askıda katı maddelere bağlı olup, alga bağlı P ise alg ile aynı çökme hızına sahiptir. Bu model ile şu sorulara yanıt bulunabilir: (a) basit bir bütçe modelinde alga bağlı P ile alg dışı P'nin nasıl ayırt edileceği? (b) alga bağlı P'nin alg dışı P'ye oranı tüm göller için aynı mı? Eğer değilse, hangi faktörler P'nin alga dönüştürülme etkinliğinde fark yaratmaktadır? (c) Su derinliği, toplam P (TP) konsantrasyonu ve trofik statü gibi fiziksel ve biyolojik faktörler alg dışı ve alga bağlı P çökme hızlarını nasıl etkilemektedir? (d) Göl ötrofikasyonunun giderimi için hangi ekolojik bilgilere ve önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır?

Vollenweider'in önerdiği ampirik TP alıkonma modeli derin göllere ait trofik (besin seviyesinin) statünün boyutunu, değişim hızını ve eğilimini ve bu hususlara ait değişkenlikleri tanımlar. Göllerin TP yükünü değerlendiren Vollenweider modelleri çoğunlukla Avrupa ve Kuzey Amerika'daki büyük ve derin göllerin verilerine göre inşa edilmiştir. Vollenweider modelinin sığ göllere uygulanma zorluğu ise bu göllerin jeomorfolojik yapı ve sedimentasyon özelliklerinden kaynaklandığı rapor edilmektedir. Vollenweider bütçe modeli ile; kararlı hal koşullarında fosfor konsantrasyonu en genel hali aşağıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır (Thomann ve Mueller, 1987):

$$TP = \frac{W}{Q + k_s \cdot V} \quad (1)$$

Burada;

W: Toplam P yükü (mg/yıl)

TP: Toplam fosfor konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ )

Q: Çıkış su debisi ( $\text{m}^3/\text{yıl}$ )

$k_s$ : Çökelme hızı ( $\text{yıl}^{-1}$ )

V: Hacim ( $\text{m}^3$ ) göstermektedir. Çökelme hızı  $k_s$  ise  $10/H$ 'ye eşittir ve H ortalama su derinliğini göstermektedir.

Su kütlelerinde TN ve TP konsantrasyonları belirlendikten sonra su kütlelerinin trofik seviyesi gelecek her yıl için belirlenecektir. Söz konusu su kütlelerinde toplam fosfor ve toplam azot konsantrasyonu için; 30 Kasım 2012 tarih ve 28483 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği Ek-6 Çizelge 9'da verilen kriterler kullanılarak trofik seviyeler belirlenecektir. Söz konusu kriterler Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'ne göre göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri.

Su Kalite Sınıfı	TP ( $\mu\text{g/l}$ )	TN ( $\mu\text{g/l}$ )	Klorofil-a ( $\mu\text{g/l}$ )	Secchi Disk Derinliği (m)	Çözünmüş Oksijen ( $\text{mg/L}$ )
Oligotrofik	<10	<350	<3.5	>4	>7
Mezotrofik	30	650	9	2	6
	50*	1000*	15*	1.5*	4*
Ötrofik	100	1500	25	1	3
Hipertrofik	>100	>1500	>25	<1	<3

\* Gölet ve baraj göllerinde

### 3. Sonuçlar ve Değerlendirme

#### 3.1. MapShed Modelinin Sonuçları

MapShed modeli kullanılarak 2019 ile 2050 yılları arasında barajlara giren su miktarı ile kirletici konsantrasyonları tahmin edilmiştir. Modele meteorolojik veri olarak (yağış ve sıcaklık) HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen sonuçlar girilmiştir. Kırklareli Barajı için elde edilen sonuçlar debi, AKM, TN ve TP için 5'er yıllık periyotlar halinde Çizelge 7'de verilmiştir. Naipköy Barajı için elde edilen sonuçlar debi, AKM, TN ve TP için 5'er yıllık periyotlar halinde Çizelge 8'de verilmiştir.

**Çizelge 7.** Kırklareli Barajı için MapShed modelinden elde edilen sonuçlar.

Yıllar	CNRM 4.5 Debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )	CNRM 8.5 Debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )	HadGEM 4.5 Debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )	HadGEM 8.5 Debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )	MPI 4.5 Debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )	MPI 8.5 Debi ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )
2019-2025	2.74	1.65	2.37	1.75	1.47	1.50



2026-2030	2.03	1.74	1.51	2.15	1.22	1.74
2031-2035	2.42	1.80	2.80	1.62	1.82	1.59
2036-2040	2.42	1.33	1.76	1.67	1.83	2.57
2041-2045	2.74	1.68	2.05	1.48	1.18	1.89
2046-2050	2.37	1.29	2.13	2.02	2.23	1.14
Yıllar	CNRM 4.5 AKM (mg/L)	CNRM 8.5 AKM (mg/L)	HadGEM 4.5 AKM (mg/L)	HadGEM 8.5 AKM (mg/L)	MPİ 4.5 AKM (mg/L)	MPİ 8.5 AKM (mg/L)
2019-2025	181.64	174.54	178.37	195.65	174.28	193.96
2026-2030	187.30	201.35	171.43	131.53	205.54	171.16
2031-2035	184.23	153.72	185.17	163.18	136.92	163.13
2036-2040	185.00	216.15	172.44	172.67	146.51	146.89
2041-2045	157.85	188.51	149.49	176.69	173.39	131.00
2046-2050	175.42	202.00	142.94	186.96	156.08	222.32
Yıllar	CNRM 4.5 TN (mg/L)	CNRM 8.5 TN (mg/L)	HadGEM 4.5 TN (mg/L)	HadGEM 8.5 TN (mg/L)	MPİ 4.5 TN (mg/L)	MPİ 8.5 TN (mg/L)
2019-2025	2.41	2.54	2.46	2.50	2.53	2.54
2026-2030	2.73	2.44	2.44	2.35	2.52	2.63
2031-2035	2.58	2.66	2.43	2.34	2.43	2.75
2036-2040	2.66	2.80	2.57	2.50	2.43	2.44
2041-2045	2.56	2.55	2.38	2.73	2.44	2.53
2046-2050	2.71	3.03	2.41	2.37	2.58	2.58
Yıllar	CNRM 4.5 TP (mg/L)	CNRM 8.5 TP (mg/L)	HadGEM 4.5 TP (mg/L)	HadGEM 8.5 TP (mg/L)	MPİ 4.5 TP (mg/L)	MPİ 8.5 TP (mg/L)
2019-2025	0.16	0.19	0.25	0.14	0.38	0.18
2026-2030	0.18	0.15	0.17	0.13	0.34	0.28
2031-2035	0.31	0.36	0.15	0.12	0.18	0.22
2036-2040	0.19	0.22	0.33	0.13	0.13	0.19
2041-2045	0.16	0.18	0.15	0.25	0.38	0.33
2046-2050	0.20	0.75	0.16	0.14	0.18	0.22

### 3.2. Baraj Göllerine Gelen Su Miktarının Değişimi

2050 yılına kadar iklim değişikliği senaryolarına bağlı olarak su miktarında meydana gelebilecek muhtemel değişimler ayrıca beşer yıllık dönemler halinde incelenmiştir. Kırklareli barajı için elde edilen sonuçlar Çizelge 9'da Naipköy Barajı için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 10'da verilmiştir. Modeller genel olarak Kırklareli Barajına gelen su miktarında bir azalmayı işaret etse de Naipköy Barajı'na gelen miktarının bazı dönemlerde artacağını bazı

**Çizelge 8.** Naipköy Barajı için MapShed modelinden elde edilen sonuçlar.

Yıllar	CNRM 4.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	CNRM 8.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	HadGEM 4.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	HadGEM 8.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	MPİ 4.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	MPİ 8.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)
2019-2025	0.44	0.31	0.40	0.38	0.35	0.30
2026-2030	0.32	0.28	0.32	0.41	0.32	0.38

2031-2035	0.38	0.31	0.40	0.34	0.41	0.34
2036-2040	0.38	0.34	0.41	0.41	0.36	0.51
2041-2045	0.44	0.45	0.40	0.33	0.32	0.44
2046-2050	0.37	0.29	0.55	0.38	0.47	0.32
Yıllar	CNRM 4.5 AKM (mg/L)	CNRM 8.5 AKM (mg/L)	HadGEM 4.5 AKM (mg/L)	HadGEM 8.5 AKM (mg/L)	MPİ 4.5 AKM (mg/L)	MPİ 8.5 AKM (mg/L)
2019-2025	97.41	115.14	133.20	126.83	92.87	81.69
2026-2030	135.50	141.40	123.11	85.47	113.40	120.28
2031-2035	115.39	143.07	94.75	101.21	80.10	106.80
2036-2040	145.51	140.51	122.71	105.59	70.99	74.76
2041-2045	107.81	121.38	112.94	88.50	81.95	100.84
2046-2050	118.19	108.31	90.52	103.71	104.66	89.59
Yıllar	CNRM 4.5 TN (mg/L)	CNRM 8.5 TN (mg/L)	HadGEM 4.5 TN (mg/L)	HadGEM 8.5 TN (mg/L)	MPİ 4.5 TN (mg/L)	MPİ 8.5 TN (mg/L)
2019-2025	2.02	2.19	2.08	2.25	2.06	2.09
2026-2030	2.19	2.35	2.07	2.04	2.12	2.13
2031-2035	2.38	2.30	2.07	2.05	2.21	2.08
2036-2040	2.44	2.37	2.09	2.17	2.08	2.03
2041-2045	2.21	2.20	2.24	2.33	2.06	2.18
2046-2050	2.32	2.17	2.02	2.05	2.30	2.18
Yıllar	CNRM 4.5 TP (mg/L)	CNRM 8.5 TP (mg/L)	HadGEM 4.5 TP (mg/L)	HadGEM 8.5 TP (mg/L)	MPİ 4.5 TP (mg/L)	MPİ 8.5 TP (mg/L)
2019-2025	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06
2026-2030	0.08	0.10	0.06	0.06	0.06	0.07
2031-2035	0.10	0.08	0.05	0.04	0.08	0.06
2036-2040	0.11	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05
2041-2045	0.07	0.07	0.08	0.09	0.05	0.07
2046-2050	0.08	0.06	0.05	0.05	0.10	0.07

**Çizelge 9.** Kırklareli Barajı'na gelecek su miktarının beşer yıllık dönemlerdeki değişimi.

Yıllar	CNRM 4.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	CNRM 8.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	HadGEM 4.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	HadGEM 8.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	MPI-ESM-MR 4.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)	MPI-ESM-MR 8.5 Debi (m <sup>3</sup> /sn)
2019-2025	2.74	1.65	2.37	1.75	1.47	1.50
2026-2030	2.03	1.74	1.51	2.15	1.22	1.74
2031-2035	2.42	1.80	2.80	1.62	1.82	1.59
2036-2040	2.42	1.33	1.76	1.67	1.83	2.57
2041-2045	2.74	1.68	2.05	1.48	1.18	1.89
2046-2050	2.37	1.29	2.13	2.02	2.23	1.14

\*Mavi renkler gözlemlenen ortalama debinin üzerinde, kahverengi ise gözlemlenen ortalama debinin altında kalan değerleri göstermektedir.

dönemler de ise azalacağını işaret etmektedir. Halihazırda Kırklareli Barajı'na gelen ortalama su miktarı 2.40 m<sup>3</sup>/sn iken Naipköy Barajı'na gelen ortalama su miktarı 0.37 m<sup>3</sup>/sn'dir.

**Çizelge 10.** Naipköy Barajı'na gelecek su miktarının beşer yıllık dönemlerdeki değişimi.

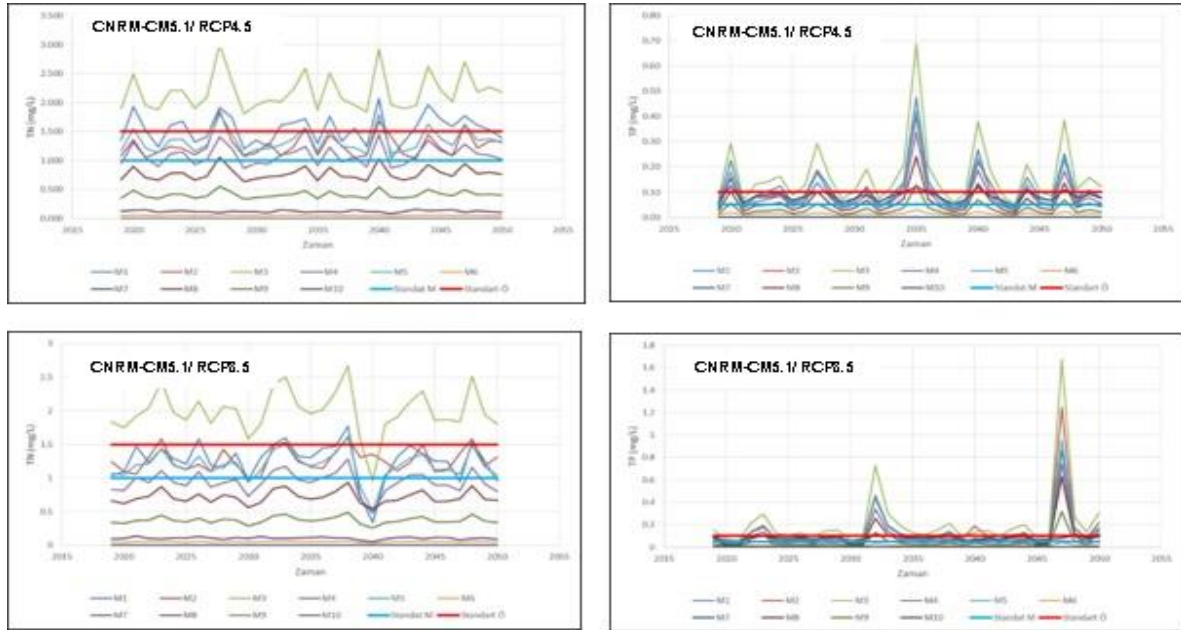
Yıllar	CNRM 4.5	CNRM 8.5	HadGEM 4.5	HadGEM 8.5	MPI-ESM-MR 4.5	MPI-ESM-MR 8.5
--------	----------	----------	------------	------------	----------------	----------------

	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	Debi (m <sup>3</sup> /sn)
2019-2025	0.44	0.31	0.40	0.38	0.35	0.30
2026-2030	0.32	0.28	0.32	0.41	0.32	0.38
2031-2035	0.38	0.31	0.40	0.34	0.41	0.34
2036-2040	0.38	0.34	0.41	0.41	0.36	0.51
2041-2045	0.44	0.45	0.40	0.33	0.32	0.44
2046-2050	0.37	0.29	0.55	0.38	0.47	0.32

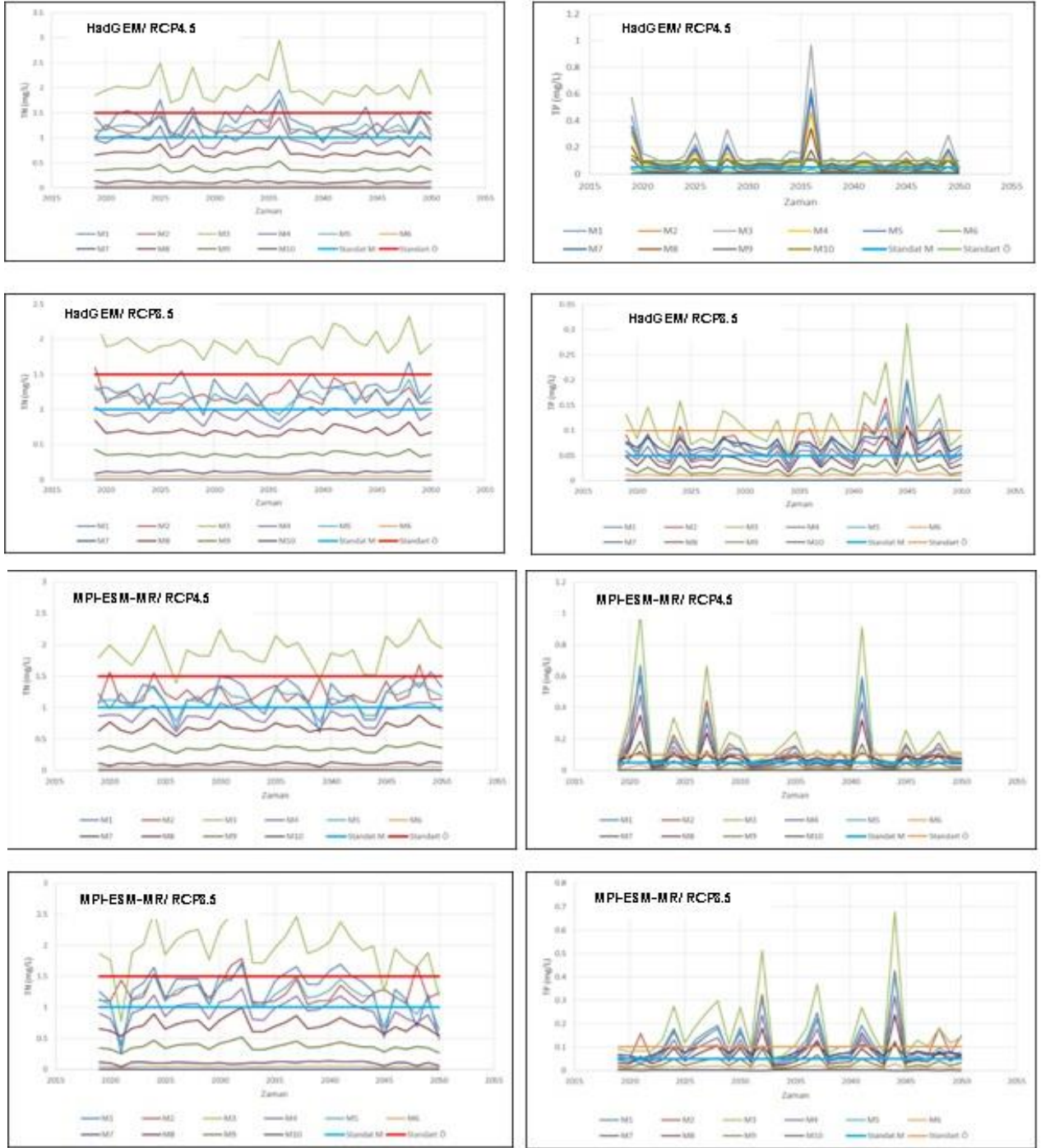
\*Mavi renkler gözlemlenen ortalama debinin üzerinde, kahverengi ise gözlemlenen ortalama debinin altında kalan değerleri göstermektedir.

### 3.3. Baraj Göllerinde Trofik Seviyenin Değişimi

HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen sonuçlar Çizelge 5’de verilen ampirik modellere girdi olarak beslenmiştir. Kırklareli ve Naipköy Barajları’nda TN ve TP konsantrasyonlarının nasıl değişeceği her bir ampirik model ile ayrı ayrı incelenmiştir. Kırklareli ve Naipköy Barajları için CNRM-CM5.1 iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen sonuçlar Kırklareli Barajı için Şekil 6’da, Naipköy Barajı için ise Şekil 7’de verilmiştir.



**Şekil 6.** Kırklareli Barajı’nda iklim modellerine bağlı olarak TN ve TP konsantrasyonunun değişimi. (Standart M: Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği’ne Göre Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri tablosuna göre mezotrofik sınıfın üst sınırı; Standart Ö: Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği’ne Göre Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri tablosuna göre ötrofik sınıfın üst sınırı).



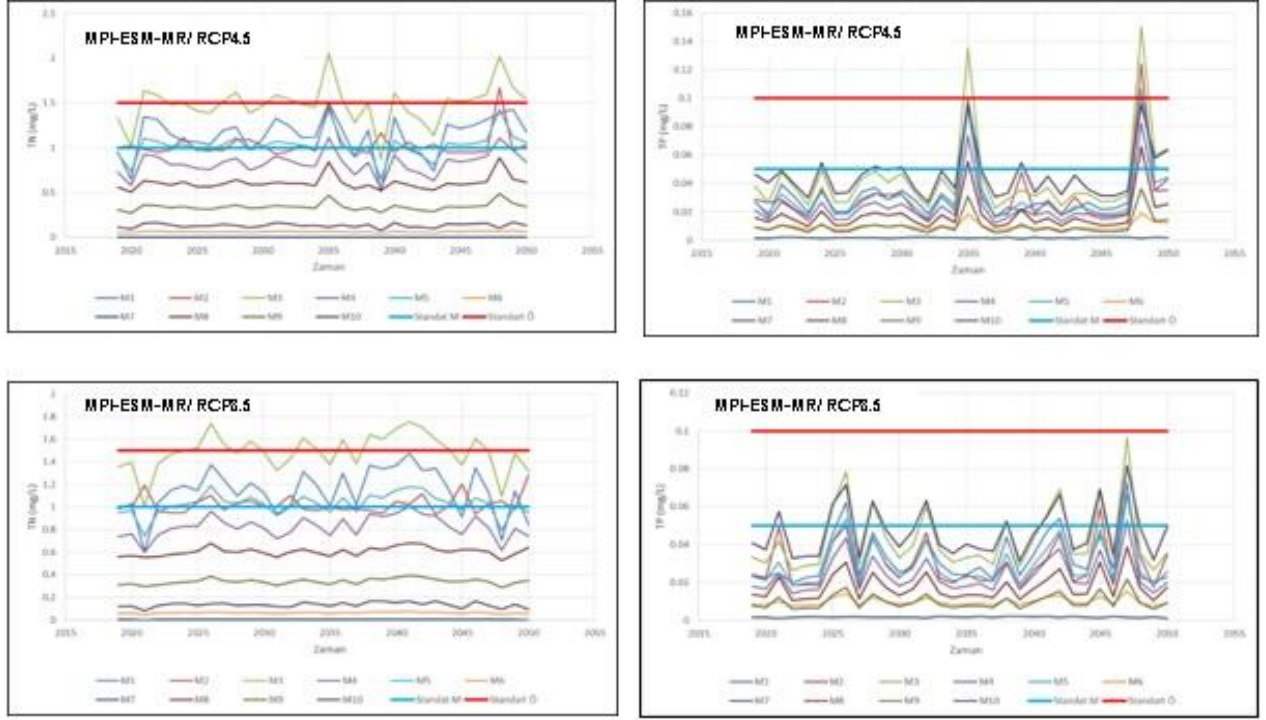
Şekil 6. devam...

#### 4. Değerlendirme ve Uyum Faaliyetleri

Çalışma elde edilen sonuçlar su kalitesi açısından sonuçlar ele alındığında bazı ampirik modeller her iki su kütlesinde de trofik seviyenin hipertrofik düzeye kadar çıkacağını göstermektedir. İçme suyu temini açısından bu problemin bugünden alınmaya başlanacak önlemler ile çözülebilmesi mümkün olacaktır. Trofik seviyenin artması her iki barajda içme suyu teminini zorlaştıracaktır. Arıtma maliyetleri yerel yönetimlerin bütçelerinden daha fazla payı alacaktır.



**Şekil 7.** Naipköy Barajı'nda iklim modellerine bağlı olarak TN ve TP konsantrasyonunun değişimi. (Standart M: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne Göre Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri tablosuna göre mezotrofik sınıfın üst sınırı; Standart Ö: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne Göre Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri tablosuna göre ötrofik sınıfın üst sınırı).



Şekil 7. Devamı...

Trofik seviyeyi kontrol etmek veya süreci tersine çevirmek amacıyla uygulanmakta olan pek çok metot mevcuttur. Ekolojik açıdan uygun ve nihai sonuç alınabilen kontrol metotları iki kademede incelenebilir:

1. Korumaya yönelik olan metotlar
2. İyileştirmeye yönelik metotlar

Korumaya yönelik metotlar genelde nutrientlerin su ortamına girişini kontrol altına almaya yönelik faaliyetlerdir. Bu faaliyetler yürütülürken aşağıda dile getirilen hususlar dikkate alınmalıdır (OECD, 1982):

- Dış kaynaklardan suya gelen nutrientin kontrolü için gerekli önlemlerin alınması sadece bilimsel ve teknik bir problem değildir. Ekonomik, hukuki, ve politik boyutlar da konu üzerinde etkili bir paya sahiptir.
- Su kaynakları için gerçekçi ve uygun su kalite hedefleri belirlenmeli, istenilen trofik tepki için hedef yüklemeler tespit edilmeli ve nutrient kontrol önlemlerinde öncelikler belirlenerek hareket edilmelidir. Kaynakların kontrolüne nereden başlanmalı sorusuna verilecek cevaplara bağlı olarak önceliklerin belirlenmesi zorunludur. Gereksiz yatırımlardan kaçınmak için planlama, kesin olarak belirlenen öncelikler dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu bakış açısıyla, birim maliyet başına kontrol altına alınabilen nutrient miktarının en fazla olacağı kaynaklara öncelik verilmelidir.
- Kontrol önlemleri planlanırken konuya ilişkin ekonomik ve yasal yükümlülük sahiplerinin kimler olduğu çözümlenmeli ve gerekli kararlar bu doğrultuda alınmalıdır.

Koordinasyonsuz ve dağınık çabalar kaynakların israfına ve başarısızlığa yol açacaktır.

- Mevcut trofik durumların ve bütün kaynaklarıyla nutrient yüklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada havzanın gelecekteki proje nüfusu ve/veya endüstriyel gelişimi dikkatten kaçırılmamalıdır. Su kalitesi hedefi, suyun arzulanan kullanım amacı ve doğal trofik durumu göz önünde bulundurularak tespit edilmelidir.

Dış kaynaklardan su ortamına gelebilecek nutrient yükü beş farklı yolla kontrol altına alınabilir. Bu kontrol yöntemleri aşağıda toplu olarak verilmiştir (Klapper 1991; Thomann ve diğ., 1987):

1. Noktasal kaynakların kontrol altına alınması: Evsel veya endüstriyel atık sularda azot ve fosforun biyolojik veya kimyasal yöntemlerle giderilmesi,
2. Noktasal olmayan kaynakların kontrolü;
  - Tarımsal faaliyetlerin kontrolü,
  - Yerleşim yerlerinden yüzeysel akışla gelen nutrientin kontrolü,
  - Orman alanlarından gelen nutrient yükünün kontrolü,
  - Yeraltı suyunun kontrolü,
  - Düzensiz katı atık depolama sahalarından sızıntı suyunun kontrolü,
3. Kontrol altına alınamadığı durumlarda nutrient girişini, nutrient etkisinin daha az olacağı su kaynaklarına yönlendirmek, yön değiştirmek: Bu teknikte yüksek nutrient konsantrasyonuna sahip suların yönlerinin değiştirilerek göle girişlerinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Göründüğü gibi bu metot problemi başka bir yere transfer etmektedir. Bu yön değiştirmenin başka bir yerde problem yaratmaması için nutrient yüklü suya tarımda sulama amacıyla kullanılmaktadır ya da arıtmaya tabi tutulmaktadır. 1955 yılında Amerika da on kanalizasyon arıtma sisteminin toplam  $2.4 \cdot 10^4$  m<sup>3</sup>/gün arıtılmış suyunun deşarj edildiği Washington gölünde meydana gelen ötrofikasyon problemine çözüm olarak bu kanalizasyon sularının Pasifik Okyanusuna giriş yapan tuzlu sulara doğru yönlendirilmeleri denenmiş ve oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.
4. Göle giren derelerin kontrolü,
  - Dere girişinde sulak alanlar oluşturma,
  - n rezervuarların alg üretimi yoluyla nutrient gideriminde kullanılması: Arıtma sistemleri içerisinde fosfor gideriminin uygulanabilir olmadığı veya yüksek maliyet getireceği durumlarda rezervuar veya benzeri yapıların inşasıyla fosfor giderimi de bir alternatif olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca civardaki havza veya bataklıklarda bu amaçla kullanılabilir. Bu işlemler çökeltme tankı veya sediment

tutucu özelliği göstererek fosfor yüklemesini % 97 oranında azaltmaktadır. Ortamdaki fosfor konsantrasyonu kadar bu yapılardaki bekletme süresi de bu işlemlerin verimliliklerinde önemli rol almaktadır. Bu metot Batı Almanya da deşarj edilecek olan suyun 15 gün süreyle bu yapılarda bekletildikten sonra bir göle deşarj edilmesinde kullanılmıştır. Fosfor tutulmasının sağlanabilmesi için ortamına erobik özelliklerini korumasına dikkat edilmiş ve fosfor giderimi % 70 oranında sağlanmıştır.

- Derelerin doğrudan fiziksel/kimyasal yöntemlerle arıtılması,
  - Dere suyunun alüminyum oksit filtrelerinden geçirilmesi,
5. Kaynakta kontrol: Bu konuya en uygun örnek Kuzey Amerika da deterjanlar içerisindeki fosfor miktarının azaltılması konusundaki çalışmalar verilebilir. Kanada ve Amerika sınırlarında büyük göller bulunduklarından dolayı bu konuda oldukça hassas davranmaktadırlar. Güney Afrika da yapılan tahminlere göre kentsel atık su arıtma sistemlerine gelen fosfor yükünün % 30-50 si deterjanlardan kaynaklanmaktadır. Buna rağmen deterjanlardan kaynaklanan fosforun kontrol edilmesi ötrofikasyon kontrolünde ikincil rol oynamaktadır.

İyileştirmeye yönelik metotlar doğrudan su kaynağında yapılan mühendislik çalışmalarıdır. İyileştirme tekniklerinin başarılı olabilmesi için; dış kaynaklardan su ortamına gelen nutrient, silt ve organik maddelerin kontrol altına alınmış olması gerekmektedir. İyileştirme teknikleri kontrol tekniklerini tamamlayıcı/bütünleyici çalışmalar olarak da görülebilir. Kontrol teknikleriyle ele alınmayan bir iyileştirme çabasının başarısızlıkla sonuçlanması muhtemeldir. Yanlış bir iyileştirme tekniğini seçilmesi durumunda su kaynağı eskisinden de daha kötü bir duruma gelebilir. Bunun ötesinde iyi bir sonuç alabilmek için seçilen tekniğin yaratacağı problemler ve tekniğin uygulanmasını sınırlayıcı faktörleri iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. Aksi takdirde harcanan çaba ve para boşa gidecektir. İyileştirmeye yönelik metotlar aşağıda sıralanmıştır:

- Biyokütlenin hasat edilmesi/Biyomnüpilasyon)
- Yapay sulak alanların inşası
- Kimyasal madde ilavesi
- Hipolimnetik suyun çekilmesi
- Göl tabanının kaplanması
- Dip taraması / taraklama

## 5. Kaynaklar

Brett, M.T. ve Benjamin, M.M., (2008) A Review and Reassessment of Lake Phosphorus Retention and the Nutrient Loading Concept. *Freshwater Biology* 53: 194-211.

Cerco, C., ve Cole, T. (1993). Three-dimensional Eutrophication Model of Chesapeake Bay, *Journal of Environmental Engineering*, 119(6), 1006-10025.



- Evans, B.M., D.W. Lehnig, K.J. Corradini, G.W. Petersen, E. Nizeyimana, J.M. Hamlett, P.D. Robillard, R.L. Day, 2002. A comprehensive GIS-based modelling approach for predicting nutrient loads in watersheds. *J. Spatial Hydrology* 2(2).
- Klapper H., (1991), Control of Eutrophication in Inland Waters, Ellis Harwood Ltd., London, U.K.
- Milstead, W.B., Hollister, J.W., Moore, R.B., Walker, H.A., (2013). Estimating Summer Nutrient Concentrations in Northeastern Lakes from SPARROW Load Predictions and Modeled Lake Depth and Volume. *PLoS ONE* 8(11): e81457.
- OECD (Organization For Economic Co-Operation and Development), (1982), Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control.
- Thomann, R.T. ve Mueller, J.A., (1987). Principles of Surface Water Quality Modeling and Control. Harper Collins Publishers, New York.
- Vollenweider, R.A. (1968). Scientific Fundamentals of Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication Tech. Rep. DAS/CSI/68.27. OECD, Paris, pp. 154.
- Windolf, J., Jeppesen, E., Jensen, J.P., Kristensen, P., (1996). Modelling of Seasonal Variation in Nitrogen Retention and in-lake Concentration: A Four-year mass Balance Study in 16 Shallow Danish Lakes. *Biogeochemistry* 33: 25-44