

T.C.  
TARIM VE ORMAN BAKANLIĐI  
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



TARIM VE ORMAN BAKANLIĐI

SU KALİTESİ MODELLEMESİ



SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
İzleme ve Su Bilgi Sistemi Dairesi Başkanlığı  
Modelleme Çalışma Grubu

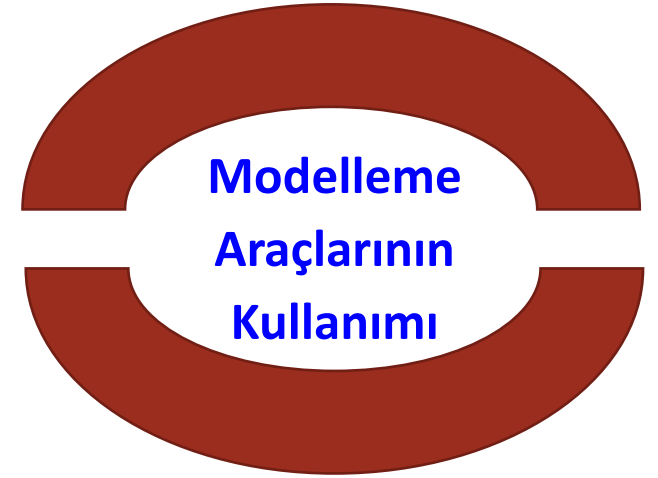


- **Su Kalitesinin Yönetiminde Modelleme İhtiyacı**
- **Su Kalitesi Modellerinin Kullanım Alanları**
- **Su Kalitesi Modellemenin Tarihsel Gelişimi**
- **Su Kaynaklarında Kullanılan Modellerin Sınıflandırılması**
- **Uygun Model Seçimi**
- **Su Kalitesi Modellemesinde Temel Yaklaşım, Denklemler ve Çözüm Türleri**
- **Su Kalitesi Modellerinde İhtiyaç Duyulan Veriler**
- **Model Geçerliliğinin Test Edilmesi**
- **Örnek Su Kalitesi Modellemesi Uygulaması (QUAL2K)**

## Su Kalitesinin Yönetiminde Modelleme İhtiyacı

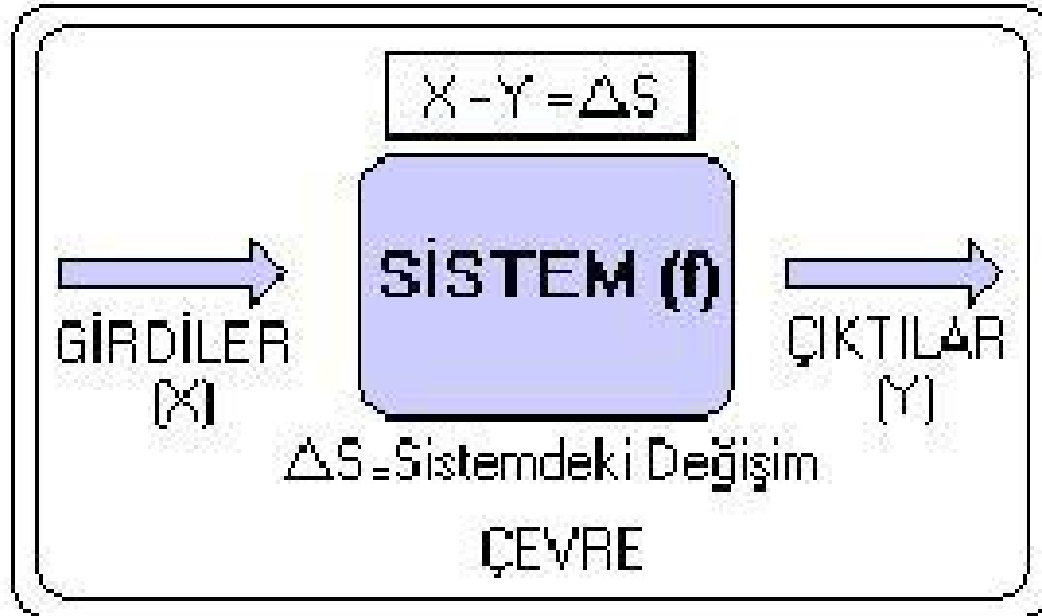


- Su talebinin artışı,
- Uygun kaynak mevcudiyetinin azlığı,
- Çeşitli kirlilik oluşumları



## Model Nedir?

- ◆ Alıcı **sistemin** maruz kaldığı etkilere karşı; fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı itibari ile vereceği tepkilerin tespit edilmesini sağlayan **araçlardır**.
- ◆ Modeller; temsil ettikleri sistemleri basitleştirilmiş olarak sunmaktadırlar.
- ◆ Su kalitesi modellemesi, bir su kütlesindeki kirleticilerin konsantrasyonlarının dağılımlarını simüle etmek ve/veya tahmin etmek için kullanılan araçlardır.





## Doğal Sistemler

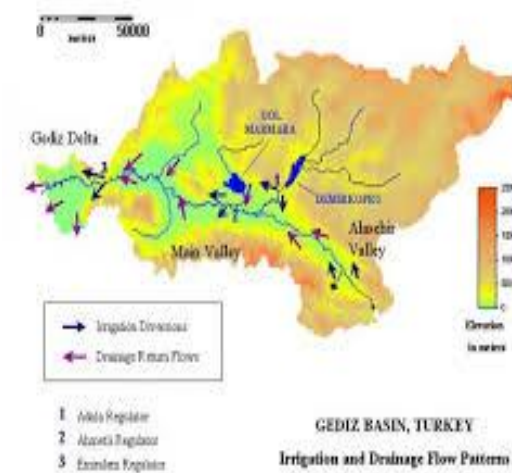
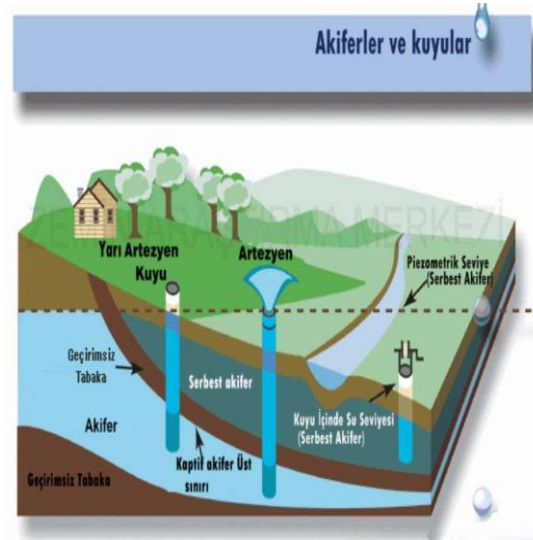
Göller

Akarsular

Akiferler

Toprak

Havzalar



## Havzada Öngörülen Değişiklikler

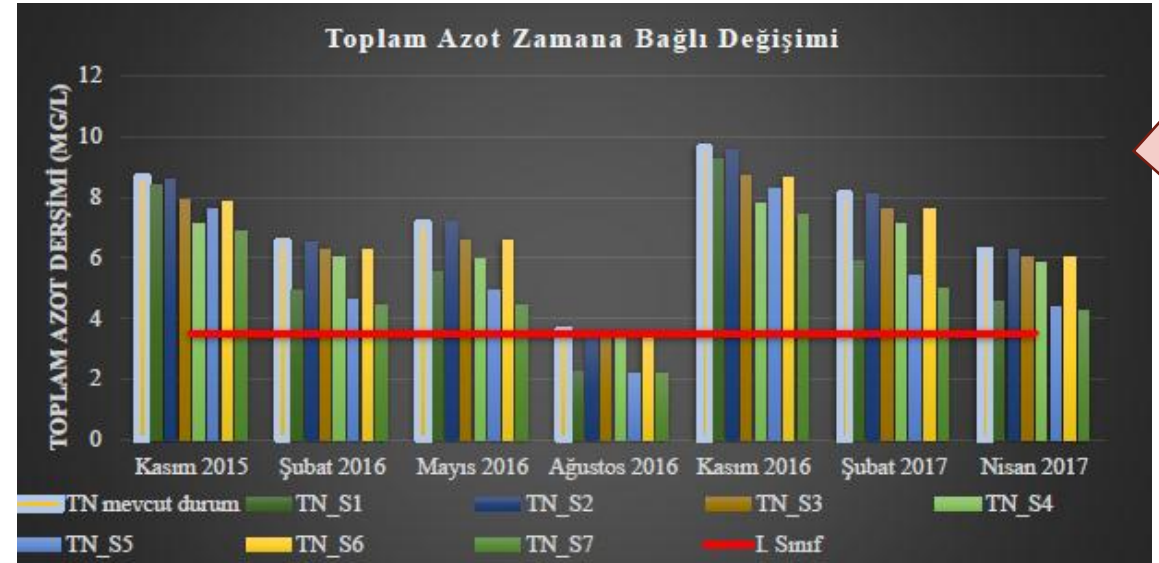
Nüfus projeksiyonu

Arazi kullanımı

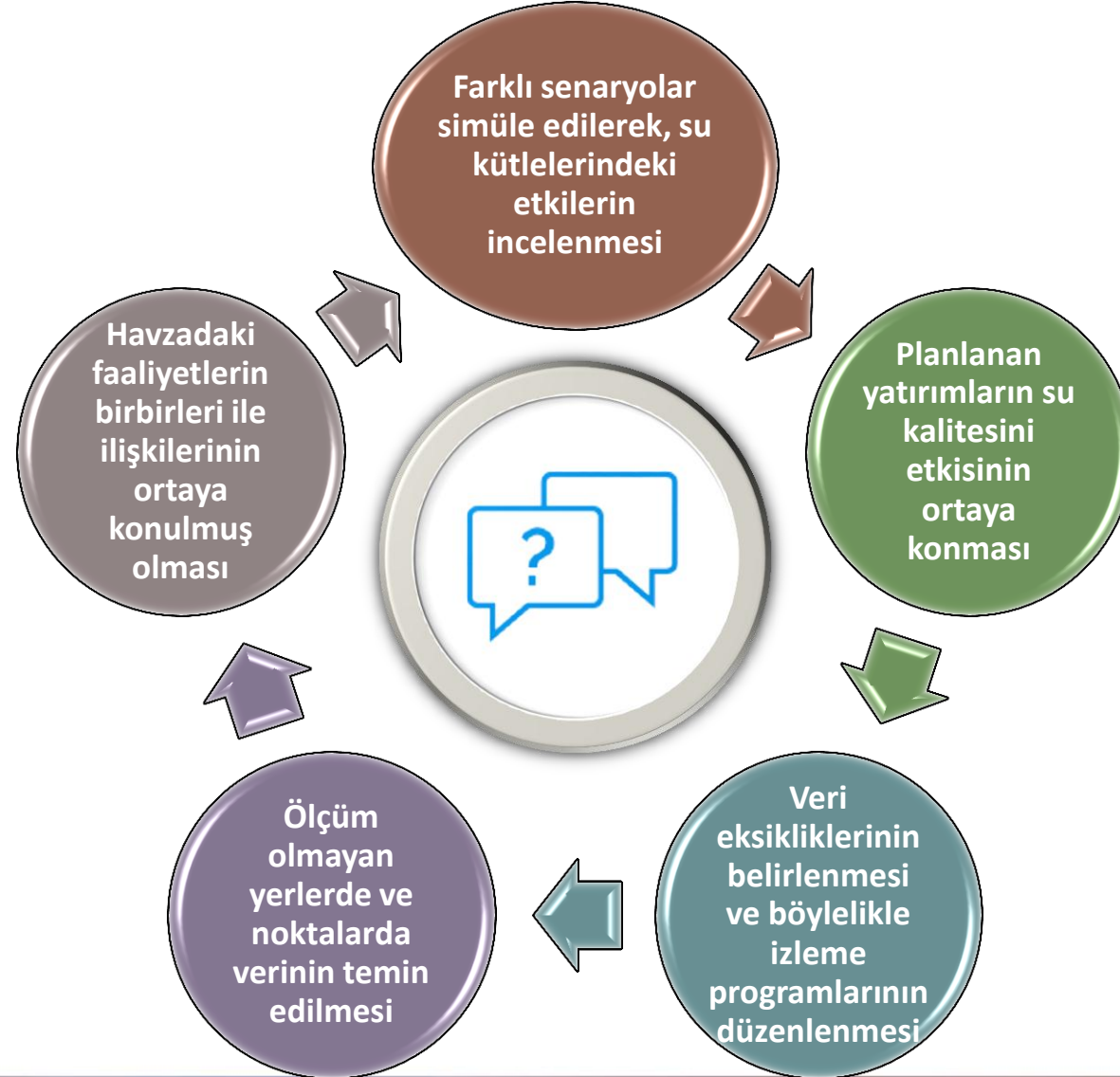
Sanayi tesisleri

İklim değişikliği

Su kalitesi modellerinin kurulması

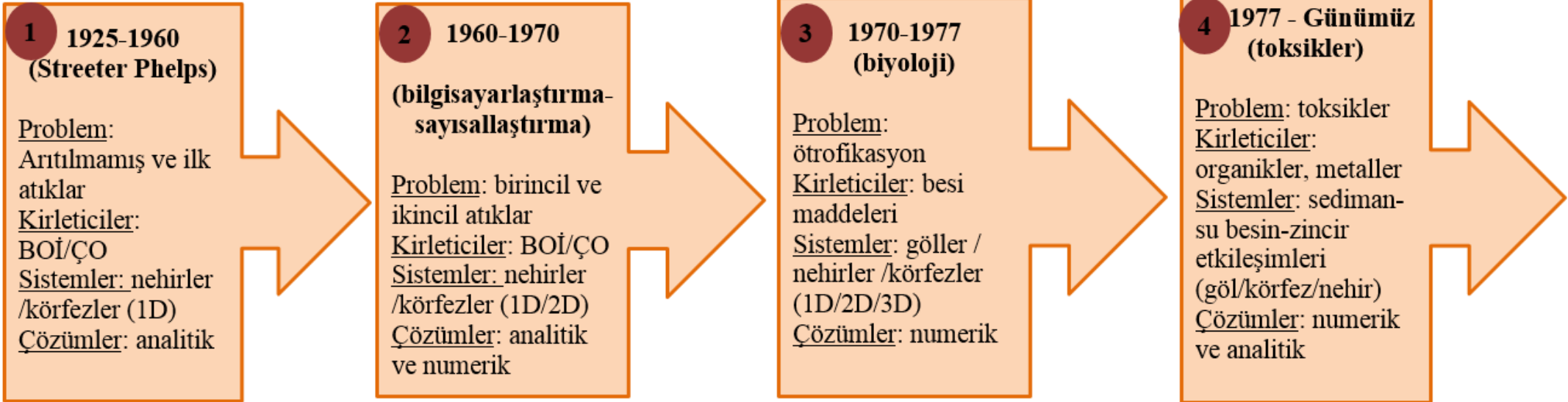


## Su Kalitesi Modellerinin Kullanım Alanları



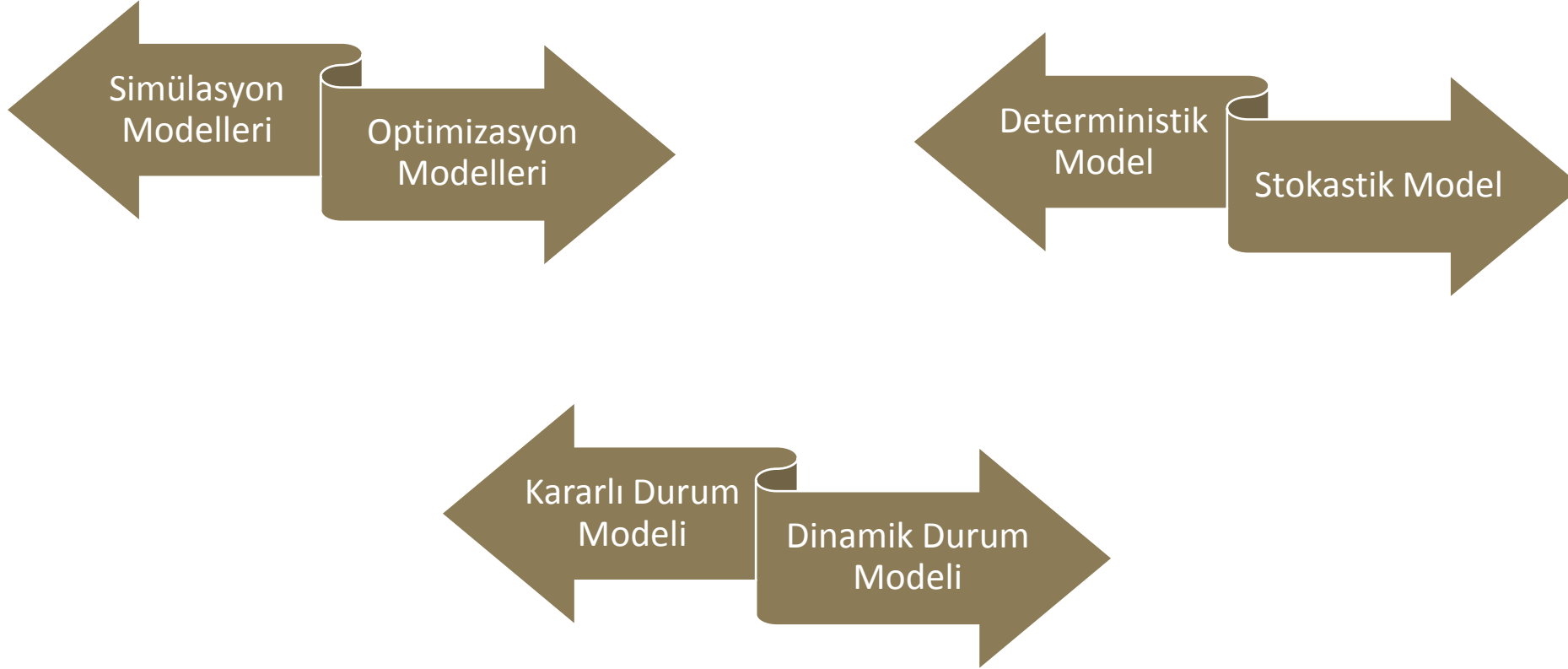


## Su Kalitesi Modellemesinin Tarihsel Gelişimi



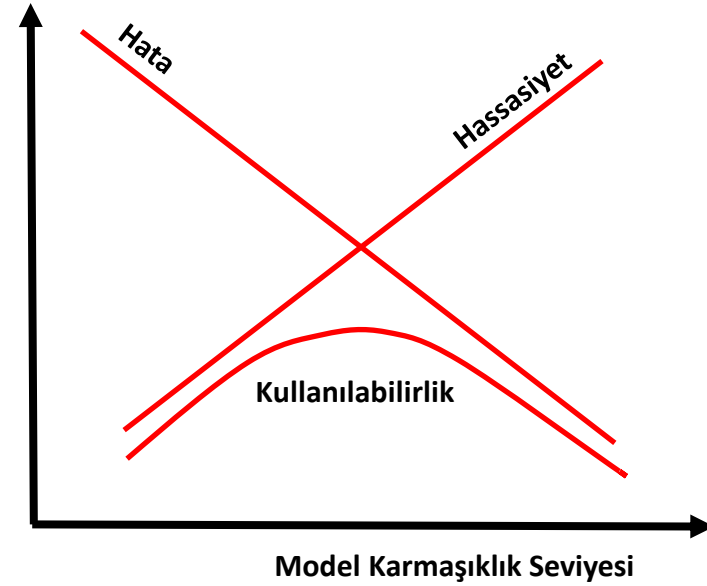


## Su Kalitesi Model Sınıflandırılması



## Su Kalitesi Model Seçimi

- Modeller karmaşıktıkça, sistemi ve kalite durumunu tanımlayan daha çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır.
- En iyi modeller en düşük miktarda karmaşıklıkla en doğru sonuçlara ulaşabilen modellerdir.

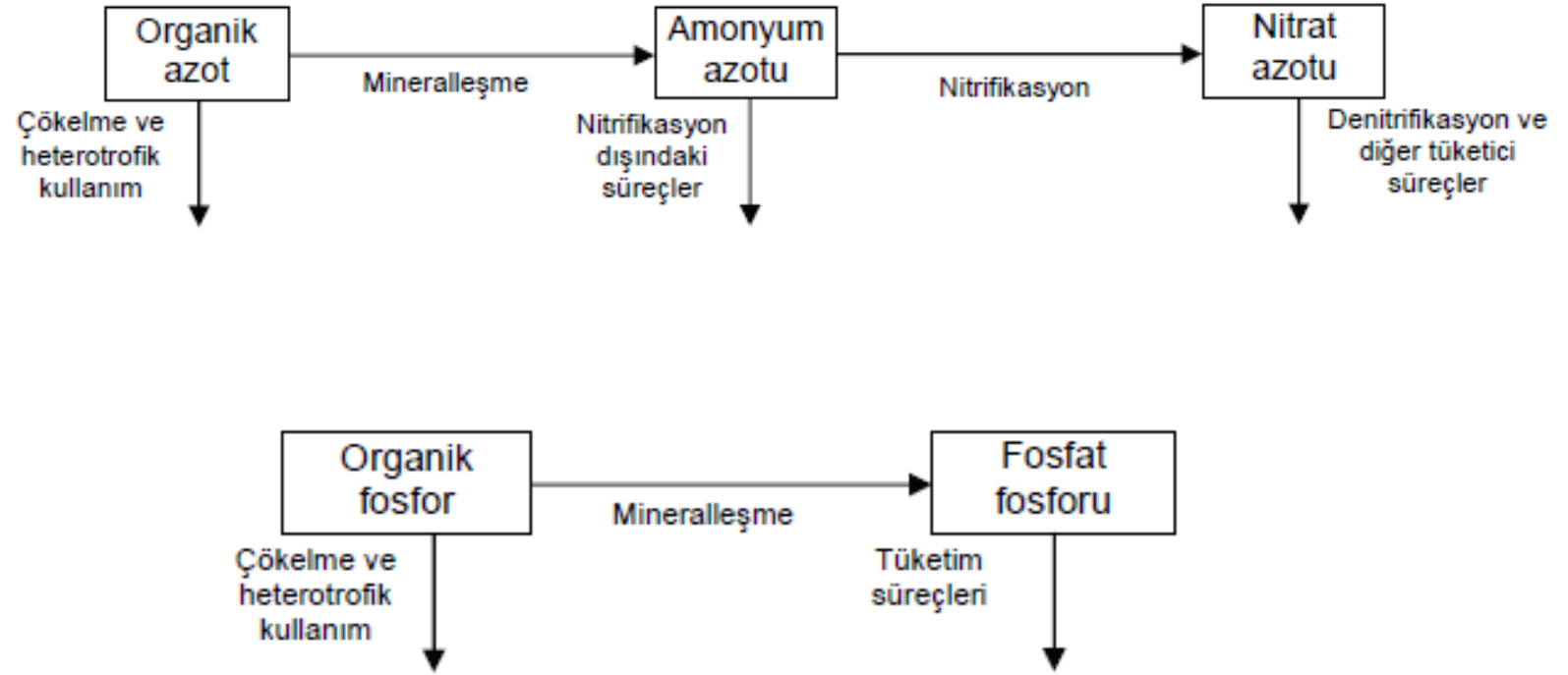
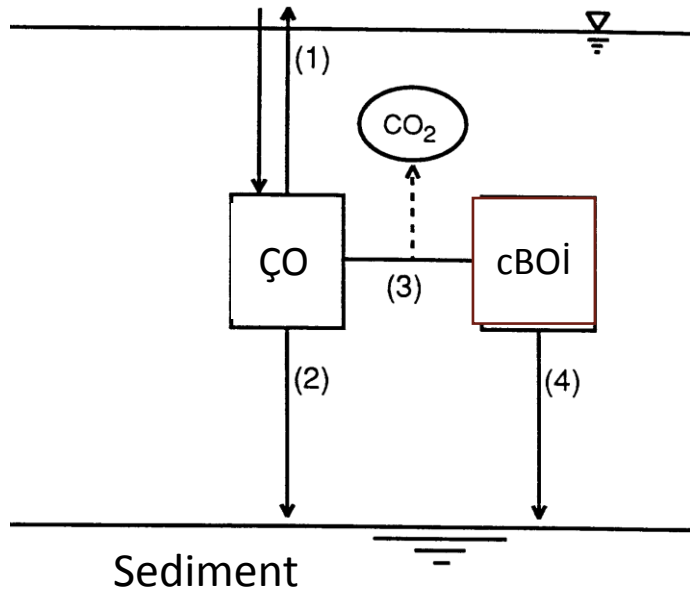


## Su Kalitesi Model Seçimi

- Su kaynağındaki **problem** (Problem doğru tanımlanmalıdır!)
- Çalışmada istenilen **güvenilirlik**
- Çalışmada istenilen **hassasiyet**
- Su kaynağı ile ilgili temin edilebilecek **veriler** (hidromorfolojik, su kalitesi verileri vb. )
- Model sonuçlarının elde edilmesi için **zaman kısıtlaması** durumu
- Çalışma için belirlenen **maliyete**
- Çalışma için belirlenen **personel kapasitesine**
- Sahip olunan **teknik donanıma**
- Kullanıcının **tecrübesine**

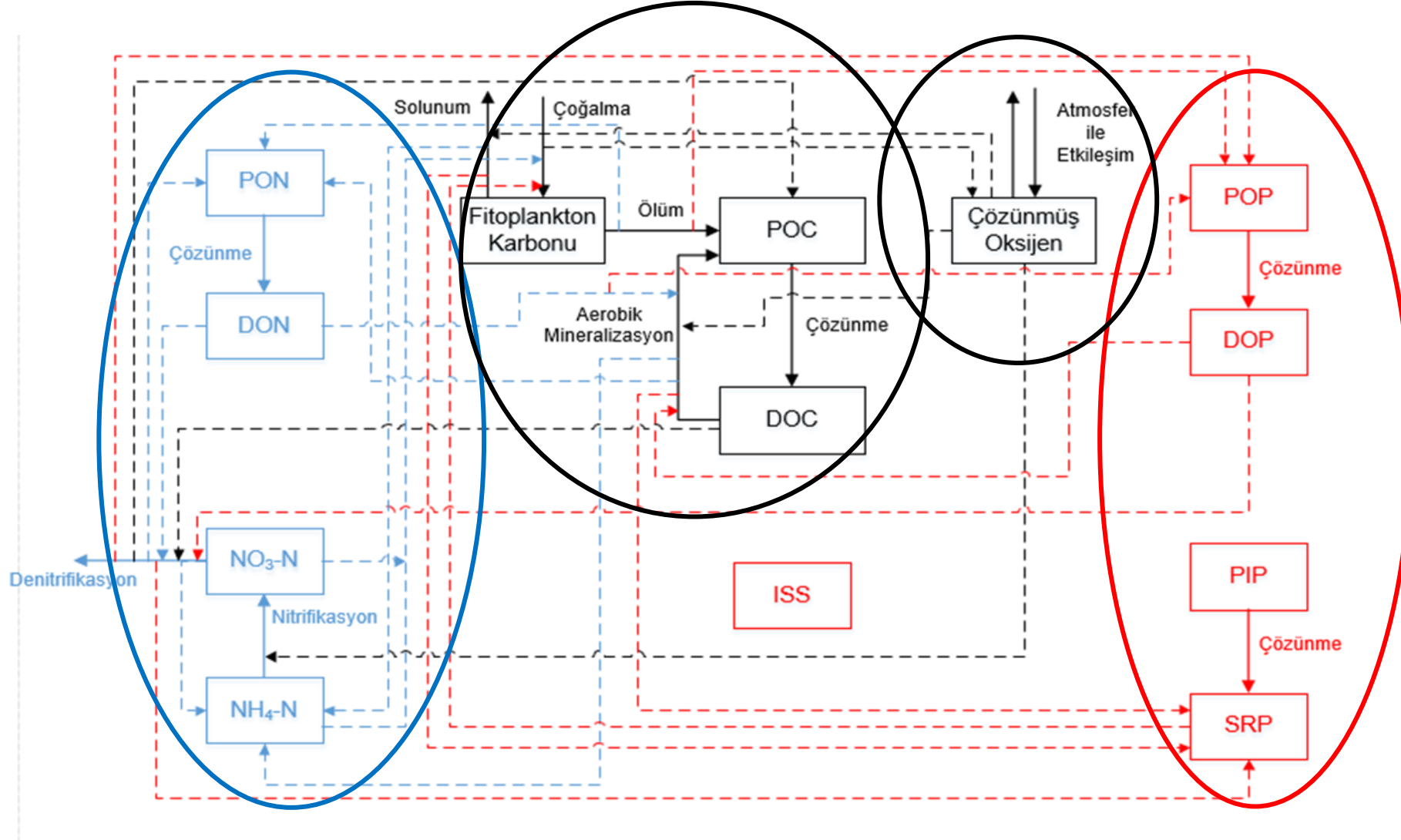


## Basit Bir Su Kalitesi Modeli

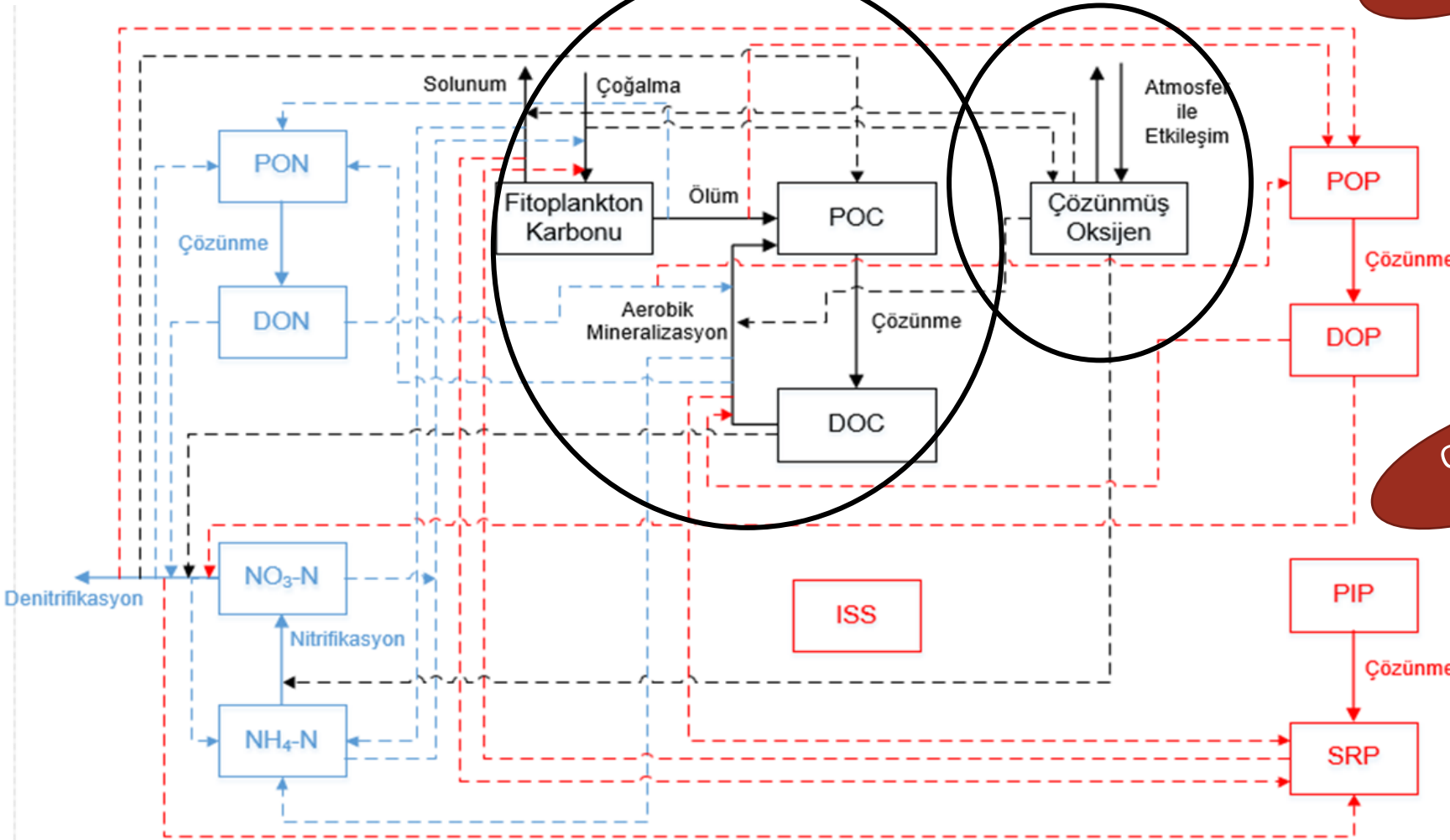




## Karmaşık Bir Su Kalitesi Modeli



## Karmaşık Bir Su Kalitesi Modeli



Çözünmüş Oksijen

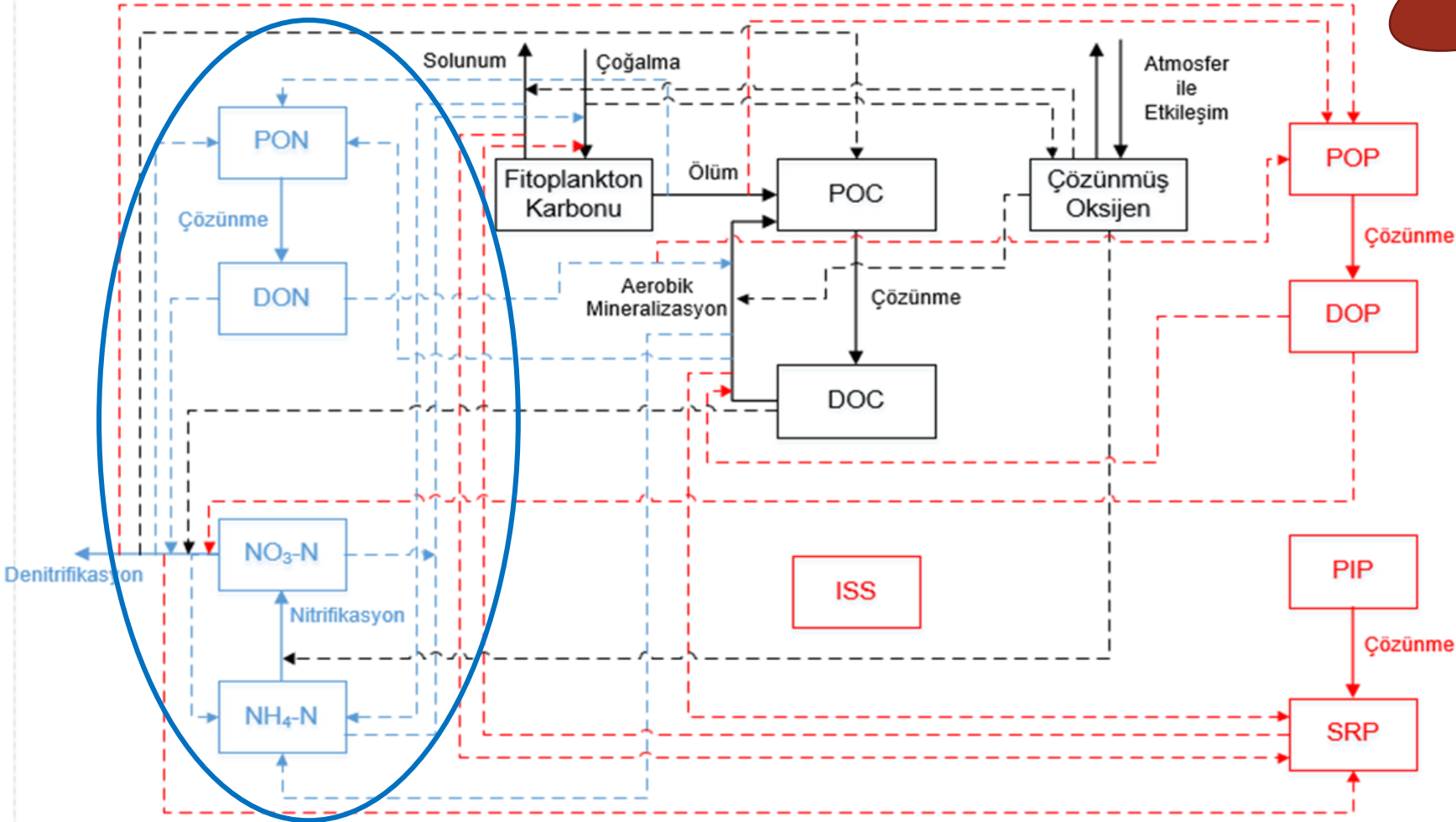
- Atmosferle gaz alışverişi
- Çözünmüş organik karbonun mineralizasyonu
- Nitrifikasyon
- Fotosentez ve solunum

Organik Karbon

- Fitoplankton ölümü
- Çözünme (Partikül/çözünmüş)
- Mineralizasyonu
- Denitrifikasyon

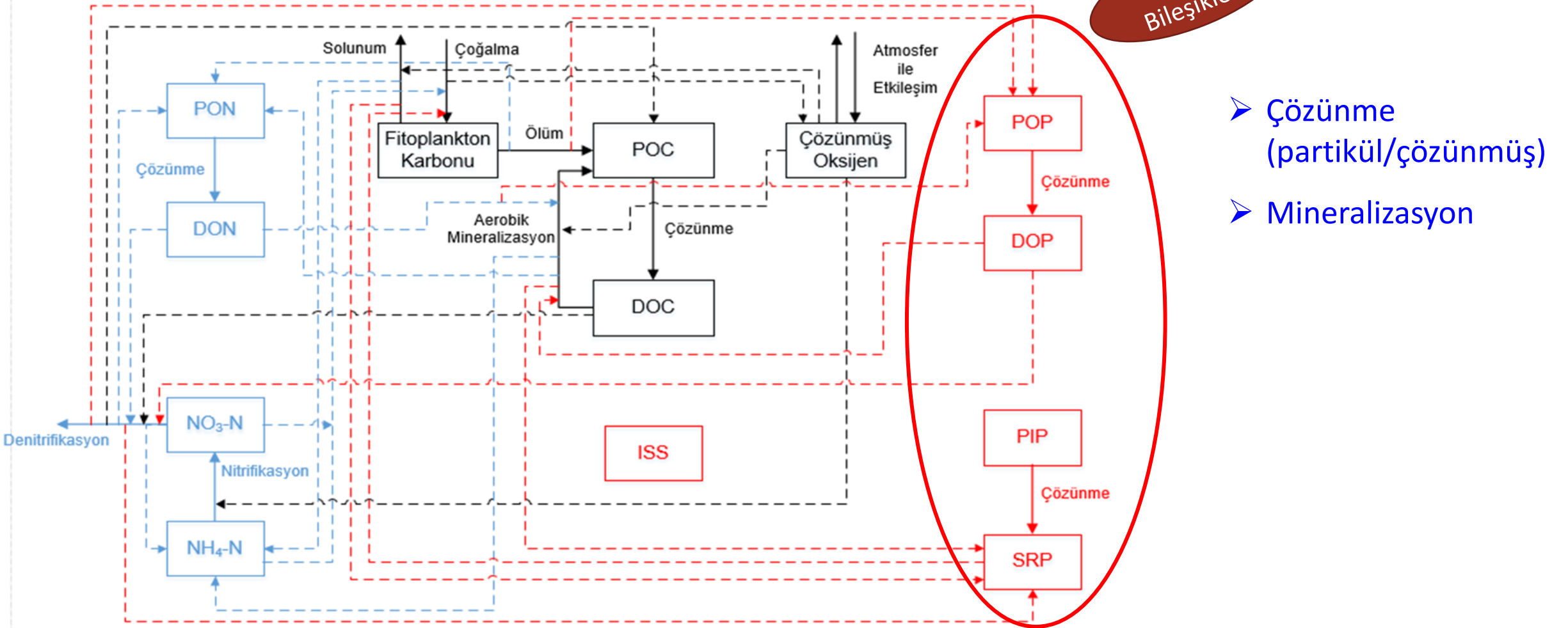
## Karmaşık Bir Su Kalitesi Modeli

Azot Bileşikleri



- Nitrifikasyon
- Amonyaklaşma
- Denitrifikasyon
- Çözünme (partikül/çözünmüş)

## Karmaşık Bir Su Kalitesi Modeli



## Kütle Dengesi Denklemi

$$M_i^{t+\Delta t} = M_i^t + \Delta t \left( \frac{\Delta M_i}{\Delta t} \right)_{Tr} + \Delta t \left( \frac{\Delta M_i}{\Delta t} \right)_{P} + \Delta t \left( \frac{\Delta M_i}{\Delta t} \right)_{S}$$

Taşıma nedeni ile meydana gelen kütle değişimi

- Adveksiyon
- Dispersiyon
- Difüzyon

Prosesler sonucu meydana gelen kütle değişimi

- Nitrifikasyon/ Denitrifikasyon
- Çökme
- Birincil Üretim

Kaynaklar nedeni ile meydana gelen kütle değişimi

- Evsel atıksu arıtma tesis deşarjı
- Endüstriyel atıksu arıtma tesis deşarjı
- Doğrudan deşarjlar





## Model Denklemleri

### 5. CARBONACEOUS BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND

$$\frac{M C_5}{M t} \cdot a_{oc} K_{1D} C_4 \text{ \& } k_D 1_D^{(T\&20)} \left( \frac{C_6}{K_{BOD} \% C_6} \right) C_5 \text{ \& } \frac{v_{s3} (1 \& f_{D5})}{D} C_5$$

death                              oxidation                              settling

$$\text{ \& } \frac{5}{4} \frac{32}{14} k_{2D} 1_{2D}^{(T\&20)} \left( \frac{K_{NO3}}{K_{NO3} \% C_6} \right) C_2$$

denitrification

### 6. DISSOLVED OXYGEN

$$\frac{M C_6}{M t} \cdot k_2 (C_s \& C_6) \text{ \& } k_d 1_d^{T\&20} \left( \frac{C_6}{K_{BOD} \% C_6} \right) C_5 \text{ \& } \frac{64}{14} k_{12} 1_{12}^{T\&20} \left( \frac{C_6}{K_{NIT} \% C_6} \right) C_1$$

reaeration                              oxidation                              nitrification

$$\text{ \& } \frac{SOD}{D} 1_s^{T\&20} \% G_{P1} \left( \frac{32}{12} \% \frac{48}{14} \frac{14}{12} (1 \& P_{NH3}) \right) C_4 \text{ \& } \frac{32}{12} k_{1R} 1_{1R}^{T\&20} C_4$$

sediment demand                              phytoplankton growth                              respiration

### 4. PHYTOPLANKTON NITROGEN

$$\frac{M(C_4 a_{nc})}{M t} \cdot G_{P1} a_{nc} C_4 \text{ \& } D_{P1} a_{nc} C_4 \text{ \& } \frac{v_{s4}}{D} a_{nc} C_4$$

growth                              death                              settling

### 8. ORGANIC NITROGEN

$$\frac{M C_7}{M t} \cdot D_{P1} a_{nc} f_{on} C_4 \text{ \& } k_{71} 1_{71}^{T\&20} \left( \frac{C_4}{K_{mPC} \% C_4} \right) C_7 \text{ \& } \frac{v_{s3} (1 \& f_{D7})}{D} C_7$$

death                              mineralization                              settling

### 3. AMMONIA NITROGEN

$$\frac{M C_1}{M t} \cdot D_{P1} a_{nc} (1 \& f_{on}) C_4 \% k_{71} 1_{71}^{T\&20} \left( \frac{C_4}{K_{mPC} \% C_4} \right) C_7 \text{ \& } G_{P1} a_{nc} P_{NH3} C_4 \text{ \& } k_{12} 1_{12}^{T\&20} \left( \frac{C_6}{K_{NIT} \% C_6} \right) C_1$$

death                              mineralization                              growth                              nitrification

### 2. NITRATE NITROGEN

$$\frac{M C_2}{M t} \cdot k_{12} 1_{12}^{T\&20} \left( \frac{C_6}{K_{NIT} \% C_6} \right) C_1 \text{ \& } G_{P1} a_{nc} (1 \& P_{NH3}) C_4 \text{ \& } k_{2D} 1_{2D}^{T\&20} \left( \frac{K_{NO3}}{K_{NO3} \% C_4} \right) C_2$$

nitrification                              growth                              denitrification

where

$$P_{NH3} = C_1 \left( \frac{C_2}{(K_{mN} \% C_1) (K_{mP} \% C_2)} \right) \% C_1 \left( \frac{K_{mN}}{(C_1 \% C_2) (K_{mP} \% C_2)} \right)$$

ammonia preference factor

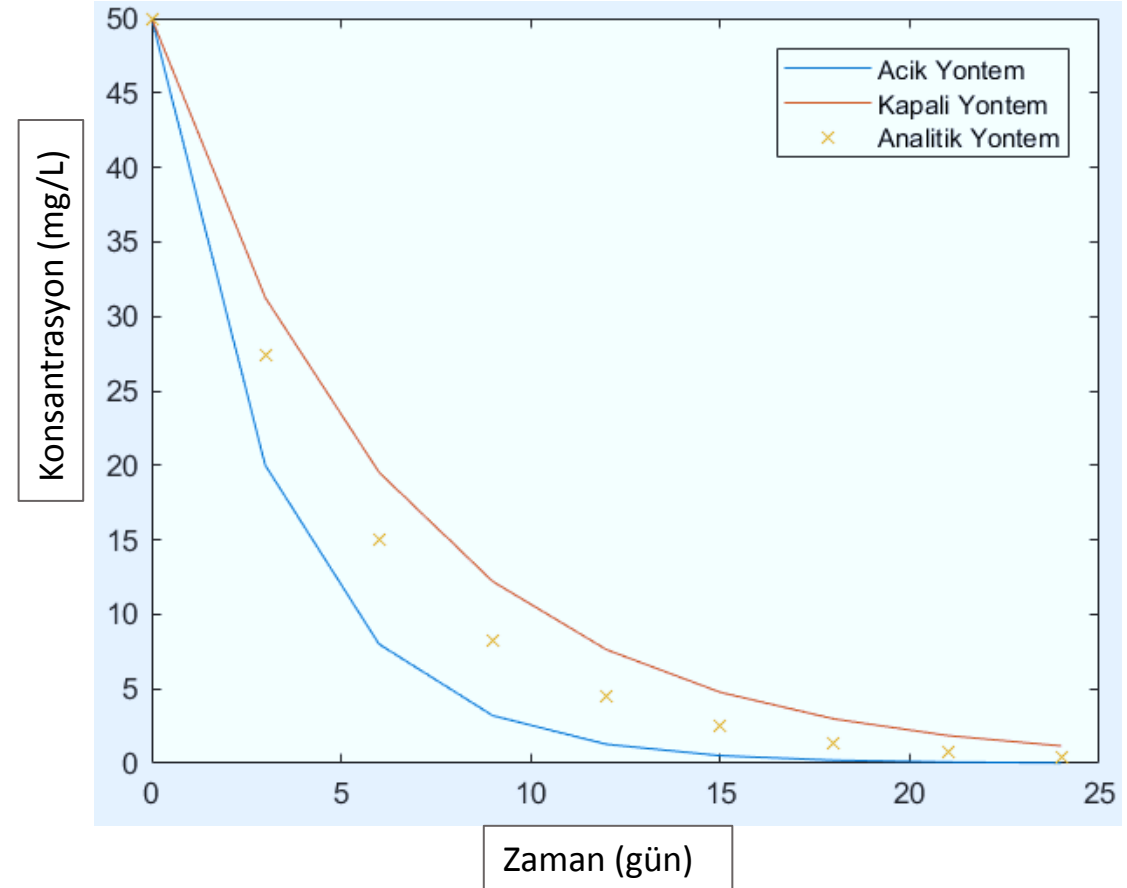
## Denklemlerin Çözüm Türleri

### • Analitik çözüm

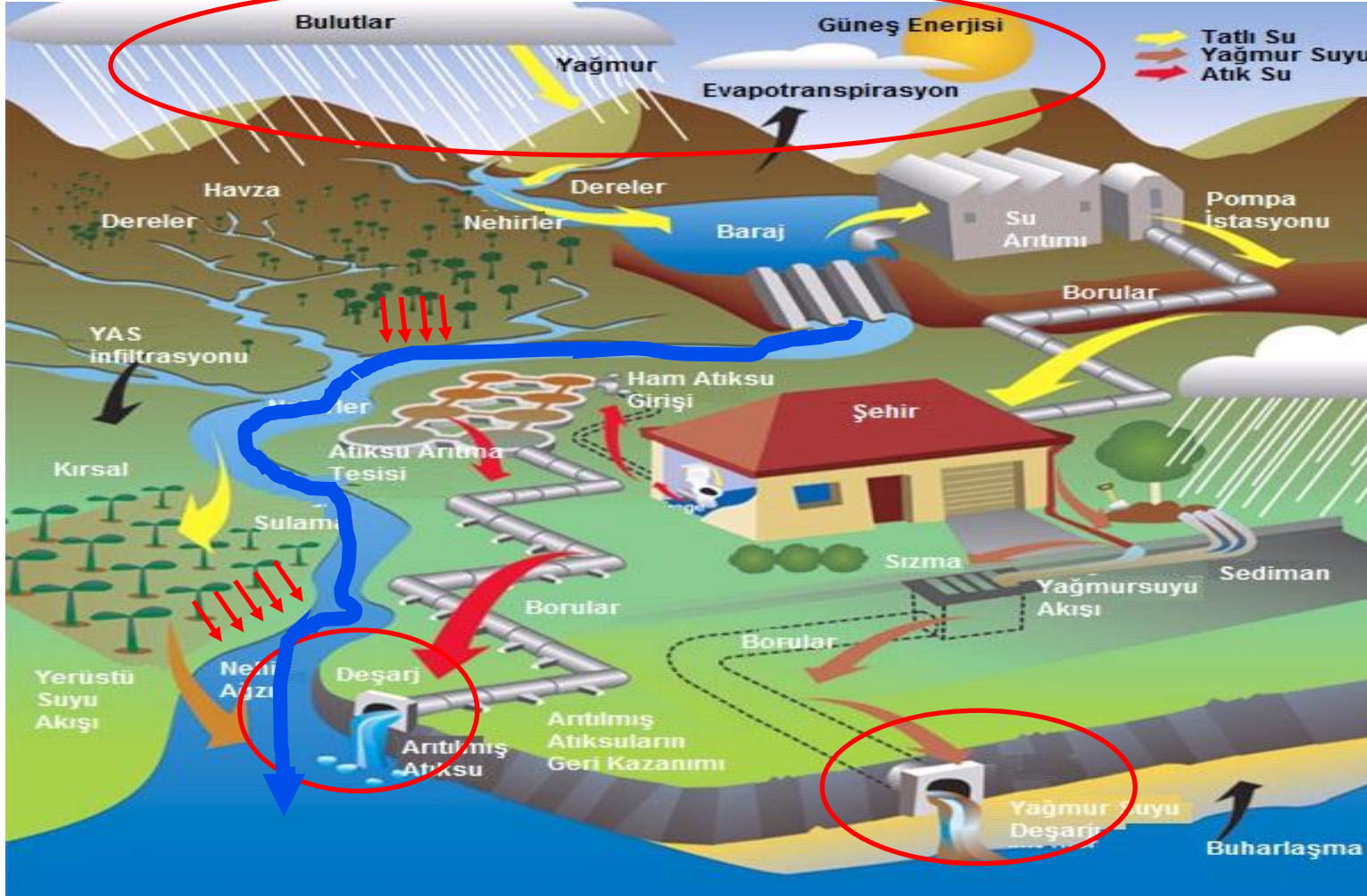
- Tam çözümdür.
- Matematik becerisi gerektirir.
- Çoğunlukla basitleştirilmiş ve idealleştirilmiş sistemlere uygulanabilir.

### • Sayısal çözüm

- Yaklaşık çözümdür.
- Bilgisayar kullanımı becerisi ve sayısal yöntemlerin bilinmesini gerektirir.
- Karmaşık sistemlere uygulanabilir.
- Zamansal Ayırıklaştırma: Açık yöntem, kapalı yöntem ve yarı kapalı yöntem
- Konumsal Ayırıklaştırma: Sonlu farklar ve Sonlu elemanlar



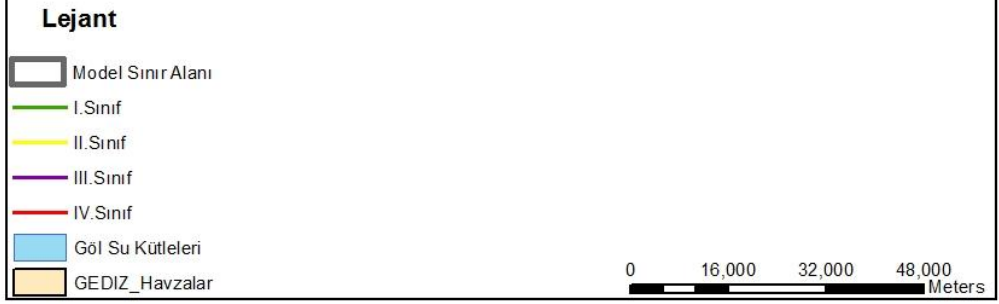
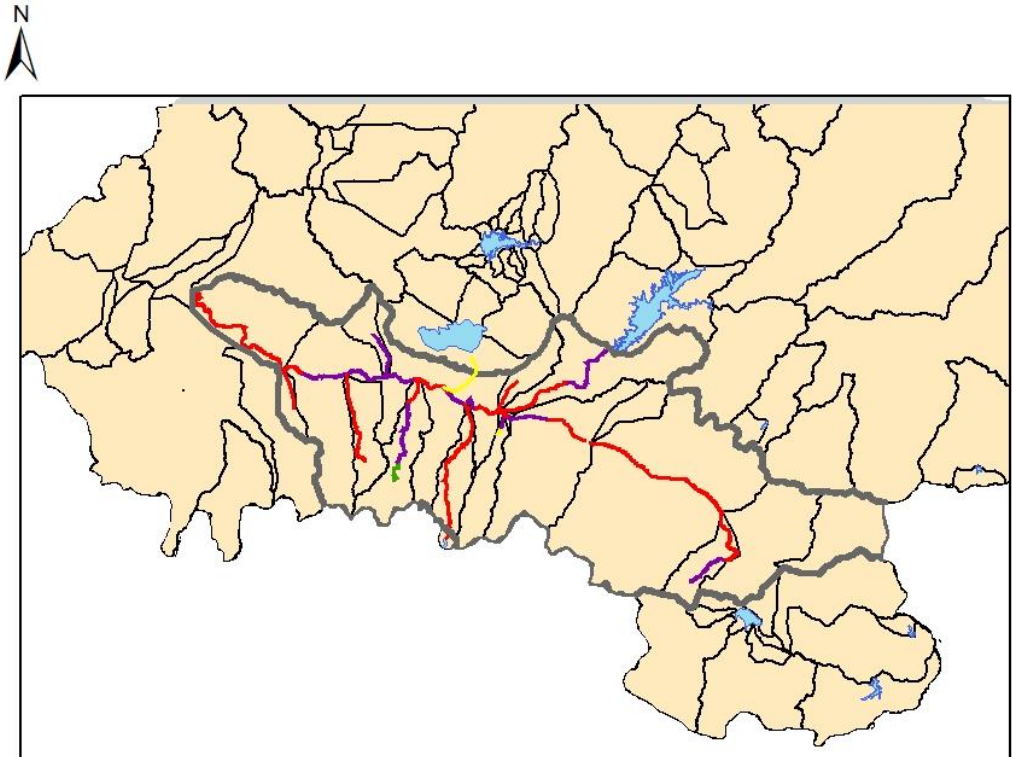
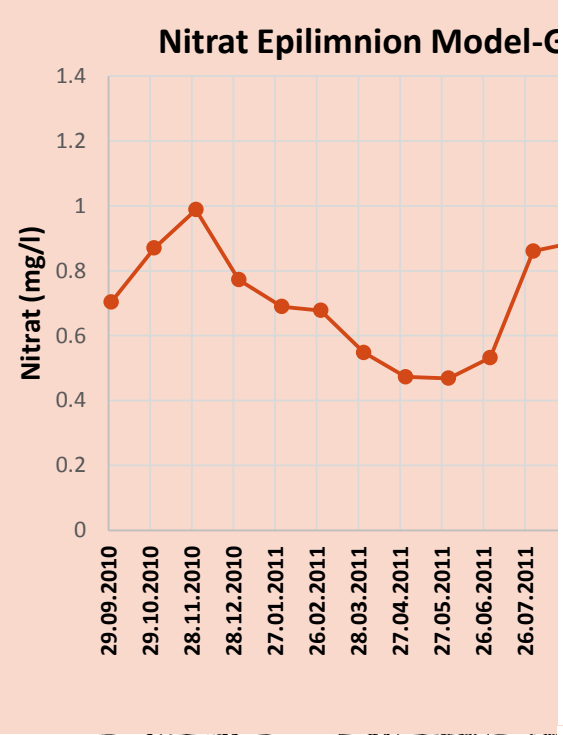
## İhtiyaç Duyulan Veriler



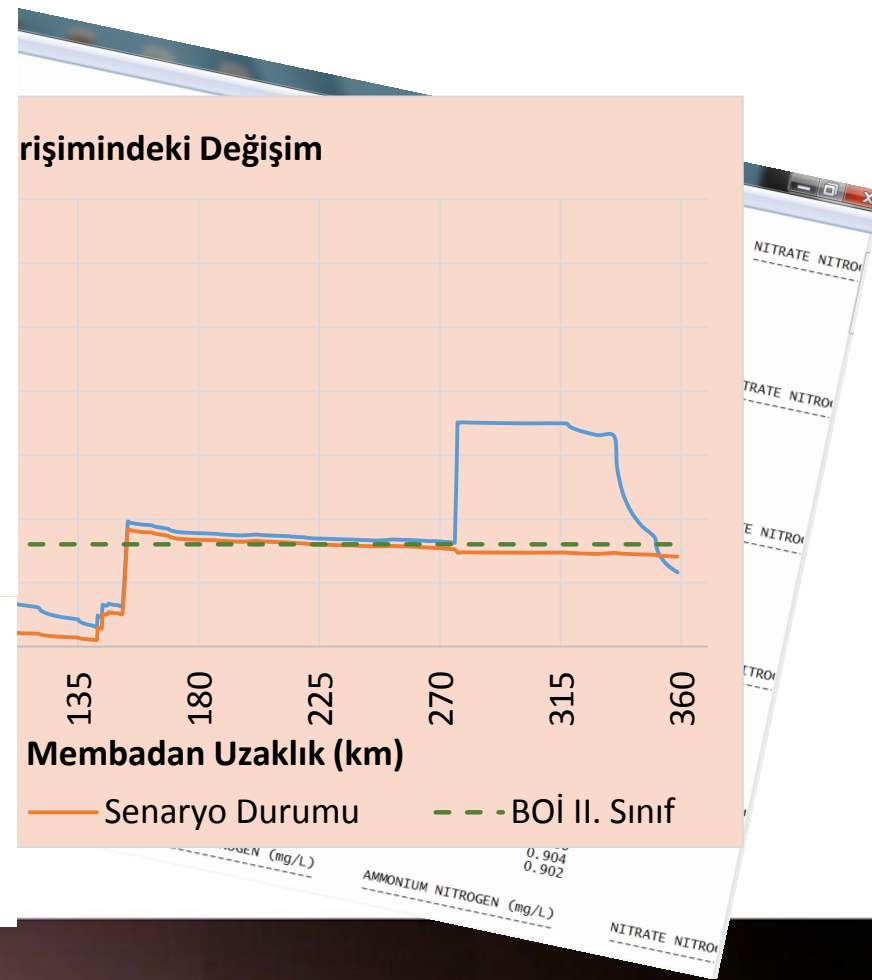


## Model Çıktılarının Yorumlanması

Su Kütlelerinin Toplam Kjeldahl Azot Parametresi Bazında Sınıflandırması



Y	Tributary	19.6	2536.00	6.58
4	Terminus	11.6	2851.2644	6.58
5	Tributary 5	3.8	2851.2644	6.58
5	Tributary 5	6	4466	6.58
5	Tributary 5	28.5	3655.6186	6.58
5	Terminus	24	2536.7847	7.1
6	Tributary 6	15	3165.6882	7.1
6	Tributary 6	8.28	3165.6882	7.1
6	Tributary 6	6	4466	7.1
6	Tributary 6	13	1477.6186	7.1
6	Terminus	16	2467.5634	7.1
6	Tributary 7	3.8	2467.5634	7.1
7	Tributary 7	6	4466	7.1
7	Tributary 7	16.3	2681.7533	7.1
7	Terminus	12.3	2116.4853	7.1
8	Tributary 8	4.15	2116.4853	7.1
8	Tributary 8	6	2116.4853	7.1
8	Terminus	6	2116.4853	7.1



## Model Geçerliliğinin Test Edilmesi

Kurulan modellerin yönetsel kararlar alınmasından önce geçerlilik kontrolü yapılmalıdır. Bu testler **kalibrasyon** ve **validasyon** süreçleridir.

Su kalitesi modellerinde kalibrasyon genellikle manuel yapılmaktadır. Su kalitesi modeli kinetik katsayıları manuel olarak değiştirilerek ölçüm sonuçlarına en yakın simülasyon sonuçları elde edilmektedir

- RMSE (Ortalama karesel hatanın karekökü)
- MAE (Ortalama mutlak hata)
- PBIAS (Yüzdesel hata)





## Model Geçerliliğinin Test Edilmesi

### Model Parametreleri

Katsayılar	Birimi	İlgili Durum Değişkeni	Türkçe Karşılığı
$K_{\text{Fito, Çoğalma, 20}}$	1/gün	Fitoplankton	20°C'de fitoplankton çoğalma hızı katsayısı
$\theta_{\text{Fito, Çoğalma}}$	-	Fitoplankton	Fitoplankton çoğalması için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü
$K_{\text{Fito, Solunum, 20}}$	1/gün	Fitoplankton	20°C'de fitoplankton solunum hızı katsayısı
$\theta_{\text{Fito, Solunum}}$	-	Fitoplankton	Fitoplankton solunumu için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü
$K_{\text{Fito, Ölüm, 20}}$	1/gün	Fitoplankton	20°C'de fitoplankton ölüm hızı katsayısı
$\theta_{\text{Fito, Ölüm}}$	-	Fitoplankton	Fitoplankton ölümü için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü
$k_{\text{Yarı doygunluk, Amonyum tercih}}$	-	Fitoplankton	Çözünmüş inorganik azot kaynağı olarak fitoplanktonun amonyum tercihi
$k_{\text{Yarı doygunluk, DIN}}$	g N/m <sup>3</sup>	Fitoplankton	Fitoplanktonun çözünmüş inorganik azot alımı için Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$k_{\text{Yarı doygunluk, SRP}}$	g P/m <sup>3</sup>	Fitoplankton	Fitoplanktonun çözünmüş reaktif fosfor alımı için Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$I_{\text{Doygunluk}}$	Herhangi bir ışık birimi	Fitoplankton	Işık şiddeti doygunluk değeri
$a_{\text{Klorofil-a:C}}$	-	Fitoplankton	Stokiyometrik klorofil-a : fitoplankton karbonu oranı
$a_{\text{N:Fito C}}$	-	Fitoplankton	Stokiyometrik azot: fitoplankton karbonu oranı
$a_{\text{P:Fito C}}$	-	Fitoplankton	Stokiyometrik fosfor: fitoplankton karbonu oranı
$a_{\text{O}_2:\text{Fito C}}$	-	Fitoplankton	Stokiyometrik çözünmüş oksijen: fitoplankton karbonu oranı
$K_{\text{POC, Çözünme, 20}}$	1/gün	Partikül haldeki organik madde	20°C'de partikül haldeki organik karbonun çözünme hızı katsayısı
$\theta_{\text{POC, Çözünme}}$	-	Partikül haldeki organik madde	Partikül haldeki organik karbonun çözünme hızı katsayısı için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü

Katsayılar	Birimi	İlgili Durum Değişkeni	Türkçe Karşılığı
$k_{\text{Yarı doygunluk, DON, Miner}}$	g N/m <sup>3</sup>	Çözünmüş Organik Madde	Çözünmüş organik azot mineralizasyonu için Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$K_{\text{DOP, Miner, 20}}$	1/gün	Çözünmüş Organik Madde	20°C'de çözünmüş organik fosforun mineralizasyon hız katsayısı
$\theta_{\text{DOP, Miner}}$	-	Çözünmüş Organik Madde	Çözünmüş organik fosforun mineralizasyon hız katsayısı için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü
$k_{\text{Yarı doygunluk, DOP, Miner}}$	g P/m <sup>3</sup>	Çözünmüş Organik Madde	Çözünmüş organik fosfor mineralizasyonu için Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$k_{\text{Nitr, 20}}$	1/gün	Amonyum	20°C'de nitrifikasyon hız katsayısı
$\theta_{\text{Nitr}}$	-	Amonyum	Nitrifikasyon hız katsayısı için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü
$k_{\text{Yarı doygunluk, Nitr, NH}_4\text{-N}}$	g N/m <sup>3</sup>	Amonyum	Nitrifikasyon için amonyumun Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$k_{\text{Yarı doygunluk, Nitr, O}_2}$	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Amonyum	Nitrifikasyon için çözünmüş oksijenin Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$Y_{\text{Denitr}}$	g C/g N	Nitrat	Denitrifikasyon ile bakteri biyokütlesi oluşumu
$k_{\text{Denitr, 20}}$	1/gün	Nitrat	20°C'de denitrifikasyon hız katsayısı
$\theta_{\text{denitr}}$	-	Nitrat	Denitrifikasyon hız katsayısı için Arrhenius sıcaklık düzeltme faktörü
$k_{\text{Yarı doygunluk, Denitr, NO}_3\text{-N}}$	g N/m <sup>3</sup>	Nitrat	Denitrifikasyon için nitratın Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$k_{\text{Yarı doygunluk, Denitr, O}_2}$	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Nitrat	Denitrifikasyon için çözünmüş oksijenin Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$k_{\text{Yarı doygunluk, DOC}}$	g C/m <sup>3</sup>	Nitrat	Denitrifikasyon için çözünmüş organik karbonun Monod yarı doygunluk konsantrasyonu
$a_{\text{C:N, Denitr}}$	-	Nitrat	Denitrifikasyon için stokiyometrik karbon: azot oranı

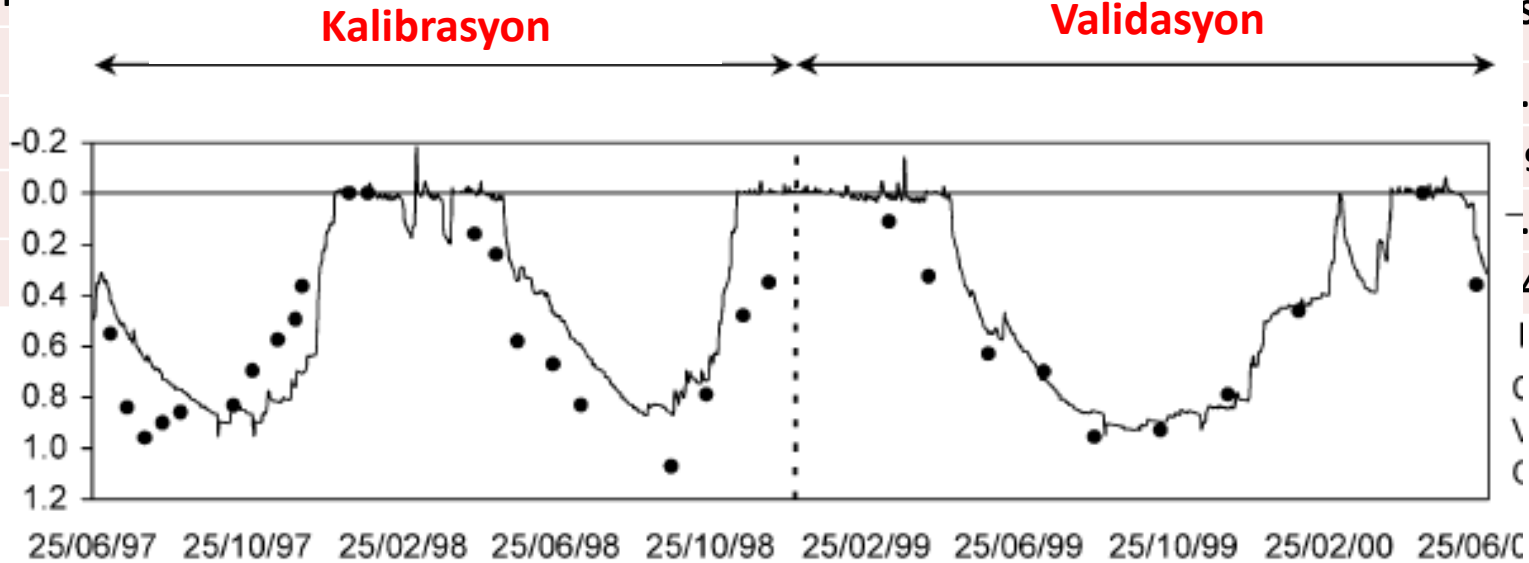
## Model Geçerliliğinin Test Edilmesi

Kalibre edilen su kalitesi model parametrelerinin kalibrasyon veri setinden ayrı olarak bir başka döneme ait veri seti ile kalibrasyonda bulunan parametrelerle model tekrar çalıştırılır ve sonuçlar değerlendirilir.

**Kalibrasyon sonuçlarının değerlendirmesi**

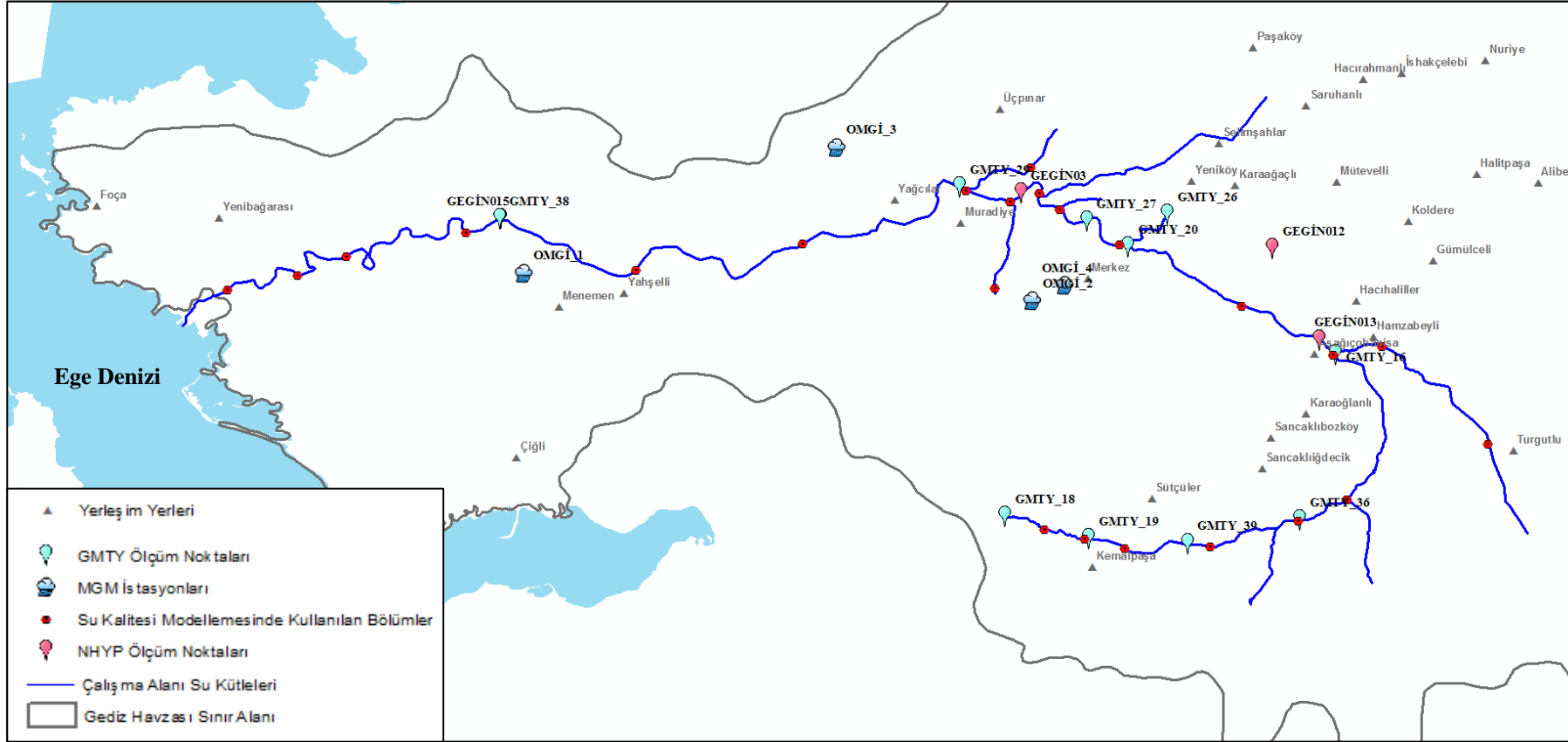
**Validasyon sonuçlarının değerlendirilmesi**

Parametre	RM
ÇO	
BOİ <sub>5</sub>	
TN	
TKN	



S (%)	MAE (mg/L)
.41	1.51
93	14.37
.78	1.06
48	1.04

## Çalışma Alanı Genel Durumu



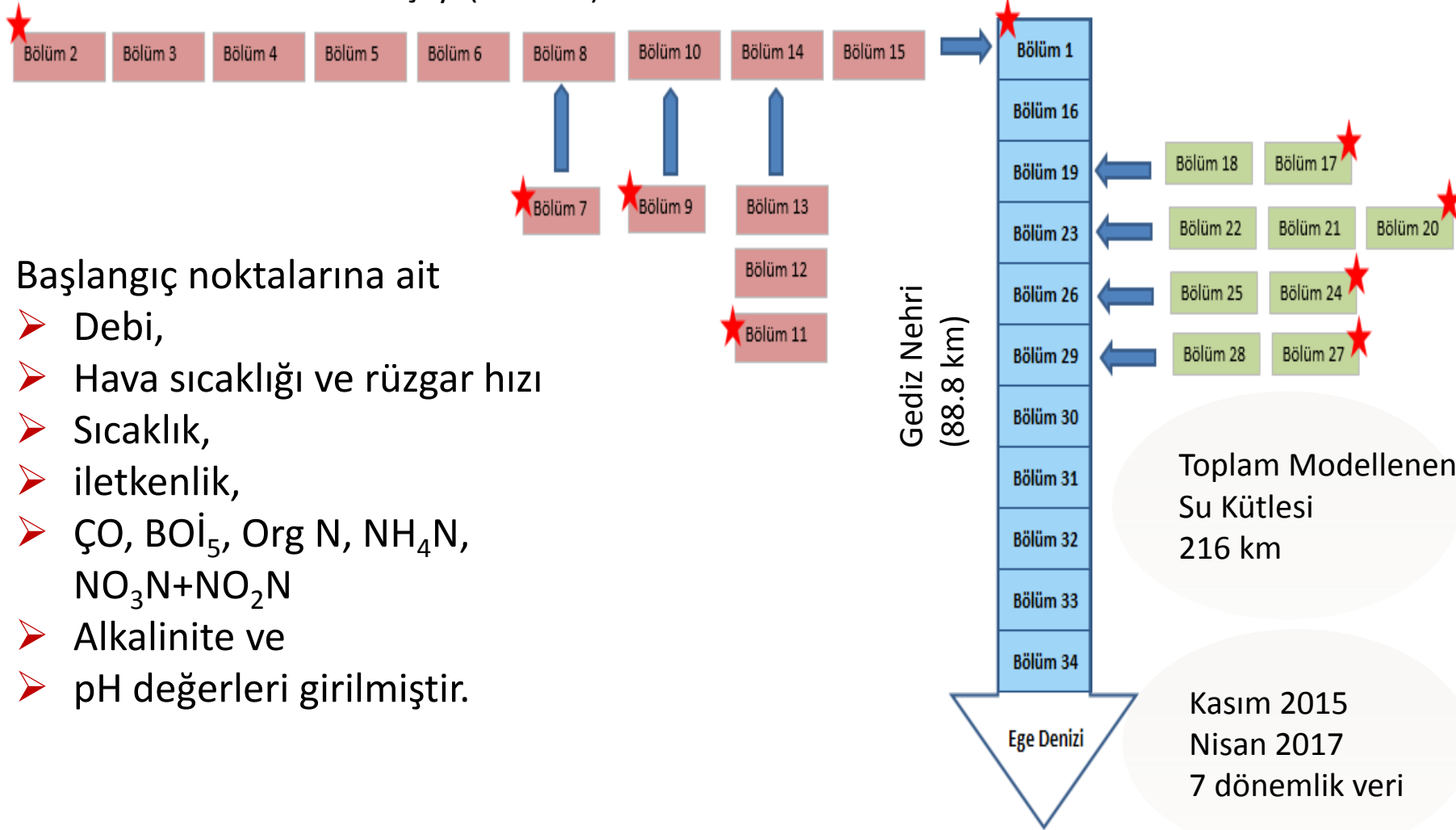


## Havza Modeli (QUAL2K)

- Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından 2004 yılında yayınlanmıştır.
- Havzadaki probleme odaklı mümkün olan en basit modelin seçimi
- Tek boyutlu ve kararlı durum modeli
- Literatür araştırması sonucu pek çok coğrafyada kullanılmış olması (Kenya, Brezilya, Çin)
- Kullanıcı grafik arayüzü olarak Microsoft Excel ve hesaplamaların yapılması için ise Fortran executable dosyalarını içermektedir.
- Kullanıcı dostu olması ve kullanım kılavuzunun bulunması

## Havza Modeli (QUAL2K)

Nif Çayı (53.8 km)



Başlangıç noktalarına ait

- Debi,
- Hava sıcaklığı ve rüzgar hızı
- Sıcaklık,
- iletkenlik,
- $\text{CO}$ ,  $\text{BOI}_5$ , Org N,  $\text{NH}_4\text{N}$ ,  $\text{NO}_3\text{N}+\text{NO}_2\text{N}$
- Alkalinite ve
- pH değerleri girilmiştir.



## Girdi Verileri

### Noktasal Yük Girdisi

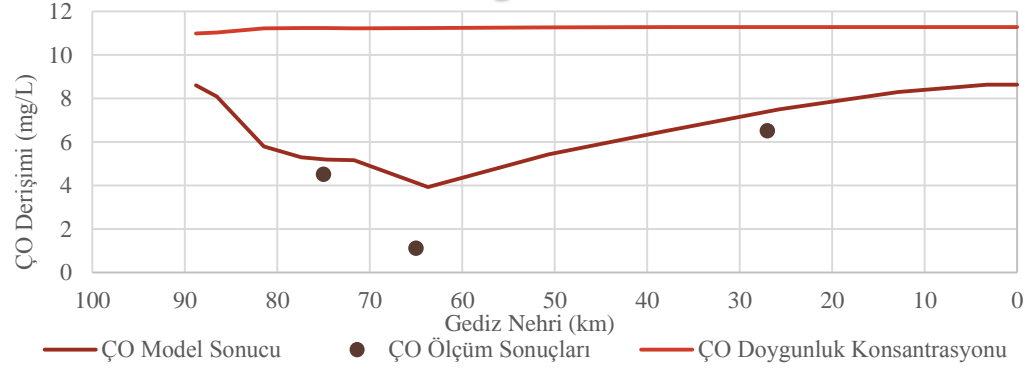
- Eysel AAT deşarjları
- Eysel doğrudan deşarjlar
- Endüstriyel deşarjlar
- Dönemsel değişiklik gösteren zeytinyağı üretim tesisleri
- Ölçüm yapılmayan tesislerdeki kirlilik yükleri için ise havza içinde belirlenen temsili tesis verileri kullanılmıştır.

### Yayıllı Yük Girdisi

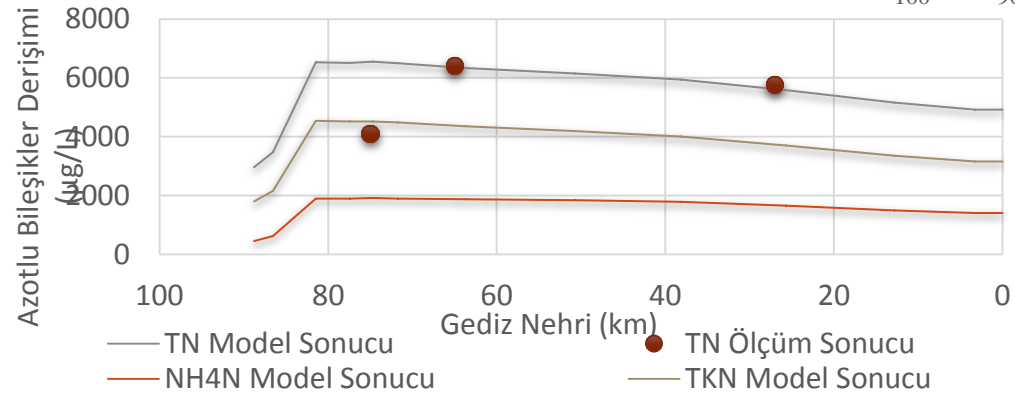
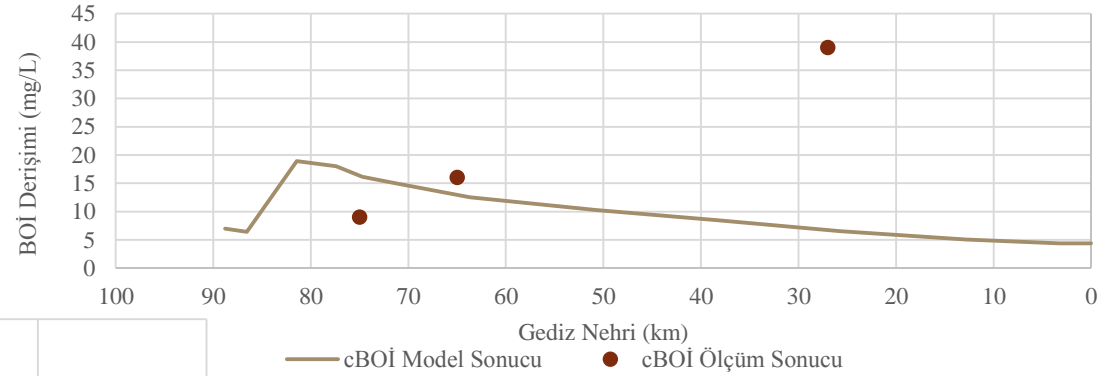
- Arazi Kullanımı Kaynaklı (CORINE 2012)
  - Meskun Alan
  - Ormanlık Alan
  - Çayır Mera
  - Tarımsal faaliyetler
- Hayvancılık faaliyetleri
- Katı atık sızıntı suları

Bölüm Adı	Bölü No	Uzunluk (km)	Memba (km)	Mansap (km)	Memba Rakım (m)	Mansap Rakım (m)	Taban Eğimi	Manning Katsayısı	Taban Genişliği (m)	Şev Kanal Eğimi
Ana kol (Gediz Nehri)	1	4.50	88.8	84.3	27.000	26.000	0.0008	0.0500	7.00	0.2000
Yankol 1 (Nif Çayı)	2	2.90	53.8	50.9	205.000	184.000	0.0002	0.0600	3.00	0.1000
Yankol 1	3	3.00	50.9	47.9	184.000	161.000	0.0002	0.0600	4.00	0.2000
Yankol 1	4	3.00	47.9	44.9	161.000	141.000	0.0002	0.0500	4.00	0.2000
Yankol 1	5	5.60	44.9	39.3	141.000	111.000	0.0002	0.0500	4.00	0.2000
Yankol 1	6	3.30	39.3	36.0	111.000	96.000	0.0002	0.0500	5.00	0.2000
Yankol 2 (Armutlu Çayı)	7	6.39	6.39	0.0	162.000	96.000	0.0002	0.0600	2.00	0.0090
Yankol 1	8	6.00	36.0	30.0	96.000	73.000	0.0002	0.0500	5.00	0.2000
Yankol 3	9	5.70	5.7	0.0	154.000	73.000	0.0002	0.0600	1.80	0.0090
Yankol 1	10	13.00	30.0	17.0	73.000	37.000	0.0002	0.0500	5.00	0.2000

## Model Kalibrasyon Grafikleri



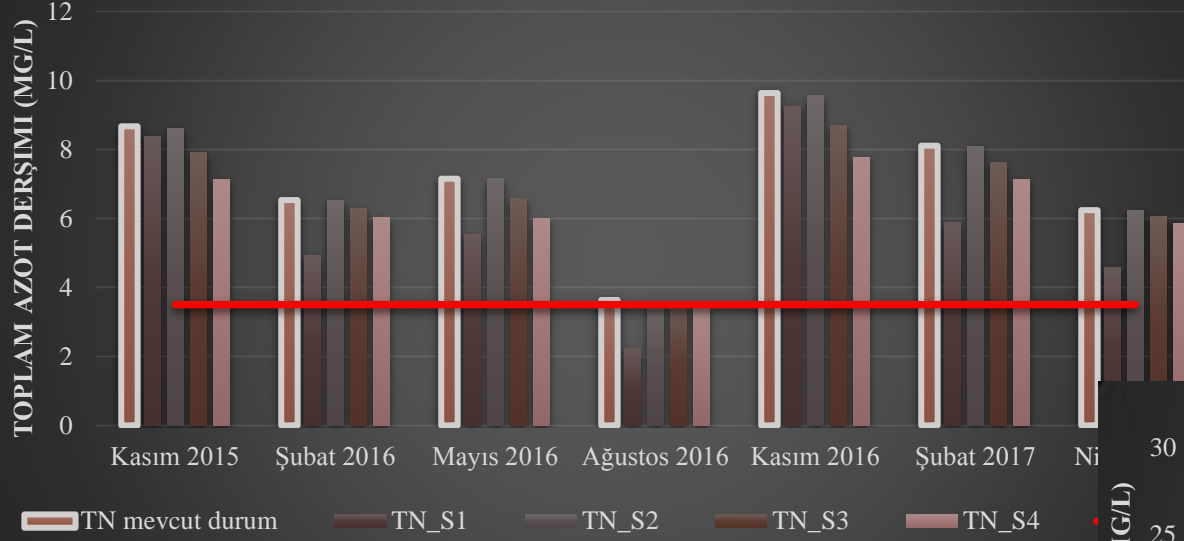
Gediz Nehri  
Şubat 2016



## Senaryo Analizleri

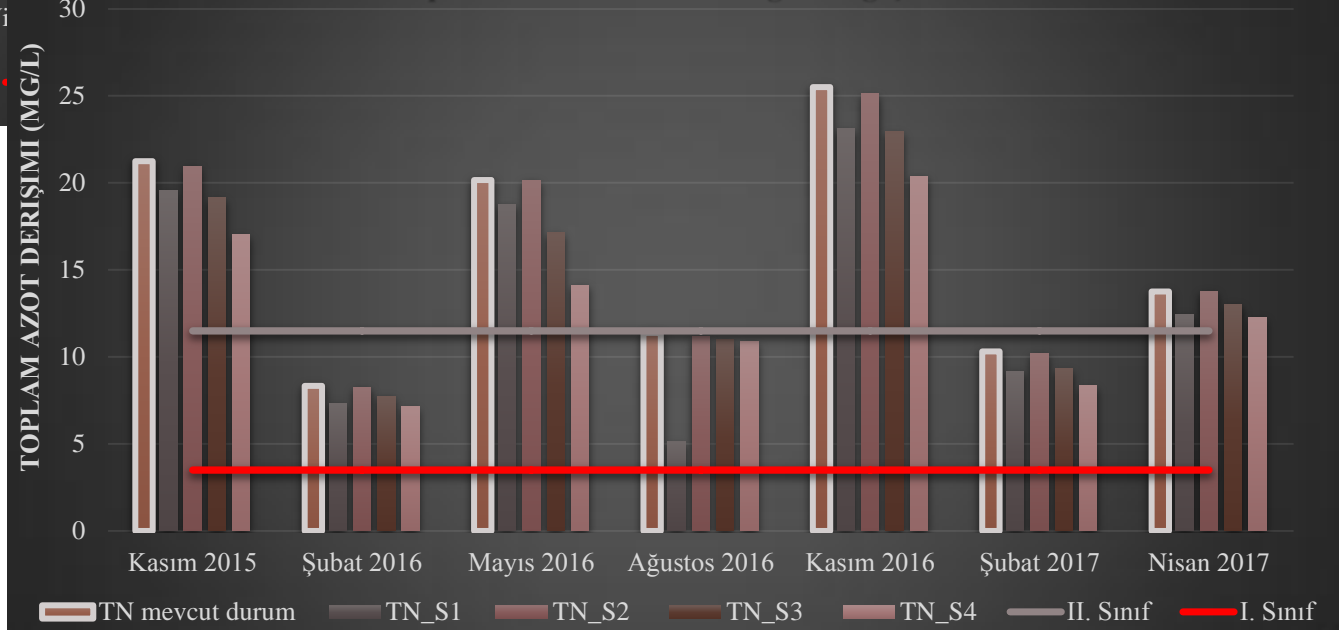


## Toplam Azot Zamana Bağlı Değişimi



Mevcut Durum ve Senaryo Durumlarında Gediz Nehri 81.45 km'deki TN Konsantrasyonu

## Toplam Azot Zaman Bağlı Değişimi



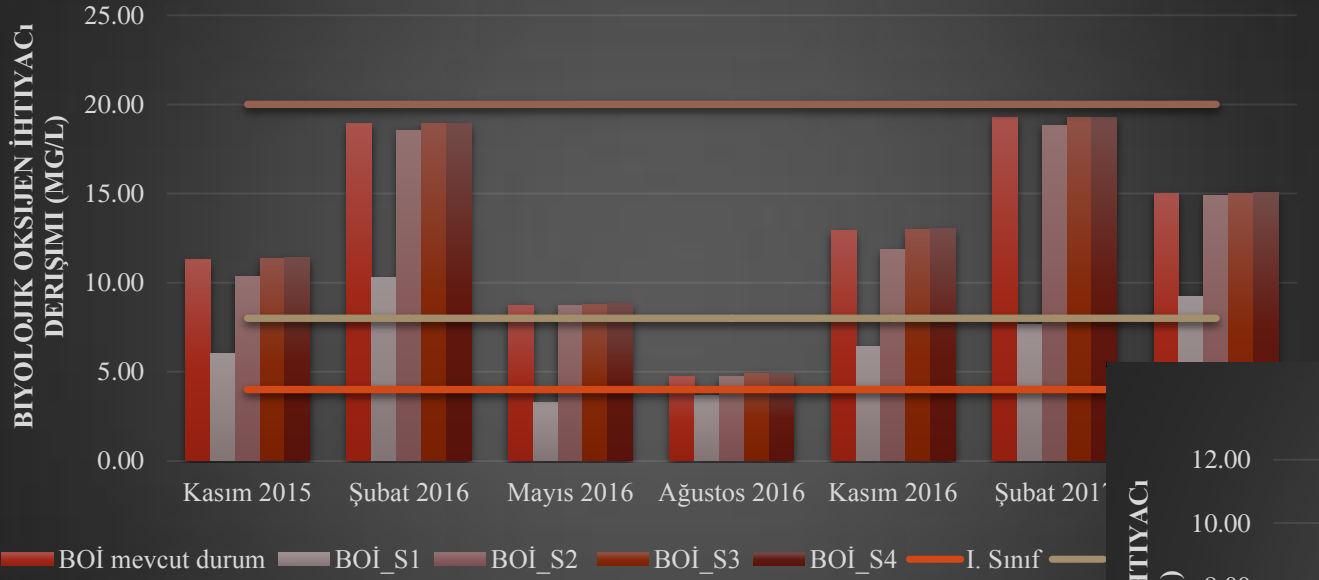
Mevcut Durum ve Senaryo Durumlarında Gediz Nehri 25.7 km'deki TN Konsantrasyonu



# SU KAYNAKLARININ MODELLENMESİ

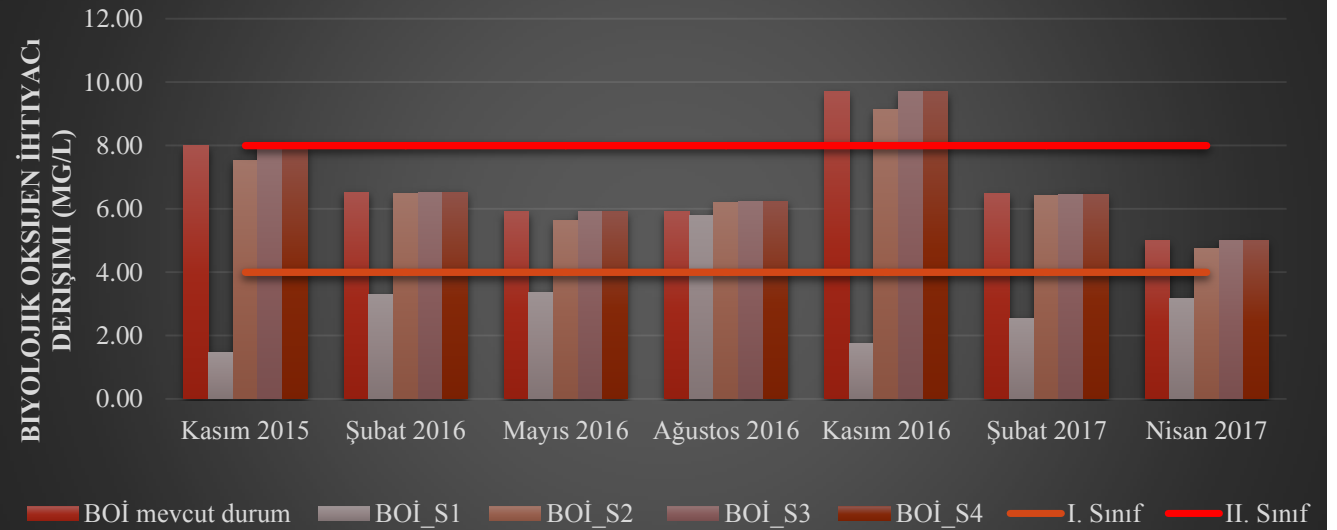


## Biyolojik Oksijen İhtiyacı Zamana Bağlı Değişimi



Mevcut Durum ve Senaryo Durumlarında Gediz Nehri 81.45 km²'deki BOİ<sub>5</sub> Konsantrasyonu

## Biyolojik Oksijen İhtiyacı Zamana Bağlı Değişim



Mevcut Durum ve Senaryo Durumlarında Gediz Nehri 25.7 km²'deki BOİ<sub>5</sub> Konsantrasyonu



# Teşekkür Ederim

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü  
İzleme ve Su Bilgi Sistemi Daire Başkanlığı  
Modelleme Çalışma Grubu

Gizem KIYMAZ

03/04/2019