

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ACISU DERESİ'NDEKİ KONVANSİYONEL SU KİRLETİCİLERİNİN
SU KALİTE ANALİZİ SİMÜLASYON PROGRAMI (WASP8) İLE
MODELLENMESİ**

Pelin ORHAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ACISU DERESİ'NDEKİ KONVANSİYONEL SU KİRLETİCİLERİNİN
SU KALİTE ANALİZİ SİMÜLASYON PROGRAMI (WASP8) İLE
MODELLENMESİ**

Pelin ORHAN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ACISU DERESİ'NDEKİ KONVANSİYONEL SU KİRLETİCİLERİNİN
SU KALİTE ANALİZİ SİMÜLASYON PROGRAMI (WASP8) İLE
MODELLENMESİ**

**Pelin ORHAN
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez TÜBİTAK tarafından 119Y267 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEMMUZ 2022

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ACISU DERESİ'NDEKİ KONVANSİYONEL SU KİRLETİCİLERİNİN
SU KALİTE ANALİZİ SİMÜLASYON PROGRAMI (WASP8) İLE
MODELLENMESİ

Pelin ORHAN
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21/06/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)
Doç. Dr. İlker HARMAN
Doç. Dr. Güray DOĞAN

ÖZET

ACISU DERESİ'NDEKİ KONVANSİYONEL SU KİRLETİCİLERİNİN SU KALİTE ANALİZİ SİMÜLASYON PROGRAMI (WASP8) İLE MODELLENMESİ

Pelin ORHAN

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Haziran 2022; 105 sayfa

Bu çalışmada Antalya ilinin yüzeysel su kaynaklarından biri olan Acısu Deresi'nin su kalitesi incelenip Su Kalitesi Analiz ve Simülasyon Programı (WASP) kullanılarak modellenmiş ve derenin su kalitesi yönetimine yönelik bir çalışma amaçlanmıştır. Acısu Deresi üzerinde 12 adet izleme istasyonu belirlenip bu izleme noktalarında 1 yıl süre ile aylık periyotlarda yerinde ölçümler gerçekleştirilmiş ve numuneler alınarak analizler yapılmıştır. İzleme programı fizikokimyasal (çözünmüş oksijen, sıcaklık, pH, iletkenlik, nitrit azotu, nitrat azotu, fosfor vb.), bakteriyolojik (toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok ve Escherichia coli) parametreler ve pestisitler ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle su kalite modelinin kalibrasyon ve doğrulaması yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, mevcut durum ve su kalitesine yönelik senaryolar kapsamında incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Senaryolar kapsamında noktasal kirlilik yüklerinin %25 artış ve azalması ile yayılı yüklerin %25 artış ve azalması durumları incelenmiştir. Kirlilik yüklerinin karşılaştırıldığında Acısu Deresi'ni en çok etkileyen parametrelerin toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) ve bakteriyolojik parametreler olduğu belirlenmiştir. Azot ve fosfor formları ile bakteriyolojik kirlilik dikkate alındığında kirlilik kaynaklarının bölgedeki hayvancılık faaliyetleri, arıtma tesislerinden gelen atıksu deşarjları, kentsel alanlar ve foseptikler olduğu gözlemlenmiştir. Tez çalışmasında, Acısu Deresi'nin su kalitesi ve miktarı deterministik bir model kullanılarak dinamik olarak modellenmiş, farklı kirlilik artış ve azalma senaryoları geliştirilerek Acısu Deresi'nin bu olası senaryolar karşısındaki akıbeti incelenmiş ve Acısu Deresi'nin su kalitesinin arttırılması adına çözüm önerileri sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Acısu Deresi, Su kalite modellemesi, Su Kirliliği, WASP

JÜRİ: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Doç. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

Doç. Dr. Güray DOĞAN

ABSTRACT

MODELLING of CONVENTIONAL WATER POLLUTANTS in ACISU CREEK USING WATER QUALITY ANALYSIS and SIMULATION PROGRAM (WASP8)

Pelin ORHAN

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

June 2022; 105 pages

In this study, the water quality of Acısu Stream, which is one of the surface water resources of Antalya province, was examined and modeled using the Water Quality Analysis and Simulation Program (WASP), and a study on the water quality management of the stream was aimed. 12 monitoring stations were determined on Acısu Stream and on-site measurements were carried out monthly for 1 year at these monitoring points. Besides, lab analyses were conducted for the collected samples. The monitoring program was carried out with physicochemical (dissolved oxygen, temperature, pH, conductivity, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, phosphorus, etc.), bacteriological (total coliform, fecal coliform, fecal streptococcus, and *Escherichia coli*) parameters, and pesticides. First of all, the calibration and verification of the water quality model were done. The results obtained from the study were assessed and a number of scenarios was investigated and compared with the current situation. Within the scope of the scenarios, 25% increase and decrease of point pollution loads and 25% increase and decrease of diffused loads were examined. When the pollution loads were compared, it was determined that the parameters that most affected Acısu Creek were total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and bacteriological parameters. When nitrogen and phosphorus forms and bacteriological pollution are taken into account, it has been observed that the sources of pollution are livestock activities in the region, wastewater discharges from treatment plants, urban areas, and cesspools. In the thesis study, the water quality and quantity of Acısu Stream were dynamically modeled using a deterministic model. Different pollution increase and decrease scenarios were developed, the fate of Acısu Stream against these possible scenarios was examined, and solutions were presented in order to improve the water quality of Acısu Stream.

KEYWORDS: Acısu Creek, WASP, Water quality modeling, Water Pollution

COMMITTEE: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

Assoc. Prof. Dr. Güray DOĞAN

ÖNSÖZ

TÜBİTAK tarafından desteklenmiş olan 119Y267 nolu proje kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu TÜBİTAK (Proje No: 119Y267)'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim ve gelecekteki mesleki hayatımda bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU ve teşekkürün az kalacağı diğer hocama, bu çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak bana yol gösteren, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ayrıca kıymetli zamanını benim hazırladığım teze ayırdığı için ve bana kattığı her değerli bilgi için Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmanın araştırma ve deney süreçlerinde yardımını esirgemeyen Antalya'da bulunan Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü Kepez Yerleşkesi'ndeki Müdürümüz Serkan ERKAN'a ve kurumda çalışan tüm çalışanlara ayrıca bu kurumda görevli olan arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını ve değerli bilgilerini benimle paylaştıkları için projede araştırmacı olan Dr. Mehmet Ali Turan KOÇER'e, proje ekibimizde yer alan Dr. Murat Yeşiltaş'a ve Seçil TÜZÜN DUĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmamızda arazinin zorlu koşullarında bize destek olan, bizden yardımını esirgemeyen Kerim ELÇİ'ye çok teşekkür ederim. Deneylerin yürütülmesinde destek veren proje bursiyer öğrencisi Ayşenur USLU'ya teşekkür ederim.

Bu süreçte hayatıma giren ve zor zamanlarda sıkılmadan yanımda duran, her konuda yaşadığım zorlukları kolaylaştıran, çalışmamdaki en büyük destekçilerimden biri olan Gökhan ŞAHİN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca beni destekleyen, hayata karşı güçlü duruşuyla örnek aldığım ve hakkını asla ödeyemeyeceğim en büyük destekçim annem Serpil PEKER'e, her daim yanımda olan, desteğini her zaman bana hissettiren kardeşim Begüm ORHAN' a ve bu süreçte dualarını benden esirgemeyen ailemizin en büyüğü sevgili anneannem Güler PEKER' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Acısu Deresi’ndeki Konvansiyonel Su Kirleticilerinin Su Kalite Analizi Simülasyon Programı (WASP8) İle Modellenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

...../...../2022

Pelin ORHAN



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	5
2.1. Su Yönetimi	5
2.2. Havza Yönetimi	5
2.3. Ülkemizde Su Yönetimi	6
2.4. WASP Modeli Uygulamaları	7
2.5. Su Kalite Parametreleri	9
2.5.1. Fiziksel Parametreler	9
2.5.2. Kimyasal Parametreler	9
2.5.3. Bakteriyolojik Parametreler	11
3. MATERYAL VE METOD	12
3.1. Acısu Deresi Çalışma Sahası	12
3.2. Su Kalitesi İzleme Çalışması	14
3.3. Su Kalitesi İzleme Parametreleri, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri	24
3.4. Model Uygulaması	28
3.4.1. Modelin Genel Tanıtımı	28
3.5. Model Kalibrasyonu ve Doğrulması	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. İzleme Sonuçları	36

4.2. Gübre ve Pestisitler.....	71
4.3. Model Kalibrasyonu	39
4.4. Model Doğrulaması	52
4.5. Yönetim Senaryoları.....	65
4.6. Acısu-0 Noktası için Senaryo-1 ve Senaryo-2 Sonuçları	71
4.7. Acısu-0 Noktası için Senaryo-3 ve Senaryo-4 Sonuçları	77
5. SONUÇLAR	82
6. KAYNAKLAR.....	84
7. EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
%	: Yüzde
μ S	: Mikrosiemens
$^{\circ}$ C	: Derece santigrat
cm	: Santimetre
km	: Kilometre
L	: Litre
mL	: Mililitre
m	: Metre
km ²	: Kilometrekare
m ³	: Metreküp
s	: Saniye
mg	: Miligram
μ g	: Mikrogram
pH	: Hidrojen iyonu potansiyeli

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AKM	: Askıda Katı Madde
ÇO	: Çözülmüş Oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü

Eİ : Elektriksel İletkenlik

FK : Fekal Koliform

FS : Fekal Streptokok

HKEP : Havza Koruma Eylem Planı

KOI : Kimyasal Oksijen İhtiyacı

NH_4^+ : Amonyum

$\text{NH}_4\text{-N}$: Amonyum Azotu

NHYP : Nehir Havza Yönetim Planı

NO_2^- : Nitrit

$\text{NO}_2\text{-N}$: Nitrit Azotu

NO_3^- : Nitrat

$\text{NO}_3\text{-N}$: Nitrat Azotu

P : Fosfor

PO_4^{3-} : Fosfat

RG : Resmi Gazete

SÇD : Su Çerçeve Direktifi

SKKY : Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

TÇM : Toplam Çözünmüş Madde

TK : Toplam Koliform

TOK : Toplam Organik Karbon

TP : Toplam Fosfor

USEPA: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)

YSKY : Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. İnceleme Alanının Lokasyon Haritası	16
Şekil 3.2. Acısu Dere Havzası'nın arazi kullanım/bitki örtüsü haritası.....	17
Şekil 3.3. Acısu Deresi ve denize döküldüğü alandaki turizm tesislerinin görüntüsü....	18
Şekil 3.4. Acısu Deresi için yürütülen izleme çalışmasında ölçüm/örnekleme yapılan istasyonlar	21
Şekil 3.5. Acısu Deresi'nin memba noktasının görünümü	23
Şekil 3.6. Acısu-6 noktasının 07 Temmuz 2021 tarihindeki görünümü (akış yok, durgun su olduğu için ölçüm ve örnekleme yapılmamıştır).....	24
Şekil 3.7. Acısu-5 noktasının 07 Temmuz 2021 tarihinde görünümü	25
Şekil 3.8. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu-4 ve b) Acısu-3 izleme noktalarının görünümü	25
Şekil 3.9. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu-2 ve b) Acısu-1 izleme noktalarının görünümü	26
Şekil 3.10. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu-0 ve Acısu Yankol-1 (akış yok, durgun su ölçüm ve örnekleme yapılmadı) izleme noktalarının görünümü	27
Şekil 3.11. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu Yankol-2 ve b) Acısu Yankol-3 İzleme noktalarının görünümü	28
Şekil 3.12. a) Yaz mevsimi arazi çalışması sırasında köprü üstünden numune alımı, b) Kış mevsimi arazi çalışması sırasında dere yatağından YSI EXO2 model multiparametrik ölçüm sondası kullanılarak anlık ölçümlerin gerçekleştirilmesi	30
Şekil 3.13. a) Modelin ana ekran görüntüsü ve b) Model açıldıktan sonraki ekran görüntüsü.....	33
Şekil 3.14. WASP model kutuları ve model ağı (Ambrose 1993).....	33
Şekil 3.15. WASP model çerçevesi (Knights 2019)	34
Şekil 3.16. WASP8 Gelişmiş Ötrofikasyon Modülü (Martin 2017).....	38
Şekil 3.17. WASP8 modelinin Acısu Deresi'ne uygulanması için oluşturulan model segment ağı.....	39

Şekil 4.1. a) Belek-2 ve b) Serik AAT'lerin son 3 yıldaki aylık atıksu deşarj debileri.....	48
Şekil 4.2. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen akım tahminleri ve ölçümler	51
Şekil 4.3. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen sıcaklık tahminleri ve ölçümler.....	52
Şekil 4.4. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) tahminleri ve ölçümler.....	54
Şekil 4.5. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen çözünmüş oksijen (ÇO) tahminleri ve ölçümler	55
Şekil 4.6. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen amonyak azotu (NH ₄ -N) tahminleri ve ölçümler	56
Şekil 4.7. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen nitrat azotu (NO ₃ -N) tahminleri ve ölçümler	57
Şekil 4.8. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen inorganik fosfor (İnorg. P) tahminleri ve ölçümler	58
Şekil 4.9. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen klorofil-a tahminleri ve ölçümler	59
Şekil 4.10. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen askıda katı madde (AKM) tahminleri ve ölçümler	60
Şekil 4.11. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen akım tahminleri ve ölçümler	62
Şekil 4.12. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen sıcaklık tahminleri ve ölçümler.....	63

Şekil 4.13. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) tahminleri ve ölçümler.....	64
Şekil 4.14. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen çözünmüş oksijen (ÇO) tahminleri ve ölçümler	65
Şekil 4.15. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen amonyak azotu (NH ₄ -N) tahminleri ve ölçümler	66
Şekil 4.16. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen nitrat azotu (NO ₃ -N) tahminleri ve ölçümler	67
Şekil 4.17. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen inorganik fosfor (İnorg. P) tahminleri ve ölçümler	68
Şekil 4.18. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen klorofil-a tahminleri ve ölçümler.....	69
Şekil 4.19. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen askıda katı madde (AKM) tahminleri ve ölçümler	70
Şekil 4.20. Acısu-0 izleme noktasında sıcaklık parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları.....	74
Şekil 4.21. Acısu-0 izleme noktasında Çözünmüş Oksijen (ÇO) parametresi için parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	75
Şekil 4.22. Acısu-0 izleme noktasında Amonyak Azotu (NH ₄ -N) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları.....	76
Şekil 4.23. Acısu-0 izleme noktasında Nitrat Azotu (NO ₃ -N) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	77
Şekil 4.24. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	78
Şekil 4.25. Acısu-0 izleme noktasında İnorganik Fosfor (İnorg. P) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları.....	80
Şekil 4.26. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Fosfor (TP) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	81

Şekil 4.27. Acısu-0 izleme noktasında Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	82
Şekil 4.28. Acısu-0 izleme noktasında akım değeri için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	83
Şekil 4.29. Acısu-0 izleme noktasında Amonyak azotu (NH_4-N) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	84
Şekil 4.30. Acısu-0 izleme noktasında Nitrat azotu (NO_3-N) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	85
Şekil 4.31. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	86
Şekil 4.32. Acısu-0 izleme noktasında İnorganik fosfor (İnorg. P) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	87
Şekil 4.33. Acısu-0 izleme noktasında Toplam fosfor (TP) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları	88
Şekil 5.1. Acısu-0 izleme noktasında Nitrat azotu (NO_3-N) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları	91
Şekil 5.2. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları	92
Şekil 5.3. Acısu-0 izleme noktasında İnorganik fosfor (İnorg. P) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları	93
Şekil 5.4. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Fosfor (TP) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları	94
Şekil 5.5. Acısu-0 izleme noktasında Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürde WASP modeli kullanılmış bazı çalışmalar	9
Çizelge 3.1. Acısu Deresi su kalitesi izleme istasyonlarının konum bilgileri.....	15
Çizelge 3.2. Acısu Deresi’nde izleme çalışmalarına ait özet bilgiler	17
Çizelge 3.3. Ekim 2020 – Eylül 2021 döneminde Acısu Deresi’nde gerçekleştirilen debi ölçümleri sonuçları.....	23
Çizelge 3.4. WASP modeli genel özellikleri ve sunulan kirlilik parametreleri (USEPA-a 2010)	28
Çizelge 4.1. Acısu Deresi’nde tüm izleme noktalarındaki su kalite parametrelerinin sonuçları	35
Çizelge 4.2. WASP8 modelinin Acısu Deresi’ne uygulanmasında model kalibrasyonu ile belirlenen kinetik sabit, katsayı değerleri ve literatür değerleri	38
Çizelge 4.3. WASP8 modelinin Acısu Deresi için kalibrasyon uygulamasına ait model tahmin hataları.....	39
Çizelge 4.4. WASP8 modelinin Acısu Deresi için doğrulama uygulamasına ait model tahmin hataları.....	60
Çizelge 5.1. Acısu Deresi için oluşturulan senaryolar	62



1. GİRİŞ

Su canlıların yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmesi için en temel ihtiyacıdır. İnsanlık yüzyıllar boyu su kaynakları için savaşmış, su kaynaklarına yakın yerlerde konumlanmış ve buralara yerleşip hayatlarını idame etmişlerdir. Bu durum toplumların hızla gelişmesini sağlarken su kaynaklarının gittikçe kirliliklerinin artmasına, hastalıklara ve pandemi gibi salgın hastalıklarla nüfus kırılmalarına kadar ilerlemiştir. Bu toplu ölümler insanlara suyu arıtmanın ve su kaynaklarını korumanın önemini acı sonuçlar ile göstermiştir.

Dünyada suyun %97,6'sı okyanus ve denizlerde tuzlu su şeklinde bulunmakta ve geriye kalan %3'ünden daha azı ise buzullar ve ulaşılması zor yeraltı sularını içermektedir. Yeryüzünde kullanılabilir su kütlesinin %1'den daha az olduğu ve bu oranın atmosfer, akarsular, göller ve yeraltı sularını kapsadığı bilinmektedir. Kullanılabilir suyun oldukça az miktarda olması nedeniyle, insanların ulaşılması zor sulara erişimi ve tuzlu sudan kullanılabilir su elde etmek amacıyla günümüzde birçok teknolojik yapı geliştirilmiştir. Ancak bu teknolojik uygulamalar oldukça pahalıdır. Ülkemizde deniz sularından içme suyu kaynağı olarak faydalanılması oldukça az olup çok büyük oranda yeraltı su kaynakları, akarsu, göl ve baraj rezervuarlarında biriken sulardan faydalanmaktayız. Yerüstü su kaynakları, yeraltı su kaynaklarına göre kirliliğe daha çok maruz kalabilen, kirlilik kaynaklarına oldukça açık yapılara sahiptirler. Çoğu yerüstü sular antropojenik etkenlere maruz kalmakta ve kanalizasyon deşarjları, zirai ilaçlamadan gelen kimyasallar gibi organik ve inorganik maddeler tarafından kirletilmektedir (Güler 1997).

Suya ilişkin konular son 50 yıl içerisinde uluslararası gündemde git gide önem kazanmış ve çeşitli platformlarda su yönetiminin sosyal, çevresel, ekonomik ve hukuki boyutları ve yapıları hakkında zirveler düzenlenmiştir. Uluslararası kuruluşlar tarafından yapılan konferanslar ve yayınlanan raporlar su kaynaklarının ne denli tehlikede olduğunu ortaya koymuş, su kıtlığı ve su kirlenmesinin getirdiği olumsuzluklar çerçevesinde su kaynaklarının yönetimi ve bu alanlardaki etkileşimler önemli konular haline gelmiştir. Dünyada su krizinin çözümü için “bütünleşik su kaynakları yönetimi” ilkeleri ortaya çıkmış ve buna bağlı olarak Avrupa Birliği Aralık 2000 tarihinde yayımlanan “Su Çerçeve Direktifi (SÇD)” (2000/60/EC) ile havza bazlı yönetim yaklaşımını benimsediğini ilan etmiştir.

Su kaynaklarının yönetimindeki zorluklar arasında şunlar gelmektedir; git gide artan su talebi, nüfusun sulak alanlara yakın çevrede yoğun şekilde artması, iklim değişikliklerinden kaynaklarımızın olumsuz etkilenmesi ve yetersiz çevre bilinci ile kötü kullanımlardır. Atıksu arıtma tesislerinden ve endüstriyel atıksulardan gelen organik kirketiciler, katı maddeler, azot ve fosfor formları, koliformlar ve spesifik kirleticiler, ağır metaller vs. gibi çeşitli kirleticilerin yüzey sularına kontrolsüz deşarj edilmesi ile su kaynaklarımız kirliliğe maruz kalır. Bu kirleticiler zararlı alg patlamalarına ve ötrofikasyona, biyolojik çeşitlilik azalmasına ve sudaki yaşamın yok olmasına kadar gidebilmektedir. Havzalardaki su kalitesini korumak amacıyla sürdürülebilir su kalitesi yönetim planlarına ihtiyaç vardır. Bu tez çalışmasında, su kaynaklarımızı tehdit eden çeşitli sorunlara karşı günümüz teknolojisi ile uyumlu, güvenilir ve hızlı çözümler üretmek için dünyada yaygın olarak kullanılan bir su kalite analizi ve simülasyon programı olan WASP8 ile Acısu Deresi'ni su kalitesi modellenmiştir.

Suyun sürdürülebilirliği çoğunluk için anlaşılması zor bir kavram olabilir fakat bu durum suya olan ihtiyacı değiştirmez, şüphesiz herkesin suya ihtiyacı vardır. Suyun sürdürülebilirliği toplulukların birlikte hareketi ile oluşur. Bu bağlamda, siyaset, bilim ve toplum arasında işleyen süreçlerin birbirleri ile bir uyum içerisinde olması gerekmektedir (Riadi 2017). Su kaynakları açısından zengin olmayan ülkemiz, sürdürülebilir bir yaklaşımla su kaynaklarını temiz tutmak ve gelecek nesillerin de bu kaynaklardan yararlanabilmesini sağlayabilmelidir.

Artan nüfus, yoğun tarımsal faaliyetler ve endüstrileşmeye karşın zaman geçtikçe azalan erişilebilir miktarı ile tüm canlılar için yaşamsal bir kaynak olan su, iklim değişikliği etkileri ve yetersiz çevre koruma önlemleri ile dünyada su kıtlığı ve kirlenme sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle kentsel yerleşime yakın olan akarsuların çevresinde yoğun antropojenik faaliyetler su kirliliği sorunu oluşturmakta ve akarsu ekosisteminin sürekliliğini tehdit etmektedir. Akarsu havzalarındaki suyun miktar ve kalitesini değerlendirmek, izlemek ve korumak için Avrupa Birliği'nin uyguladığı Su Çerçeve Direktifi aynı zamanda kötü durumdaki çevreyi iyileştirmeye yönlendirir. Akarsuların

kalitesindeki mekânsal değişimi etkileyen temel değişkenlerin belirlenmesi, sürdürülebilir su yönetimi için oldukça önemlidir.

Tez çalışmasının genel amacı, Acısu Deresi'nin su kalitesini iyileştirmek için uygulanabilir yönetim seçeneklerinin etkilerini incelemektir. Tez çalışması, Türkiye'nin güneyindeki Antalya ilinin Serik ilçesinden Akdeniz'e dökülen Acısu Deresi'nin su kalitesinin ve miktarının iyileştirilmesi için öneriler sunmayı hedeflemektedir. Acısu Deresi'nin su kalite durumunu değerlendirmek için en uygun model olarak Su Kalitesi Analiz ve Simülasyon Programı Sürüm 8 (WASP8) ileri ötrofikasyon modülü (WASP/EUTRO) belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında, nehir suyu kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimi için entegre bir yaklaşım uygulanmıştır. Bu entegre yaklaşım Acısu Deresi için detaylı su kalitesi izleme çalışmasını, konvansiyonel kirleticiler için deterministik su kalitesi benzetim modeli uygulamasını, akarsu alt havzalarından gelen yayılı azot, fosfor ve katı madde yüklerinin belirlenmesini içermektedir.

Su kalite modellemesi çalışması için gerekli olan su kalite veri setlerinin elde edilmesi amacı ile Acısu Deresi ve kollarındaki kirlilik taşınımını tanımlayacak şekilde oluşturulan ölçüm ve örneklemeler 12 adet istasyonda, 12 ay süresince aylık olarak fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik su kalite parametreler için gerçekleştirilmiştir. Belirtilen su kalite izleme çalışması Nisan 2020'de başlayan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 199Y267 numaralı ve "*Nehir Su Kalitesinin Deterministik Modelleme, Su Kalite İndeksleri ve İstatistiksel Analizler ile Değerlendirilmesi ve Yönetimi*" başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Belirtilen proje kapsamında yer alan su kalitesi izleme çalışmaları Eylül 2020 itibari ile başlamış olup, bir yıl süre ile devam etmiştir. Su kalite izleme çalışması yanı sıra bölgede yer alan tarımsal ve evsel kirletici kaynakların belirlenmesine yönelik verilerin de elde edilmesi için yoğun arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kentsel yerleşim olan bölgelerdeki atıksu deşarjları ve tarımdan kaynaklı kirlilik unsurları incelenmiştir. İzleme çalışmaları ve havzadaki kirletici unsurların değerlendirilmesi ile oluşturulan temel veriler bir araya getirilerek, su kalite modellemesi için girdi verileri oluşturulmuştur. Acısu Deresi boyunca uzunluk, en kesit bilgileri, meteorolojik veriler vb. diğer model girdi verileri de hem arazi çalışması hem de bölgedeki ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilmiştir.

Modelleme çalışması ile araştırma alanındaki farklı kirletici unsurların neden olduğu akarsu kirliliği ve denize ulaşan nutrient yükleri belirlenmiştir. Çalışma bölgesi içinde yer alan yayılı kirletici yükler ve kentsel atıksu deşarjının çevresel etkisini azaltmak için farklı yönetim senaryoları oluşturularak, bu senaryoların alıcı ortam su kalitesi üzerindeki etkileri su kalite modeli kullanımı ile irdelenmiştir. Antalya-Belek Sahili'ne Acısu Deresi yoluyla gerçekleşen kirletici yükleri izleme ve modelleme teknikleri ile ortaya konulmuş ve kirlilik azaltmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

İzleme noktalarının ve izlenecek değişkenlerin seçiminde, tarımsal alanlardan ve kentsel yerleşimlerden kaynaklanan konvansiyonel kirleticilerin Acısu Deresi'ne taşınması dikkate alınmıştır. Acısu Deresi havzasının güney bölümünde yoğunlaşan turizm ve kentsel yerleşim alanlarından kaynaklanan kirleticilerin su kalite modeli içinde, pek çok su kalite değişkeni için dinamik bir şekilde incelenerek modellenmesi, Acısu Deresi'nin su kalitesi yönetimi için güvenilir kararlar alınmasını sağlamaktadır. Önerilen su kalite yönetim kararları hem akarsu kalitesinin iyileştirilmesi hem de Akdeniz'in en önemli turizm bölgelerinden biri olan Belek Sahili'ndeki kirlilik etkilerinin azaltılması açısından öncelik oluşturmaktadır (Muhammetoğlu 2021).

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Su Yönetimi

Dünyadaki toplam suyun yaklaşık %2,5'luk kısmını oluşturan tatlı su kaynaklarının miktarı yaklaşık 35 milyon km³ olarak belirtilmektedir. Bu miktarın % 0,3'ü insani tüketime uygun olan kaynakları oluşturur. Geriye kalan miktar buzullar veya erişilmesi güç yerlerde (kutuplar) ve yeraltısu kaynakları gibi alanlardaki sudan oluşur (Kırtorun 2018).

Ülkemizde suyun tüketilmesinde en büyük kısmı tarımsal kullanım içermektedir. Tarımsal alanda ağırlıklı olarak sulama suyu için ciddi miktarda su harcanmaktadır Tarımda üretilen ürünlerin su ayak izi ne kadar düşürülürse, toplum ve gelecek kuşaklar için o kadar faydalı olacaktır. Tarımda sulama amaçlı yağmurlama veya damla sulama yöntemlerinin kullanımı ile daha fazla arazi ve ürünün su ihtiyacının giderilmesi sağlanabilir. Belirtilen sulama yöntemleri hem ekonomik hem de kaynak kullanımı açısından verimlidir. Günümüzde gıdadan giyim sektörüne ve elektronik cihazlara kadar üretilen her bir ürün için üretiminde harcanan bir su miktarı mevcuttur. Bu sebeple kısıtlı kaynağımız olan suyun iyi yönetim planlaması uygulanarak verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Kırtorun 2018).

2.2. Havza Yönetimi

Türkiye'de havza terimi, suyun ayrılan çizgilerle sınırlandırılmış alanda üzerine düşen yağışın yeraltı ve yüzeysel açıdan tek bir çıkış noktasına ulaştığı iç bükey toprak alanı olarak tanımlanmaktadır. Havza alanları toprak ve su ile ilgili olan yönü ile çok fazla doğal ve beşeri unsurları içinde barındırır. Bu durum suyun havza temelli planlanmasının doğru yapılmasını gerektirir. Sürdürülebilir su yönetimi için havza yönetiminde bütüncül bir yaklaşımın ele alınması gerekmektedir. Havza yönetiminde bütüncül yaklaşım, suyun adaletli ve uygun şekilde paydaşlara tahsisini ve aynı zamanda kaynağın temiz kalması için oldukça gerekli koruyucu önlemlerin alınmasını içerir. Avrupa Birliği'nde (AB) havza bazlı su yönetimi yaklaşımı benimsenerek 2000 yılında Su Çerçeve Direktifi (SÇD) kabul edilmiştir. AB su politikalarında temel kabul edilen bu direktifte su kaynaklarının idari

sınırlar veya farklı tanımlara göre değil, coğrafi esaslara göre belirlenmesi, nehir havza bölgelerine ayrılarak yönetilmesi öngörülmüştür (Garipağaoğlu 2020).

2.3. Ülkemizde Su Yönetimi

Su kaynaklarının sınırlı oluşu ve kullanılabilir potansiyelin belirli dengelerde tutulması için su kaynaklarının etkin planlama ile sürdürülebilir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda sürdürülebilir yönetim için sistemlerin bir çerçeveye oturtulup kaynakların kullanımında oluşabilecek problemlerin en başında önlenmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle su kaynaklarının yönetiminde yasama ve yürütme çok önemli iki yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde su konusunda birçok yasa ve yetkili makam bulunmaktadır. Bu çokluk ve ihtiyaç halinde bir orta yol bulunamaması, kaynak yönetimini zorlaştırmakta ve sürdürülebilir açısından eksiklikler yaşanmaktadır (Bulut 2019).

Türkiye’de su kaynaklarının yönetimini tek çatı altında toplayabilecek herhangi bir su yapısı mevcut değildir (Çıvgın 2013). AB adaylık sürecinde olan Türkiye, AB’ye uyum programında çevre konusunda planlanmış olan yasal düzenlemelerden, “2000/60/AT” sayılı Su Çerçeve Direktifi (SÇD) gereğince gerçekleştirilen mevzuat uygulamalarını temel almıştır. Özellikle SÇD’nin esas aldığı Nehir Havzası Yönetim Planı (NHYP) hazırlanması ve entegrasyonunu sağlamak adına faaliyetlere geçilmiştir.

Su Çerçeve Direktifi;

- Su kaynaklarını daha iyi duruma taşıyıp, iyi su durumunun korunmasını,
- Suların korunmasına dair düzenlemelerde; kıyı ve geçiş suları dahil, tüm yerüstü ve yeraltısuları olarak bütün sucul ortamlarını kapsaması,
- Deşarj sınır değerleri ve kirlilik kontrolü için ortak bir yaklaşım belirlenmesi,
- Kirliten öder ve maaliyetlerin karşılanması gibi ilkelere bağlı olarak su kullanımlarının ilgililerce ücretlendirilmesi ve ücretlerin belirlenmesi,
- Mevzuatların düzenlenmesi gibi amaçlar içermektedir.

Türkiye’de AB uyum süreci ve SÇD ile çevresel alanda yasal düzenlemeler önem ve hız kazanmıştır.

2.4. WASP Modeli Uygulamaları

Yukarı Güney Saskatchewan Nehri’nde yapılan bir çalışmada fitoplankton ve besin döngülerinin modellenmesi su kalite modeli WASP 7.52 versiyonu EUTRO durum modeli kullanılarak yapılmış ve model tahminleri hata analizi ile incelenmiştir. Akomeah vd. (2015) tarafından yapılan bu çalışmanın asıl amacı buz ile kaplı bir nehirde buz tabasının altındaki su kalitesinin modellenmesidir Model kalibrasyonu ve doğrulamasını kapsayan 2 yıl süreli bir çalışmadır ve 2007-2009 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ölçülen parametrelerin çoğunun özellikle yaz aylarında model durum değişkenlerine duyarlı olduğu tespit edilmiş ve en duyarlı parametreler olarak çözünmüş oksijen (DO) ve amonyak azotu (NH₃-N) bulunmuştur (Akomeah 2015).

Dünya genelinde su kaynaklarının korunması için harcanan çaba, bilgisayar programları, çeşitli modelleme araçları vb. gibi günümüz teknolojilerinden yararlanılarak oldukça avantajlı hale gelmiştir. Literatürde WASP modelinin çok çeşitli su kütlelerinde kullanıldığı ve her bir çalışmanın da WASP modeline bir katkı sağladığı görülmüştür. Çizelge 2.1’ de literatürde WASP modeli kullanılarak yapılan bazı çalışmalar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatürde WASP modeli kullanılmış bazı çalışmalar

Literatür	Çalışma Alanı	Çalışma Alanı Türü	Tarih
St. Louis Körfezi Halici, Mississippi’de Fitoplanktonu Kontrol Eden Faktörlerin Modellenmesi ve Besin Yüğü Değişikliklerine Haliç Tepkilerinin Değerlendirilmesi (Camacho vd. 2014)	Luis Körfezi, Mississippi	Körfez	2011
Venedik Ekosistemi Lagünü’nün Fiziksel Zorlamalardaki Varyasyonlara Tepkilerinin Modellenmesi (Canu vd. 2004)	Venedik Lagünü	Lagün	1987, 2000

Çizelge 2.1.'in devamı

Dinamik Su Kalitesi Simülasyonları için Monod ve Düşüş Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Cerucci vd. 2010)	Raritan Nehri, New Jersey	Nehir	2003-2005
Tayvan'daki Nehirlerin BOİ/ÇO Modellemesi ile Teknik Zorluklar (Chen vd. 2012)	Danshui Nehri ve ChungkangNehri, Taiwan	Nehir	2006
Okeechobee Gölü'nün Yüksek Parametrelili Modelinde Parametre Belirsizliği (Dilks ve James 2011)	Okeechobee Gölü, Florida	Göl	1983-2000
Kore, Yongdam Gölü'nün Su Kalitesi Modellemesi için EFDC ve WASP7'nin Seri Olarak Uygulanması (Dongil ve Minae 2011)	Yongdam Gölü, Güney Kore	Göl	2005
Noktasal ve Noktasal Olmayan Kaynak Kirliliği Nedeniyle Rezervuar Suyu Kalitesi Değerlendirmesi ve Yönetimi için Kapsamlı Bir Modelleme Yaklaşımı (Debele vd. 2006)	Cedar Deresi ve Rezervuarı	Rezervuar	1991-2001

Türkiye'deki Mogan Gölü'nde yapılan bir çalışmada, makrofitlerin baskın olduğu bir sığ gölde su kalitesi modellemesi yapılmıştır. Modelleme aracı olarak Su Kalitesi Simülasyon Programı (WASP) modeli kullanılarak, çözünmüş oksijen, organik azot, amonyak, nitrat, organik fosfor, ortofosfat, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve fitoplankton incelenmiştir. Hidrodinamik modelleme için WASP modeli su seviyelerini, akış oraklarını ve hızlarını mevcut iki boyutlu model olarak çalıştırılmıştır. Modellenen makrofit süreçleri fotosentez, solunum, ölüm ve atılımdır. Mogan Gölü'nden toplanan veriler kullanılarak kalibrasyon, doğrulama ve tahmin süreçlerine tabi tutulmuştur. Su kalitesi model tahminleri ve saha ölçümleri arasındaki uyumun test edilmesi için istatistiksel hata analizi yöntemleri kullanılmıştır. Model tahmin ve ölçümler arasında oldukça iyi bir uyum sağlanmıştır. Göl, mevsimsel olarak geniş makrofit biyokütle varyasyonları sergilemiştir ve ayrıca hem

mevsimsel hem de günlük olarak oldukça değişken ÇO seviyeleri gözlemlenmiştir. Önerilen su kalite modelinin ötrofikasyon problemini tahmin etmede iyi bir yönetim aracı olabileceği sonucuna varılmıştır (Muhammetoğlu ve Soyupak, 2000).

Camacho ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, Mississippi'nin bir kol ağzı olan St. Louis Körfez Halici'nde Fitoplankton üretkenliğini kontrol eden faktörler ve besin yükü değişikliklerine sistemin tepkisi incelenmiştir. Çalışma alanına birleştirilmiş hidrodinamik ve su kalite modeli, Çevresel Akışkanlar Dinamiği Kodu (EFDC) ve Su Kalitesi Simülasyon ve Analiz Programı (WASP) uygulanmıştır. Sonuçlar, Fitoplankton üretkenliğinin birincili olan azot ile sınırlandığını göstermiştir. Dört farklı besin yükü senaryosu simüle edilmiştir ve nehir ağzı bölümünde havzadaki değerlerle karşılaştırıldığında mevcut koşullara duyarlılığının düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma bölgesel ölçekte, Meksika Körfezi'ndeki alg patlaması sorunlarını azaltmak için entegre stratejilerin tasarımında katkıda bulunabildiği sonucuna varılmıştır (Camacho vd. 2014).

Çin'in Taipu Nehri'nde yapılan bir çalışmada su kalitesi modeline dayalı noktasal kirlilik girdileri için bölgesel bir risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Yao ve arkadaşları tarafından yürütülen bu çalışmada noktasal kirliliklerin bölgesel çevre sağlığına yönelik ana tehdit unsuru olduğunu ve risk değerlendirmesi için bir metodoloji önerilmiştir. Değerlendirme prosedürü beş bölümden oluşmaktadır; (1) Risk kaynağı birimlerini belirlemek ve kaynakları tahmin etmek, (2) değerlendirilen alanın hidrolojik ve su kalite verilerini inceleyerek su kalite modeli uygulamak, (3) hata analizi yapmak (4) çeşitli kaynak senaryoları için kirlletici konsantrasyonlarının tahmin edilmesi adına su kalite modellemesi kullanılması, (5) genel anlamda risk tahmini için değerlendirme yapmak. Bu aşamaları yaparken Su Kalitesi Simülasyon Programı (WASP) modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak sucul ekoloji, insan sağlığı ve sosyoekonomik riskleri ayrı ayrı değerlendirerek bir dizi risk eğrileri tanımlanmış ve risk katkıları sıralanıp risk seviyelerinin mekânsal dağılımı sunulmuştur. Böylelikle karar vericiler tarafından uzun vadeli dinamik bir risk tahmini için modellemenin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Yao vd. 2014).

Lai ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada yayılı kirlilik kaynaklarının nehir suyu kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek için havza modeli ve su kalite modellerini bütünleşmiş bir biçimde kullanarak iki modellenli bir sistem geliştirmişlerdir. Kaoping Nehir havzasından kaynaklanan yayılı kirlilikler Su Kalite Analiz ve Simülasyon Programı (WASP) ve Entegre Su Havza Yönetim Modeli (IWMM) kullanılarak çalışılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda yayılı kirliliklerin ana kaynağının, meyve yetiştirilen çiftlikler ve tarım arazilerinden gelen kirlilikler olduğu gözlemlenmiştir. Yağışın yoğun olduğu mevsimlerde debi miktarının çok fazla olduğu ($>200 \text{ m}^3/\text{sn}$) gözlemlenmiştir. Bu durum yayılır kirliliklerin nehre taşınmasına neden olmaktadır. Bu nehre giren kirliliklerin azaltılması adına bölgede hâkim olan tarımsal faaliyetlerin kontrol altına alınması gerekmektedir. Entegre ikili modellenli sistem geliştirilmesi, bütünsel su kalitesinin tahmin etmede önemli olduğu sonucuna varılmıştır (Lai, 2011)

Lin ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Tayvan'da bulunan bir tuzlu su nehri için tortu ve su kalitesi incelenip yönetim senaryoları geliştirilmiştir. Salt-water Nehri'nin su katmanında yüksek konsantrasyonlarda organik ve amonyak azotu içerdiği ve tortu katmanında ise ağır metaller ve organik kirleticiler içerdiği gözlemlenmiştir. Su kalitesi değerlendirilmesi ve taşınım hesaplamaları için Su Kalitesi Simülasyon Programı (WASP) modeli uygulanmıştır. Modelleme sonuçları, günlük kirlilik girdilerinin nehir taşıma kapasitesinin çok üzerinde olduğunu göstermektedir (biyo-kimyasal oksijen ihtiyacı için 1050 kg.gün^{-1} ve amonyak-azotu için 420 kg.gün^{-1}). Bu kirliliklerin ana kaynağı olarak belediye ve endüstriyel atıksular olduğu sonucuna varılmıştır. Önerilen su havzasının yönetim stratejileri için, nehir suyu kalitesinin iyileştirilmesi adına, kanalizasyon sistemi inşası ve tortu taraması yer almaktadır (Lin vd. 2011).

Lin ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada, kablosuz sensör ağı ile sulama suyu kirliliği kaynaklarının ve yollarının gerçek zamanlı tanımlanması yapılmıştır. Bu çalışmada gerçek zamanlı su kirliliği takibi için GIS araçlarına dayalı entegre bir çalışma sunulmuştur. Çalışma alanında sulama kanalı sistemlerinin izleme istasyonlarındaki noktalara su kalitesini izlemek için sensörler yerleştirilmiştir. Sensörler uzaktan algılama ile su kalite değerlerini WSN ve IoT teknolojileri aracılığıyla veritabanına gerekli bilgiler

iletmiştir. GIS araçları, haritalanmış sulama kanallarından gelen kirliliği izlemek ve mekânsal olarak tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Su kalitesini ve potansiyel kirlilik kaynaklarını belirlemek amacıyla Su Kalitesi Analiz ve Simülasyon Programı (WASP) kullanılmıştır. WASP modeli, elektriksel iletkenlik (EC) ve bakır (Cu^{2+}) konsantrasyonlarını simüle etmiştir. Çalışma çerçevesi etkili ve gerçek zamanlı bir su kalitesi izleme ve çoklu noktasal kirlilik kaynağı tanımlama için bir ilk uygulamadır (Lin, 2020).

Ma ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, kentsel nehir havzası için su ve tortu kalitesi yönetim stratejileri geliştirmek adına modelleme çalışması yapılmıştır. Aşk Nehri havzası, Tayvan’da önemli bir kentsel nehir havzasıdır. Nehir suyu kalitesi ana kirlilik nedeni belediye atıksularının kontrolsüz deşarjıdır. Çalışmada, nehir havzasının kirlilik yükleri değerlendirmek, havza yönetim stratejileri geliştirmek amacı ile nehir suyu analizleri, sediman kalitesi ve su kalitesi modellenmesi yapılmıştır. Jeo-birikim indeksi ve zenginleştirme faktörü değerlendirilmiştir ve bu değerlendirme sonucunda çökeltelerde yüksek miktarda Cu, Zn, Ni, Cr, ve Pb içeriği gözlemlenmiştir. WASP modeli kullanılması sonucunda, nehre giren bir kanalizasyon deşarjının nehir suyu kalitesinde ciddi anlamda bozulmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemin iyileştirilebilmesi adına bir çakıl dolgulu temas yüzeyi (CB) sistemi inşa edilmiştir. Bu CB sistemi amonyak azotunun %52’sini BOİ konsantrasyonunun %64’ ünü giderebileceğini öngörmektedir. Modelleme sonucunda nehir suyu arıtımının %40 geliştirerek nehir suyu kalitesinin iyileştirilebileceğini öngörmüştür (Ma, 2018).

Moses ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, tropikal bir göl sisteminin WASP modeli kullanılarak su kalitesini tahmin etme yeteneği araştırılmıştır. Hindistan’ın güneybatısında yer alan ve denize dökülen Akkulam-Veli Gölü için nitrat, fosfat, çözülmüş oksijen, klorofil-a, BOİ konsantrasyonları incelenmiştir. WASP 7.3 sürümü ile modelleme yapılmıştır. Yaz aylarında gerçekleşen aşırı yağış ve yüksek oranda organik madde konsantrasyonu kanalizasyon sistemlerinden göle girerek su kütleinde organik madde ve fosfatın artmasına neden olmaktadır. Bu durum klorofil-a konsantrasyonunun da artması ile sonuçlandırmıştır. Tropikal bir göl olan bu sistem için çok yağış alması ve yağışların da su

kalitesini belirlemede WASP modelinin oldukça iyi modellediğini göstermiştir (Moses, 2015).

Ekdal ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, bir kıyı lagününde WASP modellemesi yapılmıştır. Çalışmanın ana amacı kıyı lagün sisteminde bir su kalite modeli uygulamak, etkinliğini değerlendirmek ve bu tür karmaşık sistemlerin gelecekteki su kalitesine bir ön klavuzlar hazırlamaktır. Çalışma sahası için Türkiye'nin güneybatısında, Akdeniz'e kıyısı olan Köyceğiz-Dalyan Lagünü seçilmiştir. Su Kalitesi ve Simülasyon Programı (WASP7) ötrofikasyon modülü (WASP/EUTRO) kullanılmıştır. Su kalitesi modelleme çalışması sırasında sistemde meydana gelen süreçleri ve mekanizmaları daha iyi anlamak için en basit karmaşıklık seviyesinden daha yüksek karmaşıklık seviyelerine doğru sırayla 4 adet simülasyon yapılmıştır. Çalışmada $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, Organik N, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, Organik P, çözülmüş oksijen, CBOD, tuzluluk ve fitoplankton simüle edilmiştir. Burada ele alınan yaklaşımlar, su kalitesi modelleme çalışmaları yapmayı hedefleyen diğer gelişmekte olan ülkeler için bir rehber ve örnek teşkil edebilir (Ekdal, 2011).

Ernst M.R. ve Owens J. Tarafından yapılan bir çalışmada, büyük bir teksas rezervuarının Ötrofikasyon kontrolünü değerlendirmek için WASP modeli uygulanmıştır. Cedar Dere Rezervuarı modellenmesi için 11 yıllık bir WASP-Eutro modeli 6.2 sürümü geliştirilip kalibre edilmiştir. Çözülmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, inorganik fosfor (P), organik P, amonyak, nitrat-nitrit, organik nitrojen (N) ve klorofil-a (Chla) olarak algler dahil olmak üzere sekiz durum değişkeni simüle edildi. Rezervuar ana hattında en fazla üç dikey bölüm olacak şekilde 22 bölüme ayrılmıştır. Rezervuar dört kategoriye ayrılmıştır; (1) su havzası, (2) dokuz adet atıksu artıma tesisi, (3) atmosferik yükleme ve son olarak (4) NH_4 ve ortofosfat tortu akışı. Bu dört yüklemenin duyarlılık analizi klorofil-a ve toplam fosforun en çok yayılı kirlilik yüklerinden etkilendiği sonucunu çıkarmıştır (Ernst ve Owens, 2009)

Dilks ve James arkadaşların Kore'de yaptığı bir çalışmada Yongdam Gölü'nün su kalitesi modellenmiştir. Su kalitesi tahminlerinin doğruluğunu iyileştirmek için EFDC hidrodinamik model ve WASP 7.3 modelleri birlikte kullanılmıştır. Aylık olarak debiler ve

ortalama sınır su kalite koşulları ve su kalite analizleri takip edilerek bir yıl süre ile modelleme yapılmıştır. WASP7.3 modelinin kalibrasyonu için gölde aylık olarak BOD, TN, TP ve Chl-a konsantrasyonları incelenmiştir. Bu çalışma, su kalitesi modellemesinde doğruluğu artırmak için EFDC ve WASP'ın seri olarak başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, kalibrasyon için göl içindeki giriş suyu kalitesi ve akış hızı sınır koşullarını ve su kalitesi verilerini geliştirecek veri miktarının doğru modelleme için yeterli olmadığı görülmüştür (Diks ve James, 2011).

Hosseini ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, Kanada'da bulunan bir buz altı nehir gölü sisteminin ötrofikasyonu, Su Kalite Analiz ve Simülasyon Programı (WASP) kullanılarak modellenmiştir. Modelde, yukarı akış rezarvurundan Qu'Appelle Nehri sistemine havzalar arası su transferinin artmasının su kalitesi üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmek için gelecekteki su yönetim senaryoları geliştirilmiştir. Global bir duyarlılık analizi, modelin göl bileşeni için çıktı, girdi parametrelerine nehir bileşeninin model çıktısına göre daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Hassas parametreler arasında çözünmüş organik nitrojen mineralizasyon hızı, fitoplankton nitrojen / karbon oranı, fosfor-karbon oranı, maksimum fitoplankton büyüme hızı ve fitoplankton ölüm oranı yer almaktadır. Göl bileşeni için çıktı değişkenleri üzerindeki parametre duyarlılıkları hem yaz (açık su) hem de kış (buzla kaplı) için benzer sonuçlar vermiştir fakat nehir için daha farklı sonuç çıkmıştır. Bütünleşik nehir-göl sisteminin su kalitesi, buzul yapısı ve hidrodinamiğinin karmaşıklığı WASP7' de birleşik şekilde modellenmiştir. Yapılan ölçüm ve tahminler hata analizinde değerlendirilmiştir. Ortalama mutlak hata, amonyum için 0,03-0,08 NH₄-N/L, oksijen için 0,5 ila 1,7 mg/L ve nitrat için 0,04-0,13 NO₃-N/L arasında değişkenlik göstermiştir (Hosseini, 2018).

2.5. Su Kalite Parametreleri

2.5.1. Fiziksel Parametreler

Su antropojenik etkenlerle veya doğal süreçler sonucu kirliliklere maruz kalır. Suyun içerisinde bulunan kil, sit, küçük inorganik parçacıklar ve mikroskobik organizmalar asılı halde suda bulundukları için ışığın saçılmalarına ve gözle bakıldığında bulanık bir görüntü

oluşturmalarına neden olur (Nathanson 1997) ve bu durum bulanıklık parametresi ile ifade edilir. Suda yaşıyan tüm canlılar yaşamak ve üremek için belirli sıcaklık koşullarına ihtiyaç duyar. Çoğu tür optimum sıcaklıktan ılımlı bir değişime uyum sağlayabilir, ancak fazlası olursa ya göç ederler veya yok olup yerini yeni türlere bırakır. Genel olarak yaklaşık 5°C'lik bir değişiklik, su ortamının dengesini ve sağlığını önemli ölçüde değiştirebilir. Sıcaklıktaki ani düşüşler zararlı olabilir fakat genelde sıcaklığın artışı düşüşten daha fazla hasara neden olur. Bunun nedeni suyun sıcaklığı arttıkça sudaki oksijen çözünürlüğünün ciddi şekilde azalmasıdır (Nathanson 1997). Sularda gerçekleşen tüm süreçler suyun sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir. Sucul canlılar, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar için su sıcaklığının çok yüksek olması veya çok düşük derecelere inmesi potansiyel risk oluşturur. Doğal ortamlarda gerçekleşen reaksiyonların hızı sıcaklıktan etkileneceği için, reaksiyon hız katsayıları da doğrudan sıcaklıktan etkilenir (Gordillo 2020).

2.5.2. Kimyasal Parametreler

Yüzeysel sular için çözülmüş oksijen ayrışabilir organik maddelerin etkilediği su kirliliği koşullarında diğer parametrelerle birlikte değerlendirilir. Ayrıca sıcaklık, tuzluluk ve mevsimsel değişimlerle değerlendirme yapılması gerekmektedir. Akarsularda değişik kaynaklardan gelerek su içine taşınan mineral veya organik yapıdaki katı tanecikler suyun bulanıklığını etkiler, bunlar askıda katı maddedir. Süspansiyon halinde taşınan bu katı maddelerin bir kısmı koloidal nitelikte olduğundan kolay çözülmez. Bu maddeler 1 mili mikron ve 1 mikro metre çap büyüklüğünde olup, suyun rengini etkiler ve bulanıklık sebebidir. Katı maddeler suda ya çözelti halinde ya da süspansiyon halinde bulunur. Bu iki tür katı madde, su numunesinin cam elyaf filtrelerden geçirilmesiyle ayırt edilir ve filtrenin üzerinde kalanlar askıda katı madde olarak tanımlanır, filtreden geçenler çözülmüş katılar olarak suda kalırlar. Suda bulunan yüksek asitlik veya alkalilik değerleri endüstriyel veya kimyasal kirliliğin varlığını gösterir. Atmosferden veya sudaki organizmaların solunumundan gelen karbondioksit, suda çözündüğünde karbonik asit, H_2CO_3 oluşturarak asitliğe neden olur. Doğal sulardaki asitlik ve alkalilik, balıkları ve diğer organizmaları pH'daki ani değişikliklerden koruyarak tamponlama etkisi sağlar. Su ortamındaki pek çok organizma 6 ile 9,5 pH aralığında yaşar. Sertlik, belirli oranda mineralli suları (yüksek toplam

çözünmüş katı konsantrasyonları) ifade etmek için kullanılır. Çözünmüş mineraller suda sertlik oluşturur. Bu durumda sıcak su borularında kireçlenme ve sabunla köpüklenme problemleri gibi sorunlar oluşturur ve halk arasında istenmeyen bir durumdur. Kalsiyum ve magnezyum iyonları doğal sularda sertliğin büyük kısmını oluşturur. Azot doğada birçok formda bulunur ve biyokimyasal reaksiyonda yer alır. En önemli dört formu; organik azot, amonyak azotu, nitrit azotu ve nitrat azotudur. Azot özellikle nitrat formunda bitkilerin büyümesinde gerekli olan temel besindir. Azot formlarının suda bulunması, suya karışan kanalizasyon veya tarımsal arazilerden gelen azot içeriği zengin gübrelerin karışımını ifade eder. Fosfor, alg büyümelerine ve ötrofikasyona katkıda bulunan temel besin maddesidir. Kanalizasyondan veya gübre hayvan atıkları içeren tarımsal atıklardan suya karışabilir. Fosforun inorganik formu olan fosfat, deterjan ve çeşitli kimyasal atıkların suya karıştığını ifade etmektedir (Nathanson 1997).

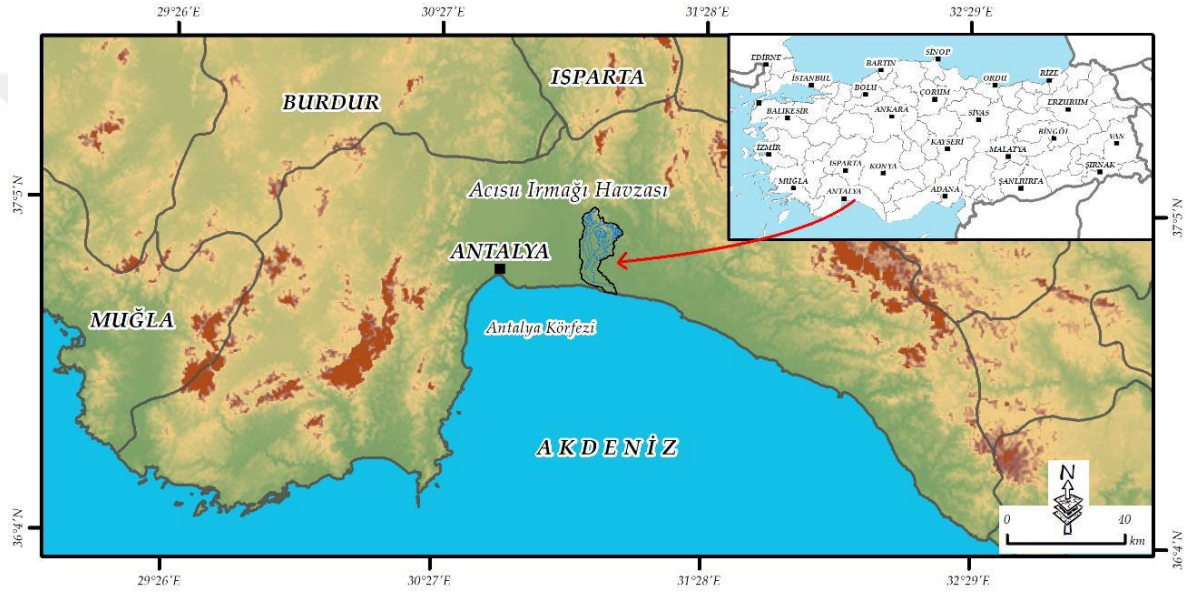
2.5.3. Bakteriyolojik Parametreler

Ülkemizdeki mevzuatlara bakıldığında “Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik” de 13. Madde’de yer alan eklerde, Ek-1 gereğince izlenmesi gereken bakteriyolojik parametreler yer almaktadır. Bunlar; toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok ve E.colidir. Bu bakteriyolojik parametrelerin doğru analizi için eğitimli personel gereksinimi, sterilizasyon bilgisi ve ekipmanları doğru etiketleme, doğru numune alma, numune taşıma sırasında soğuk zincir kullanımı, raporlama ve deney prosedürlerinin tam uygulanması gibi temel gereksinimler gerekmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

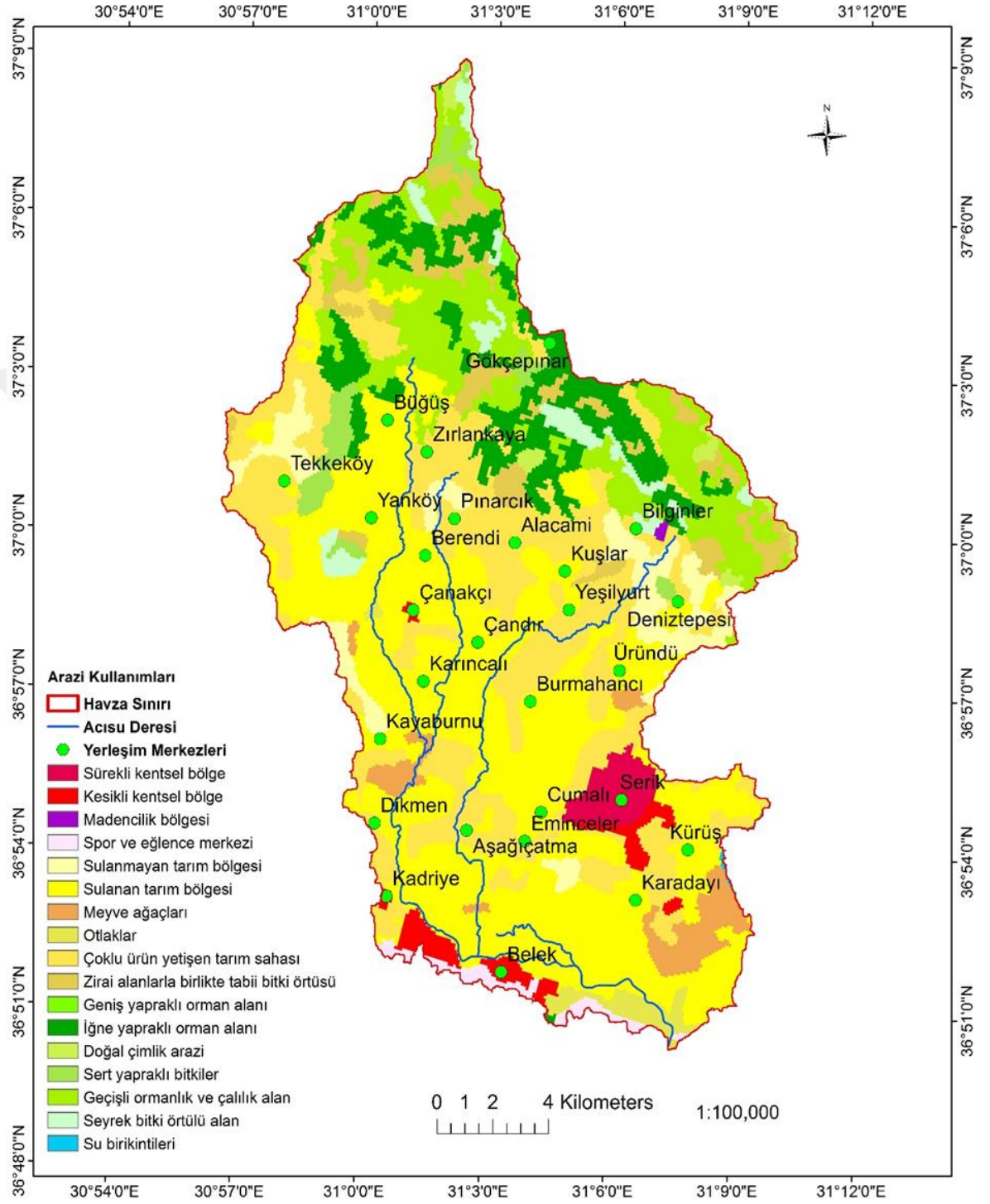
3.1. Acısu Deresi Çalışma Sahası

Çalışma alanı olan Acısu Deresi, Türkiye'nin güneyindeki Antalya iline bağlı olan Serik ilçesi'nin Belek Beldesi'nde bulunmaktadır. Toros Dağları'ndaki Akkayrak Tepesi'nde karstik kaynaklardan doğan Acısu Deresi, Belek'ten Akdeniz sularına karışır. Şekil 3.1'de Acısu Deresi havzasının konumu gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İnceleme Alanının Lokasyon Haritası (Fural 2018)

Acısu Deresi'nin ana kolu 46 km uzunluğunda olan önemli bir yüzeysel su kaynağıdır. Dere, menderesler çizerek deşarj noktasına ulaşır. Serik Ovasının alüvyal zemin geçirgenliğinden dolayı debisi düşüktür ve özellikle de yan kollarda bazı dönemler için akış gözlemlenmemektedir (Fural 2018). Acısu Deresi Havzası'nda Akdeniz İklimi hakimdir. Havzada ortalama hava sıcaklığı 19,8 °C, yıllık toplam yağış miktarı 997, buharlaşma ise 1208 mm'dir. Havzadaki kara yükseltileri deniz seviyesinden 1464 m rakım arasında değişmektedir. Acısu Deresi'nin mansap kesimleri arasındaki süre için mimbadaki ortalama debi ve 3 m³ /sn olarak ölçülmüştür. Havza'nın arazi kullanım ve bitki örtüsü Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Acısü Dere Havzası'nın arazi kullanım/bitki örtüsü haritası (Muhammetoğlu, 2021)

Birçok yan dere ve drenaj kanalı akış boyunca derenin çeşitli yerlerinden bağlantı ile birleşmiştir. Literatürde, Acısu Deresi hakkında çok sınırlı bilgi vardır. Bu çalışmalarda, Acısu Deresi'nin güney havzasında deniz suyu girişiminin gerçekleştiği gözlemlenmiş ve genel olarak Acısu Deresi'nin suyundaki tuzluluk ve toprak yapısı incelenmiştir (Kaman 2011). Deniz suyu girişiminin, artan sera gazı emisyonlarından kaynaklanarak deniz seviyesinin yükselmesi sebebiyle ve iklim değişikliği ile zamanla daha da kötü bir hal alacağı öngörülmüştür. Bu durum yeraltı sularının tuzlanacağını göstermekte olup dünya genelinde yerüstü ve yeraltı sularının ayrıca doğrudan içme suyu kaynaklarının ve tarımsal üretimin çok büyük zarara uğrayacağını göstermektedir.

Acısu Deresi Havzası, arazi kullanım faaliyetleri açısından tarımsal ve turizm yoğunluktadır. Bölge Akdeniz iklimine sahiptir. Bu sebeple, yazları sıcak ve kışları ılıman geçen dönemler, tarıma oldukça elverişli alanlar yaratmaktadır. Yerli halk genellikle evlerine yakın alanlarda ve arazilerde seracılık gibi tarımsal faaliyetler göstermektedir. Havzanın kuzey-orta kesimlerine doğru kentleşme ile tarımsal faaliyetlerin beraber yürütüldüğü görülmüştür. Güneye doğru inildiğinde ise turizm faaliyetleri artış göstermektedir. Bölgede büyük kapasiteli tatil köyleri ve çok yıldızlı oteller bulunmaktadır. Şekil 3.3'te Acısu Deresi'nin mansap bölümü ve bu alandaki turizm tesislerinin görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Acısu Deresi ve denize döküldüğü alandaki turizm tesislerinin görüntüsü

Acısu Deresi antropojenik etkenlere çok açık bir akarsudur. Özellikle de bulunduğu konum itibari ile popülasyonun yoğun olduğu alanlardan ilerleyip sahil şeridinden denize ulaşmaktadır. Bu durum derenin kirliliklere çok açık olmasına neden olurken aynı zamanda su kalite ve miktarını oldukça etkilemektedir. Acısu Deresi'ne noktasal ve yayılı kirlilik girdileri mevcuttur. Bunlardan noktasal kirlilik kaynağı olarak mevcut durumda, 3 adet atıksu arıtma tesisinden (AAT) (Boğazkent AAT, Belek-2 AAT ve Serik AAT) arıtılmış atıksu deşarjları ve havzadan kaynaklı yayılı kirlilik girdileri ulaşmaktadır. AAT'lerin çıkış sularından ikisi derenin ana koluna deşarj edilmekte olup bu tesislerden bir tanesi Antalya Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı olan Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) tarafından işletilen Belek-2 AAT ve diğeri ise Turaş İşletme Birimi tarafından işletilen Boğazkent AAT'dir. ASAT tarafından işletilen Serik AAT'nin çıkış suları ise Acısu Deresi'nin yan kolu olan Doğu Batak Deresi'ne deşarj edilmektedir.

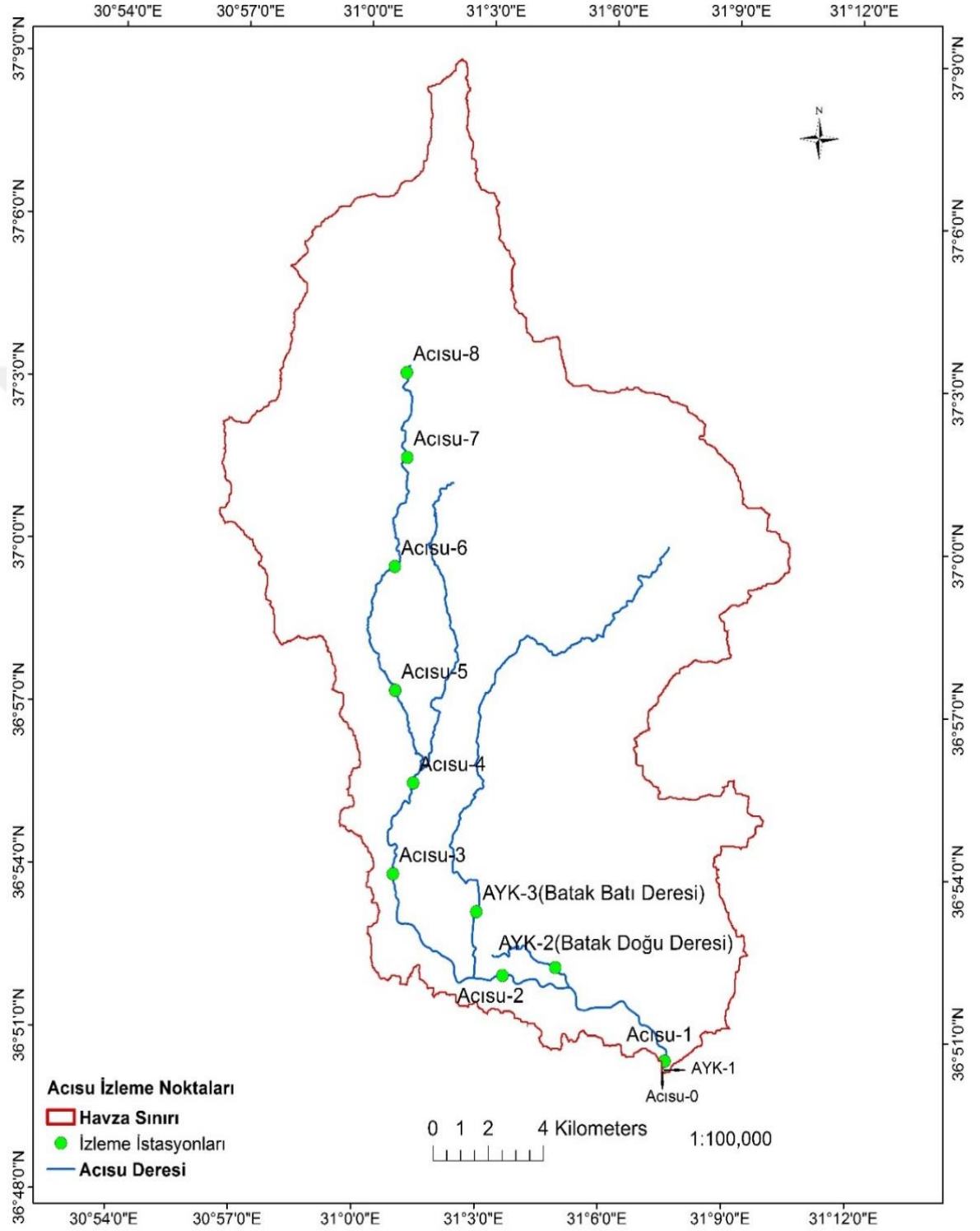
3.2. Su Kalitesi İzleme Çalışması

Acısu Deresi'nde gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışması için öncelikle izleme noktalarının seçimi yapılmıştır. İzleme noktaları, derenin kaynağından denize döküldüğü noktaya kadar uzanan havza alanındaki yerleşim alanları, tarımsal ve diğer faaliyetlere göre noktasal ve yayılı kirlilik kaynakları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Yaklaşık 40 km uzunluğundaki Acısu Deresi'nde toplam 9 adet dere ana kolu üzerindeki izleme noktası ve ek olarak 3 adet yan kol giriş noktasında su kalitesi izlemesi yapılmıştır.

Su kalitesi izleme çalışmalarının yapıldığı tüm istasyonlara ait konumlar Çizelge 3.1'de ve lokasyonları Şekil 3.4'te gösterilmektedir. İzleme yapılan istasyonlar, örnekleme sıklığı, izlenen parametreler, parametrelerin ölçüm ve analizini gerçekleştiren kurum/kuruluş bilgileri Çizelge 3.1'de özetlenmektedir.

Çizelge 3.1. Acısu Deresi su kalitesi izleme istasyonlarının konum bilgileri

İstasyon No	Açıklama	Enlem	Boylam
Acısu-0 (mansap)	Denize yakın bir konumda	36°50'19" N	31°07'16"E
AYK-1 (Kanal girişi)	Köprü üstü	36°50'18" N	31°07'40"E
Acısu-1	Köprü üstü	36°50'35" N	31°07'35"E
AYK-2 (Batak Doğu Deresi)	Nehir kenarı	36°52'16" N	31°04'53"E
Acısu-2	Köprü üstü	36°52'06" N	31°03'36"E
AYK-3 (Batak Batı Deresi)	Nehir kenarı	36°53'16" N	31°02'56"E
Acısu-3	Köprü üstü	36°53'56" N	31°00'53"E
Acısu-4	Köprü üstü	36°55'37" N	31°01'20"E
Acısu-5	Köprü üstü	36°57'19" N	31°00'51"E
Acısu-6	Köprü üstü	36°59'36" N	31°00'47"E
Acısu-7	Köprü üstü	37°01'37" N	31°01'02"E
Acısu-8 (memba)	Köprü üstü	37°03'11" N	31°00'59"E



Şekil 3.4. Acisu Deresi için yürütülen izleme çalışmasında ölçüm/örnekleme yapılan istasyonlar (Muhammetoğlu 2021).

Çizelge 3.2. Acısu Deresi'nde izleme çalışmasına ait özet bilgiler

	Genel fizikokimyasal ve bakteriyolojik parametreler	Pestisitler	Debi
Gerçekleştiren kurum/kuruluş	Proje ekibi	Özel bir akredite laboratuvar	DSİ 13. Bölge Müdürlüğü ekibi
İzleme sıklığı	Aylık	2-3 aylık periyotlarda	Aylık
İstasyon No			
Acısu-0 (mansap)	✓		
AYK-1	✓		
Acısu-1	✓	✓	✓
AYK-2	✓		✓
Acısu-2	✓	✓	
AYK-3	✓		✓
Acısu-3	✓	✓	✓
Acısu-4	✓		
Acısu-5	✓		
Acısu-6	✓	✓	✓
Acısu-7	✓		
Acısu-8 (membra)	✓		

Memba noktası ve akış yönünde ilk istasyon olan Acısu-8, Acısu Deresi'nin kaynak noktasında yer almaktadır. Derenin tabanının taş ve çakıl materyalden oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.5. Acısu Deresi'nin memba noktasının görünümü (27 Ağustos 2020)

Şekil 3.5'de gösterildiği gibi Ağustos 2020 döneminde Acısu Deresi'nin memba noktasında akış gözlenmemiştir. Bu durum, derenin Akdeniz iklimi etkisinde kalması ve yaz aylarında yüksek sıcaklık ve düşük yağış alması nedeniyle oluşmuştur. Su akışı olan dönemlerde yapılan ölçüm ve analizler sonucunda kaynak noktasındaki suyun oldukça temiz ve görünümünün berrak olduğu belirlenmiştir.

İkinci istasyon olan Acısu-7 noktası derenin memba noktasından bir sonraki noktadır. Bu nokta yaz aylarında yüksek hava sıcaklıkları ve düşük beslenim sebebiyle çoğunlukla kurumakta olup akış görülmemiştir. Acısu-6 noktasının görüntüsü Şekil 3.6'te verilmiştir. Acısu-6 noktası, Acısu-7 örnekleme noktasının yaklaşık 5 km mansabında yer almaktadır. Acısu-6 noktasında ilk örnekleme noktasından farklı olarak dere yatağı ufak taneli çakıl ve balçık tabakadan oluşmaktadır.



Şekil 3.6. Acısu-6 noktasının 07 Temmuz 2021 tarihindeki görünümü (akış yok, durgun su olduğu için ölçüm ve örnekleme yapılmamıştır)

Acısu Deresi için memba noktasına yakın olan Acısu-6 izleme noktasında 2020 yılı Ekim ve Kasım aylarında çok az akış gözlemlendiği için DSİ ekipleri kuru dere olarak tanımlamış ve debi ölçümleri yapmamıştır. Benzer durum Haziran 2021 ve Eylül 2021 dönemi için de geçerlidir. Acısu-6 noktasında ölçülen debi değerleri genel olarak 0,1 m³/s'den azdır.

Akış yönündeki dördüncü istasyon Acısu-5 noktasıdır. Bu noktada akışın yıl boyu devam ettiği gözlenmiştir. Acısu Deresi'nde bu noktada akış azalmakta ise de bu noktaya bağlanan sulama kanalından sürekli su girişinin olduğu gözlenmiştir. Bu su girişi, DSİ tarafından yapılmış olan sulama kanalı olup dere yatağını beslediği görülmüştür. Bunun sebebi dere boykesiti boyunca çeşitli tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ve tarımsal alanların susuz kalmasını önlemek amacıyla sulama suyu desteğinin verilmesidir. Acısu-5 noktası Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Ek olarak bu noktada dere yatağının genişlediği ve debisinin de artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 3.7. Acısu-5 noktasının 07 Temmuz 2021 tarihinde görünümü

Temmuz ayında Acısu-5 noktası da dahil olmak üzere derenin mansap noktasına doğru olan Acısu-4, Acısu-3, Acısu-2, Acısu-1 ve Acısu-0 noktalarında akış gözlenmiştir. Acısu-4 ve Acısu-3'te derenin genel görünümünden de anlaşılacağı gibi kirlilik girdilerinin artması ile bulanıklık artmış ve derenin doğal renginin değiştiği görülmüştür. Aynı zamanda dere yatağının akım yönünde genişlediği gözlenmiştir (Şekil 3.8).



a)



b)

Şekil 3.8. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu-4 ve b) Acısu-3 izleme noktalarının görünümü

AYK-2 izleme noktası Batak Doğu Deresi, AYK-3 izleme noktası Batak Batı Deresi'nin Acısu Deresi'ne yankol olarak katılımlarına aittir. AYK-2 debi değerleri 0,002-0,134 m³/s, AYK-3 debi değerleri ise 0,337-1,928 m³/s aralığında ölçülmüştür. Acısu-2 istasyonuna ait debi değerleri yankol katılımları ile nispeten yükselerek yaklaşık 0,7-2,3 m³/s değerlerine ulaşmıştır. Acısu Deresi'nin denize döküldüğü mansap noktasına yakın olan Acısu-1 izleme noktasında Kasım ve Aralık 2020 döneminde yağışlara bağlı olarak debi değerlerinde artışlar gözlenmiş olup 4,4–11,4 m³/s değerleri arasında değişim görülmüştür. Acısu Deresi çalışma alanı içinde bölgedeki tarım alanlarından gelen drenaj sularını taşıyan kanal bağlantıları çok yaygındır. Hem kanal suları hem de yeraltısuyu beslenmesi Acısu Deresi için önemli olup debi değişimlerine etki etmektedir. Ocak-Eylül 2021 döneminde Acısu Deresi'nin mansap bölümündeki Acısu-1 izleme noktasındaki debi değerleri nispeten sabit düzeyde gözlenmiştir. Acısu-2 ve Acısu-1 noktaları ise derenin denize döküldüğü mansap noktasına yakındır. Bu kesitte dere etrafında turizm tesisleri ve yerleşim alanları bulunmaktadır. Ek olarak, dere yatağının önceki örnekleme noktalarına göre daha çok genişlediği gözlenmiştir (Şekil 3.9).



a)



b)

Şekil 3.9. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu-2 ve b) Acısu-1 izleme noktalarının görünümü

Acısu-0 noktası, Acısu Deresi'nin denize ulaştığı en yakın örnekleme noktasıdır (Şekil 3.10 a). Bu noktada Acısu Deresi yoğun turizm faaliyeti gösteren otellerin önünden geçmektedir.

Acısu Deresi, denize dökülmeden önce denize paralel olan dere yatağından akmakta ve sonrasında denize karışmaktadır. Denize paralel akış gözlenen kesit boyunca otel arazileri yer almakta olup oteller derenin sağ ve sol sahil alanını kullanmaktadır. Acısu Deresi, bu akış şekli itibarı ile bölgedeki otellerin, kürek sporuna ilgi duyanların ve bu konuda profesyonelleşmiş ulusal ve uluslararası takımların ilgi odağı olmuştur. Belirtilen dere yatağı yapısı sebebi ile bölge turizm açısından önem arz etmektedir.



a)



b)

Şekil 3.10. 07 Temmuz 2021 tarihinde a) Acısu-0 ve b) Acısu Yankol-1 (akış yok, durgun su, ölçüm ve örnekleme yapılmadı) izleme noktalarının görünümü

Şekil 3.10b'de Acısu Deresi'nin ilk yan kol girdisi, Şekil 3.11'de Yankol 2 ve 3 noktaları gösterilmiştir. Bu noktalarda dere akışındaki su kalitesinin takibi için numuneler alınıp gerekli izlemeler yapılmıştır. Yankol-1, 2 ve 3 noktalarında görsellerde görüldüğü gibi genişlik ve derinlik az olup kirlilik yükünün fazla olduğu alanlardır. Bu örnekleme noktalarında yaz aylarında çoğunlukla akışın durgun ya da kuru olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.11). Acısu Deresi için debi ölçüm sonuçları Çizelge 3.3'te sunulmaktadır.



a)



b)

Şekil 3.11. 07 Temmuz 2021 tarihinde **a)** Acısu Yankol-2 ve **b)** Acısu Yankol-3 izleme noktalarının görünümü

Çizelge 3.3. Ekim 2020 – Eylül 2021 döneminde Acısu Deresi'nde gerçekleştirilen debi ölçümleri sonuçları

Tarih	Debi (m ³ /s)				
	Acısu-6	AYK-2	AYK-3	Acısu-3	Acısu-1
26.10.2020	kuru	0,321	0,657	0,736	5,820
25.11.2020	kuru	0,034	0,337	1,681	11,400
24.12.2020	0,092	0,080	0,403	2,325	8,774
22.01.2021	0,055	0,088	0,775	1,555	4,357
26.02.2021	0,084	0,099	1,928	1,952	Ölçüm yapılamadı
05.04.2021	0,079	0,134	0,518	1,465	5,472
30.04.2021	0,011	0,022	0,673	1,844	6,944

Çizelge 3.3'ün devamı

Tarih	Debi (m ³ /s)				
	Acısu-6	AYK-2	AYK-3	Acısu-3	Acısu-1
28.05.2021	0,003	0,004	0,620	1,628	5,979
30.06.2021	kuru	durgun	1,556	1,656	6,054
02.08.2021	kuru	0,002	1,608	1,506	4,936
31.08.2021	kuru	durgun	1,581	1,587	5,035
27.09.2021	kuru	durgun	1,448	1,415	4,797

3.3. Su Kalitesi İzleme Parametreleri, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri

Acısu Deresi'nin su kalitesi izleme çalışmaları Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) ve İzleme Yönetmeliği'nde belirtilen genel esaslar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte derenin kaynağından denize döküldüğü noktaya kadarki akış yolu, yan kollar, bağlantı olan sulama kanalı gibi noktalar dikkate alınmıştır. Öncelikle örnekleme noktalarını belirlemek için Acısu Deresi boyunca bir keşif gezisi yapılarak numune alımına ve araştırmanın amacına uygun potansiyelde yerler tespit edilmiştir. Çalışmada Acısu Deresi'nin memba noktasına kadar ulaşılmıştır fakat keşif sırasında mevsim sebebiyle bu noktada akış gözlenmemiştir. Sahadaki keşif tamamlandıktan sonra su kalitesi izleme istasyonları belirlenmiştir. Acısu Deresi üzerinde yaklaşık 40 km'lik nehir kesitinde anakolda toplam 9 adet izleme noktası ve 3 adet yan kol giriş noktasında su kalitesi izlemesi yapılmıştır. İzleme çalışması tüm izleme istasyonlarında bir yıl boyunca aylık olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12.a'da yaz mevsiminde bir arazi çalışması sırasında tarafımca köprü üstünde yer alan bir numune alımı görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.12.b'de kış mevsiminde Acısu Dere yatağının merkezinde multiparametrik ölçüm cihazı ile anlık ölçümlerin yapıldığı çalışmaya ait görsel sunulmaktadır.



a)



b)

Şekil 3.12. a) Yaz mevsimi arazi çalışması sırasında köprü üstünden numune alımı, b) Kış mevsimi arazi çalışması sırasında dere yatağında YSI EXO2 model multiparametrik ölçüm sondası kullanılarak anlık ölçümlerin gerçekleştirilmesi

İzleme çalışması kapsamındaki tüm analizler Antalya’da Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü Kepez Yerleşkesi’nde bulunan laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları bu kurumda görevli olan ve tez çalışmasının desteklendiği 119Y267 nolu TÜBİTAK projesinde araştırmacı olan Dr. Mehmet Ali Turan KOÇER tarafından koordine edilip, aynı kurumda görevli olan Dr. Murat YEŞİLTaş (proje araştırmacısı), Seçil TÜZÜN DUĞAN (proje araştırmacısı) ve proje bursiyer öğrencisi Ayşenur USLU ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında incelenen temel su kalite parametreleri bir yıl boyunca her ay ölçülüp kaydedilmiştir. Acısu Deresine ait fizikokimyasal parametreler için, su numuneleri dere kesitinin tamamını temsil edecek şekilde toplanmıştır. Numuneler tüm dere yatağı genişliği ve üç farklı derinliği (yüzey, orta ve dip derinlik) temsil edecek şekilde yaklaşık 10 L hacimli kompozit su numuneleri halinde manuel olarak toplanmıştır. Kompozit

su numuneleri 2,5 L hacimli polipropilen örnek kaplarına alınarak, sahada soğutmalı ve ışık almayan taşıma çantası ile laboratuvar ortamına kadar korumalı şekilde taşınmıştır. Bakteriyolojik analizler için önceden sterilizasyonu yapılmış 100 mL hacimli koyu kahverengi renkli cam şişeler ile dere yatağının orta kesitinden doğrudan suya batırılıp su numunesi alındıktan hemen sonra üzeri hava almayacak şekilde kapatılarak örnekler toplanmıştır.

Suya erişimin zorlaştığı ve doğrudan erişilemeyen izleme noktalarında su örnekleme cihazı kullanılarak numuneler toplanmış ve steril numune kaplarına aktarılmıştır. Toplanan su numunelerinden 2'şer mL hacimli küçük su numuneleri halinde konsantre hidroklorik asit ile asitlendirilerek pH 2 koşulunda saklanmıştır. Su kalitesi izleme çalışmaları için saha çalışması ve numune alımı amacı ile sabah erken saatlerde yola çıkılıp, saha çalışması aynı gün içerisinde saat 15:00 gibi tamamlanarak, laboratuvar da analizlere başlanılmıştır. Numunelerin toplanması ve laboratuvar ortamına taşınması aşamaları ulusal ve uluslararası standart (ISO 5667-6(1900); ISO 5667-2(1991); ISO 5667-3(1994)) ve tebliğlere uygun şekilde tamamlanmıştır. Bakteriyolojik parametreler, anyon, katyon, KOİ ve BOİ₅ parametreleri için analizler, numunelerin toplandığı gün içerisinde laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Anlık izleme gerektiren analizler cihazla ölçülüp kaydedilmiştir. Bu kapsamda, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve doygunluk yüzdesi, klorofil-a parametrelerinin ölçümleri sahada izleme noktalarında YSI EXO2 model multiparametrik ölçüm sondası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz arazi çalışması öncesinde standart çözeltiler ile kalibre edilmiştir. Renk parametresi, gerçek renk olarak UV/Vis spektrofotometre cihazı ile 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında ölçülmüştür (ISO7887 2011). Askıda katı madde analizi için su numuneleri önceden tartılıp sabit ağırlıkları alınmış cam fiber filtre kağıtlarından süzülüp, 103-105 °C aralığında etüvde kurutulmuştur. Daha sonra son ağırlık değerleri tartımla ölçülüp kaydedilmiştir. Böylece aradaki fark bulunup, sudaki askıda katı madde miktarı ölçülmüştür. Toplam alkalinite ve bikarbonat titrimetrik yöntemler ile analiz edilmiştir (APHA 1998). KOİ ve BOİ₅ analizleri standart metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (APHA 1998).

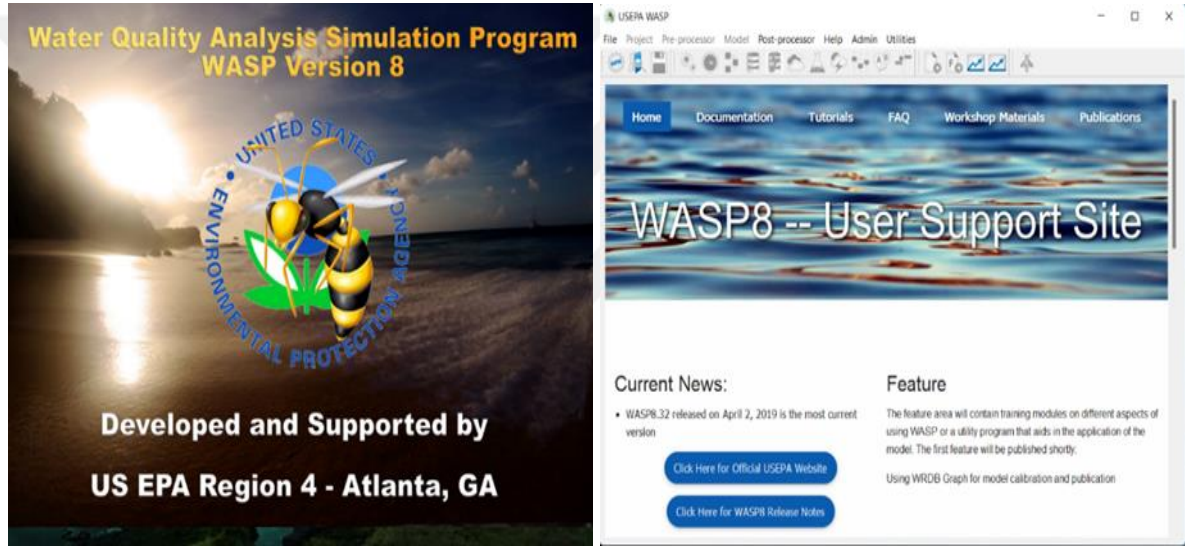
Su numunelerindeki anyon (florür, klorür, nitrit, bromür, sülfat, nitrat ve fosfat) ve kation (lityum, sodyum, amonyum, potasyum, magnezyum ve kalsiyum) grupları Thermo Scientific Dionex ICS-3000 Reagent-Free İyon Kromatografi (IC) sistemi ile analiz edilmiştir. Bu cihazın Dionex IonPac AS18 anyon değişim, Dionex IonPac CS12A kation değişim kolonları, Dionex CSRS 300 kation supresör ve 300 anyon supresörü olan iletkenlik dedektörü bulunmaktadır (Basumallick ve Rohrer 2019). Toplam organik karbon (TOK) ve toplam azot (TN) parametreleri eş zamanlı olarak dört kanallı NDIR ve CLD dedektörü olan HACH IL550 TOC/TN cihazı ile yüksek sıcaklıkta katalitik yakma yöntemi ve cihaz kullanım yönergelerine göre analiz edilmiştir. Toplam organik azot (TON), TN ile inorganik azot formlarının toplamının farkı $[TON = TN - (NH_4-N + NO_2-N + NO_3-N)]$ alınarak hesaplanmıştır. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) ise TN ile nitrit ve nitrat azotu formlarının farkı alınarak $[TKN = TN - (NO_2-N + NO_3-N)]$ hesaplanmaktadır. Toplam fosfor (P) askorbik asit metodu ve persülfat parçalaması uygulanarak spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir (APHA 1998).

Bakteriyolojik parametreler kapsamında toplam koliform analizi için su numuneleri steril membran filtreden süzülüp, m-Endo besi yeri içeren petri kutularına aktarılıp, $35,0 \pm 0,5$ °C sıcaklıkta 24 ± 2 saatlik inkübasyona alınıp, altın yeşil metalik parlaklık veren kırmızı koloniler sayılarak tayin edilmiştir. Fekal koliform analizi için su numuneleri steril membran filtreden süzülüp, m-FC besi yeri içeren petri kutularına aktarılıp, $44,5 \pm 0,2$ °C sıcaklıkta 24 ± 2 saatlik inkübasyona alınıp, altın mavi renkli koloniler sayılarak tayin edilmiştir. *Escherichia coli* (E.Coli), toplam koliform analizinde olduğu gibi m-Endo besi yerinde inkübasyonundan sonra NA-MUG besi yerinde $35,0 \pm 0,5$ °C sıcaklıkta 4 saatlik ek inkübasyondan sonra uzun dalga UV ışık altında mavi parlaklık veren ve merkezi koyu renkli koloniler sayılarak tayin işlemi tamamlanmıştır. Fekal streptokok analizi için su numuneleri steril membran filtrelerden süzdürüldükten sonra KF streptokok besi yeri içeren petri kutularında $35,0 \pm 0,5$ °C sıcaklıkta 46 ± 2 saatlik inkübasyon sonrası koyu kırmızı koloniler sayılarak tayin edilmiştir (APHA 1998; Myers ve Sylvester 1997).

3.4. Model Uygulaması

3.4.1. Modelin Genel Tanıtımı

Acısu Deresi su kalite modellemesi uygulaması için Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (USEPA) tarafından geliştirilmiş olan Water Quality Analysis Simulation Program (WASP)'ın en son versiyonu WASP8 modeli kullanılmıştır. Modelin ekran görüntüsü Şekil 3.13'da gösterilmektedir.



a)

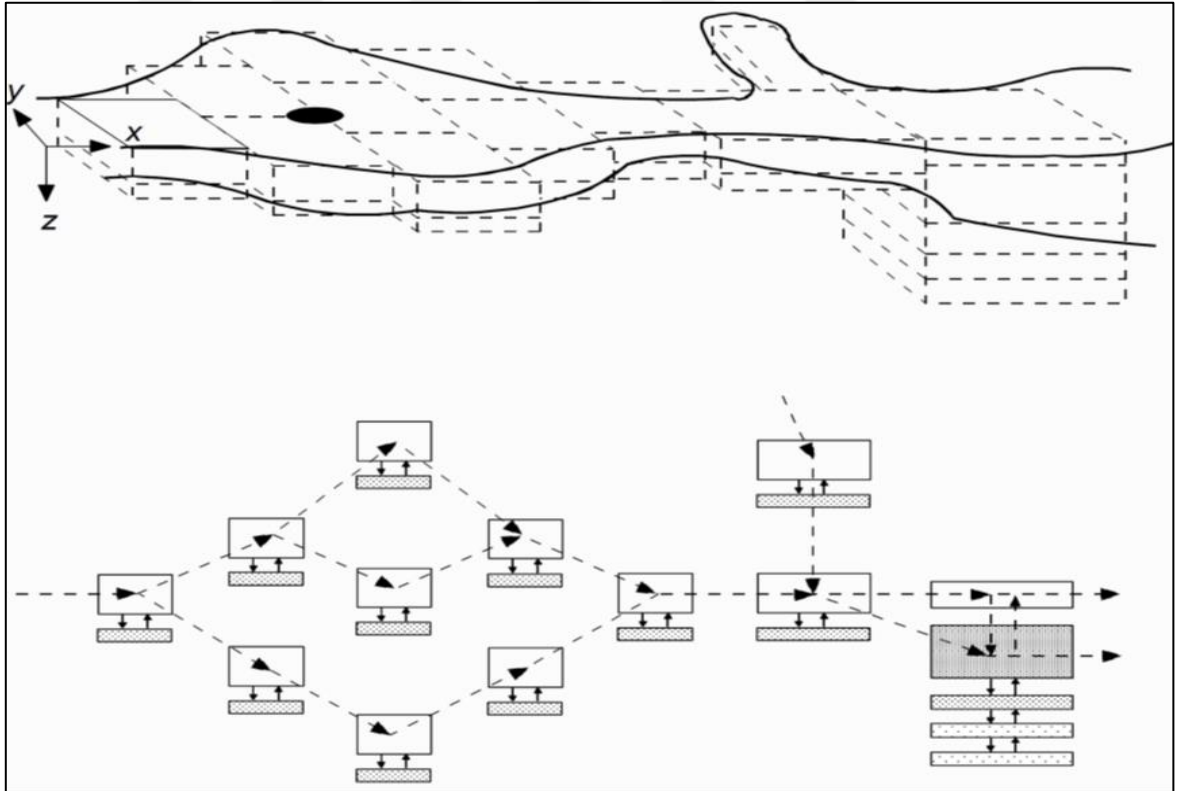
b)

Şekil 3.13. a) Modelin ana ekran görüntüsü, b) Model açıldıktan sonraki ekran görüntüsü

Model, USEPA tarafından ücretsiz erişime açıktır. WASP, oldukça geniş çaplı model ağına sahip olan kutu modelidir. Model ağı, modellemesi yapılacak olan su kütlelerini sıfır, bir, iki ve üç boyutlu temsil edebilir ve dinamik olarak çözebilir. WASP model ağ sistemi ve model kutuları Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Modele ait özellikler ve içerdiği kirletici çeşitleri Çizelge 3.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. WASP modeli genel özellikleri ve sunulan kirlilik parametreleri (USEPA-a 2022)

Özellikler	Açıklama
Mevcut Sürüm	8.32
Yayın Tarihi	Nisan 2, 2019
İşletim Sistemi	Windows'un eski sürümleri, 64-bit Windows 7 veya üstü, Mac OSX, Linux Ubuntu
Kullanıcılar	Çevre Mühendisleri/Bilim Adamları, Düzenleyici Kurumlar
Anahtar Kelimeler	Sucul biyoloji, değerlendirme, uyum, deşarj, çevresel etkiler, su bilimi, metaller, noktasal kaynak(lar), yüzey suları, test/analiz, toplam maksimum günlük yükleme
Medya	Yüzey suları
Kirletici Çeşitleri	Konvansiyonel kirleticiler (azot, fosfor, çözünmüş oksijen, BOİ ₅ , sediman oksijen ihtiyacı, alg), organik kimyasallar, metaller, civa, patojenler, sıcaklık



Şekil 3.14. WASP model kutuları ve model ağı (Ambrose 1993)

WASP, su ekosistemlerinin değişik kısımlarını temsil edebilen dört model kutusu türü içermektedir. Bunlar:

- 1) Atmosfer ile teması olan su kutusu
- 2) Atmosfer ile teması olmayan su kutusu
- 3) Su ile teması olan sediment yatağı kutusu
- 4) Su ile teması olmayan sediment yatağı kutusu olarak tanımlanmıştır.

Kutular arasındaki su ve kütle alışverişı altı taşınım alanıyla tanımlanmıştır. Bunlar;

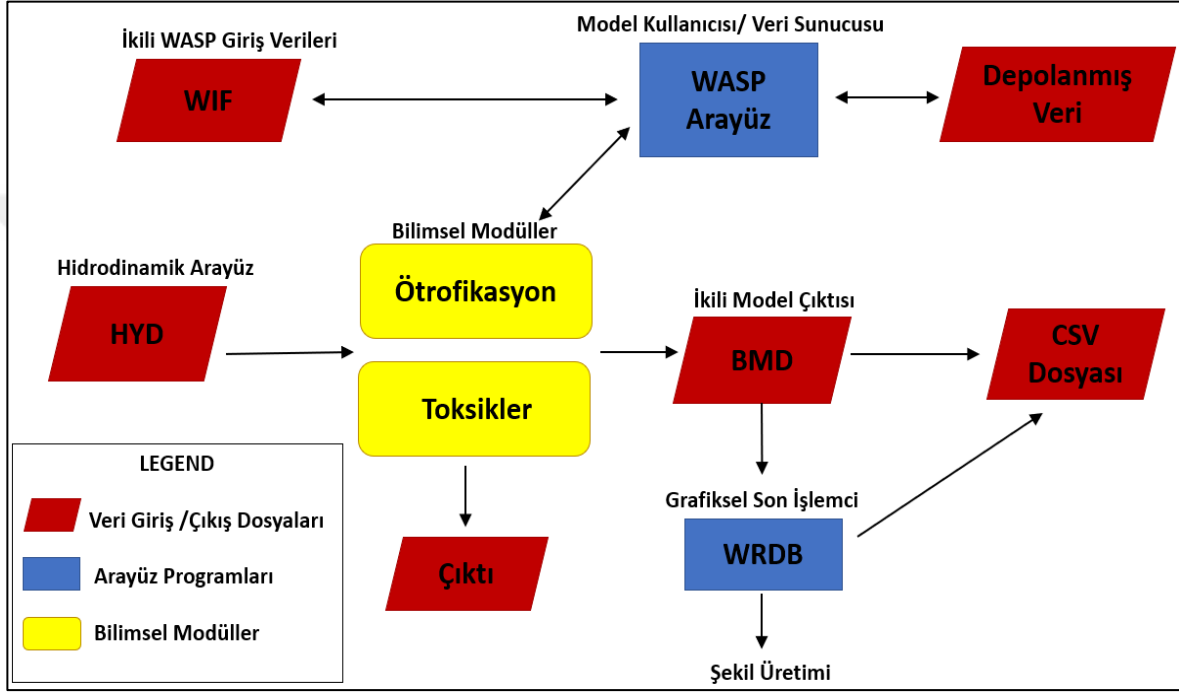
- 1) Su sütununda akıntı ile taşınım
- 2) Yatak sedimenti boşluklarında taşınım
- 3) Su sütununda çökelme/yeniden askıya geçme ile taşınım 1
- 4) Su sütununda çökelme/yeniden askıya geçme ile taşınım 2
- 5) Su sütununda çökelme/yeniden askıya geçme ile taşınım 3
- 6) Yağış/buharlaşıma ile taşınım olarak tanımlanmıştır. 3, 4 ve 5'inci taşınım alanları farklı çökelme hızlarını temsil etmektedir (Ambrose 1993).

WASP8 göletler, göller, nehirler, rezervuarlar, körfezler ve kıyısız sular gibi farklı su kütlelerinde, çeşitli su kalite problemlerinin analizinde kullanılan dinamik özellikli bir modeldir. WASP, dünya genelinde en yaygın kullanılan su kalite modellerinden biridir. Bu model, değişen meteorolojik koşullara ve çevresel faktörlere çok yıllık analizlere olanak sağlama yeteneğine sahiptir. WASP'ın bu özelliğini geliştirmek amacı ile Florida'daki büyük bir nehirde kirlilik kriterleri ve hidromorfolojik özelliklerinin 12 yıl süre ile modellenmesi yapılmıştır. Gelişmesinde kullanılan diğer örnekler şunlardır:

- Tampa Bay, FL'nin ötrofikasyonu
- Lake Okeechobee, FL'ye fosfor yükü
- Neuse River Estuary, NC'nin ötrofikasyonu
- Coosa Nehri ve Rezervuarları ötrofikasyonu
- Büyük Göllerin PCB kirliliği
- Potomac Halisindeki ötrofikasyon
- James Nehri Halicinin kepone kirliliği

- Delaware Halicinin uçucu organik kirliliği
- Kuzey Karolina, Deep River'ın ağır metal kirliliği ve
- Savannah Nehri'nde cıva kirliliği (USEPA-a 2022)

WASP'ın model çerçevesi Şekil 3.15'te sunulmuştur.



Şekil 3.15. WASP model çerçevesi (Knights 2019)

WASP, ayrı segmentler arasında bir, iki ve üç boyutlu olarak uygulanabilir. WASP geleneksel su kirleticileri ve toksik maddeleri simüle edilen bir yapıya sahiptir. Kullanıcı tarafından WASP girdi dosyası (WIF) oluşturmak için WASP ile arayüz üzerinden etkileşime girilir ve dosya oluşturulduktan sonra WASP modeli simülasyonu çalıştırmak için WIF dosyasını okur.

WASP8 tarafından çözülen denklemler kütle korunumuna dayanmaktadır. Bir su kütlesindeki çözünmüş bileşenler için bir kütle denge denklemi, doğrudan ve dolaylı yoldan giren ve çıkan tüm materyalleri hesaba katmaktadır. Homojen taşınım; fiziksel, kimyasal ve biyolojik dönüşümler için geçerlidir. Yatay düzlemdeki x ve y koordinatları ve dikey

düzlemdeki z koordinatı göz önüne alındığında, sonsuz küçüklükteki bir sıvı hacmi etrafında kütle denklemi hesaplanır (Wool 2020):

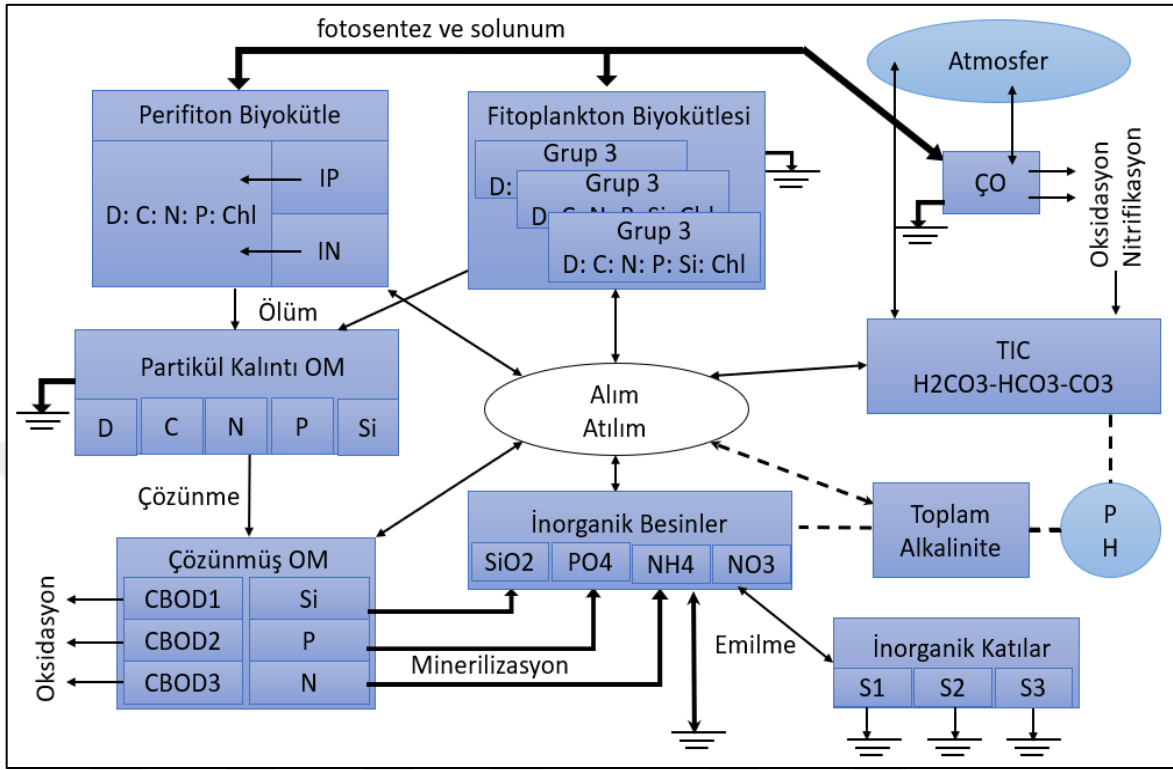
$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial C}{\partial x}U_x - \frac{\partial C}{\partial y}U_y - \frac{\partial C}{\partial z}U_z + E_x\frac{\partial^2 C}{\partial^2 x} + E_y\frac{\partial^2 C}{\partial^2 y} + E_z\frac{\partial^2 C}{\partial^2 z} + S_L + S_B + S_K \quad (3.1)$$

C, su kalitesi bileşeninin konsantrasyonudur, (mg/L veya g/m³), t zaman (gün), U_x, U_y, U_z boyuna, yanal ve dikey advectif hızlardır (m/gün), E_x, E_y E_z, uzunlamasına, yanal ve dikey difüzyon katsayılarıdır (m² gün), S_L doğrudan ve yaygın yükleme oranıdır (g/m³.gün), S_B sınır yükleme oranıdır (yukarı akış, aşağı akış, bentik ve atmosferik) (g/m³.gün), S_K toplam kinetik dönüşüm oranıdır (pozitif kaynak, negatif kayıp) (g/m³.gün). Bu denklem WASP modelinde, aşağıdaki eşitlikle sonuçlanan belirli hacimlere entegre edilmiştir (Wool 2020):

$$\frac{d(VC)}{dt} = \sum Q_{in}C_{in} - \sum Q_{out}C + \sum \frac{EA_i}{L_i}(C_i - C) \pm \text{sources/sinks} \quad (3.2)$$

Burada V bölüm hacmi (m³), Q akış hızı (m³/s), E dağılım oranı (m²/s), A alan (m²) ve L karışım uzunluğu (m). Kütle dengesi, WASP8'de simüle edilen tüm bileşenlere uygulanır, burada adveksiyon ve dispersiyon terimleri tipik olarak bir hidrolik modelin uygulanmasından türetilir.

WASP8 Ötrofikasyon Modülü su sıcaklığı, amonyak azotu, nitrat azotu, çözülmüş organik azot ve fosfor, inorganik fosfat, inorganik silika, çözünmüş organik silika, karbonlu BOİ, ÇO, tuzluluk, alg, fitoplankton, pH, alkalinite değişkenlerini içerir. Model değişkenleri arasındaki ilişki Şekil 3.16'te gösterilmektedir (Wool 2020).

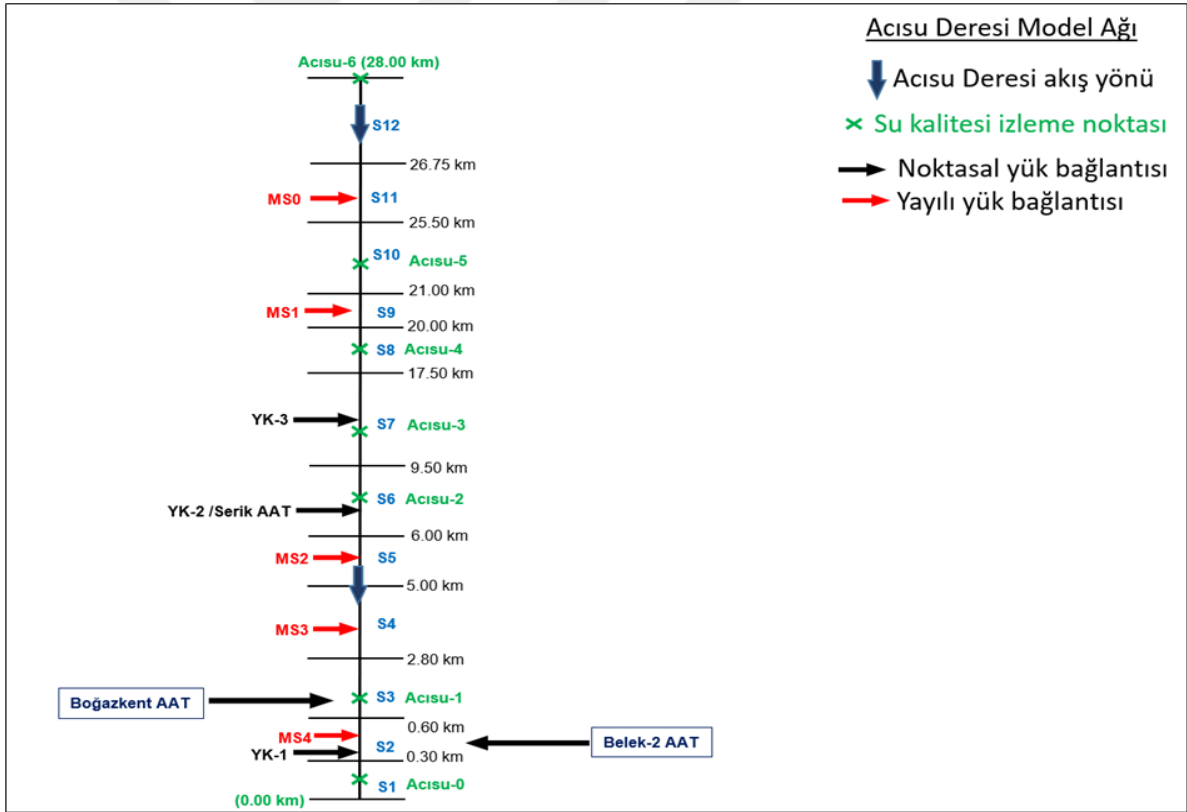


Şekil 3.16. WASP8 Gelişmiş Ötrofikasyon Modülü (Martin 2005)

3.5. Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Acısu Deresi'ne WASP8 modelinin uygulanmasında modelin kalibrasyon ve doğrulama dönemleri altı aylık periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu örnekleme çalışmalarının ilk altı ayını kapsayan Eylül 2020-Mart 2021 dönemi için gerçekleştirilmiştir. Model doğrulaması ise örneklemlerin yapıldığı sonraki altı aylık periyot olan Mart 2021-Ekim 2021 dönemine aittir. Modelleme çalışması MapShed ve WASP8 modellerinin entegre bir şekilde uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. MapShed modeli ile yüzeysel akış ve havza kaynaklı toplam askıda katılar, toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları günlük olarak tahmin edilip doğrudan WASP8 modeline girdi verisi olarak tanımlanmıştır. WASP8 modelinin İleri Ötrofikasyon modülü ile de su kalitesi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon ile dere için akım ve su kalite tahminleri elde edilmiştir. Bu tahminler doğrultusunda Acısu Deresi için senaryo analizleri yapılarak, su durumunun iyileştirilmesine yönelik öneriler verilmiştir.

Model kalibrasyonu deneme/yanılma yönetimi kullanılarak model durum değişkenlerinin (sıcaklık, BOİ, ÇO, N ve P formları vb.) tahmin edilen ve ölçülen değerlerinin benzetimi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen verilerin karşılaştırılması için determinasyon katsayısı (R^2) ve ortalama karekök hatası (RMSE) hata analizi yöntemleri kullanılmıştır. Acısu Deresi için WASP8 model uygulamasında oluşturulan model segment ağı Şekil 3.17’de gösterilmektedir. Uygulama için toplam 12 adet segment oluşturulmuştur. Bunlar S1, S2, S3, vb. olarak S12’ye kadar isimlendirilmiştir. Model ağında, başlangıç segmentinde Acısu-6 ve bitiş segmentinde Acısu-0 izleme noktaları bulunmaktadır. Yedinci segmente (S7) Acısu Yankol-3 (Batı Batak Deresi) bağlantısı ve altıncı segmente (S6) Acısu Yankol-2 (Doğu Batak Deresi) bağlantısı tanımlanmıştır.



Şekil 3.17. WASP8 modelinin Acısu Deresi’ne uygulanması için oluşturulan model segment ağı

Atıksu arıtma tesislerinden gelen kirlilik yüklerini tanımlamak için, Acısu Yankol-2’ye deşarjı olan Serik AAT ile üçüncü segmente (S3) deşarjı olan Boğazkent AAT ve ikinci

segmente (S2) deşarjı olan Belek-2 AAT deşarjları da model segmentlerinde belirtilmiştir. AcısuYankol-1 beton bir kanal olup, çok az akışa sahip olan ve zaman zaman akış olmayan bir kanaldır. Bu kanal segment iki (S2) için noktasal kirlilik yükü girişi olarak tanımlanmıştır. MapShed modelinin Acısu Deresi'ne bağlantı kurduğu 5 alt havza alanı ve bağlantı noktaları da belirtilmiştir. Havza kaynaklı yayılı TSS, TN ve TP konsantrasyonları ile günlük yüzeysel akışlar MapShed modelinden elde edilmiştir. Yayılı kirletici yüklerin WASP8 modeline entegre edilerek tanımlanması su kalitesinin tahmin edilmesi ve senaryoların oluşturulmasında önemli bir katkı sağlamıştır. Acısu Deresi'nin maruz kaldığı konvansiyonel kirleticiler nehir havza alanında konumsal olarak farklılık göstermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIşMA

4.1. İzleme Sonuçları

Acısu Deresi su kalitesi izleme çalışması için on iki istasyon belirlenmiştir. Belirlenen tüm izleme istasyonlarında Eylül 2020-Eylül 2021 süresi boyunca fizikokimyasal ve bakteriyolojik su kalite parametrelerinin ölçüm ve analizleri bir yıl süre ile her ay düzenli olarak yapılmıştır. Çizelge 4.1’de Acısu Deresi’nde tüm izleme noktalarındaki su kalite parametrelerinin sonuçları özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Acısu Deresi'nde tüm izleme noktalarındaki su kalite parametrelerinin sonuçları

Parametre	İzleme İstasyonları											
	Acısu-8	Acısu-7	Acısu-6	Acısu-5	Acısu-4	Acısu-3	Yan kol-3	Acısu-2	Yan kol-2	Acısu-1	Yan kol-1	Acısu-0
Klorür (mg/L)	min	11,67	20,92	5,51	4,64	6,05	6,45	6,11	20,71	573,12	224,34	927,61
	max	18,83	24,09	27,56	22,94	27,18	23,03	28,00	567,52	3363,21	2558,72	4714,86
	ort	16,45	22,71	12,77	10,13	11,53	12,31	12,09	225,02	2056,38	1020,87	2444,23
	Sd	3,24	1,35	8,88	5,65	6,80	5,98	6,81	211,82	872,58	876,92	1114,89
Nitrit (mg/L)	min	0,010	0,010	0,010	0,010	0,017	0,010	0,022	0,010	0,010	0,010	0,010
	max	0,108	0,091	0,133	0,171	0,150	0,147	0,158	0,144	0,697	1,378	0,782
	ort	0,043	0,049	0,047	0,053	0,063	0,062	0,058	0,076	0,314	0,299	0,308
	Sd	0,046	0,043	0,038	0,050	0,037	0,042	0,036	0,048	0,255	0,532	0,282
Nitrat (mg/L)	min	0,033	7,883	2,237	2,704	2,948	2,539	2,879	3,108	2,962	1,136	2,514
	max	2,030	25,141	28,599	23,773	22,119	15,517	23,397	16,359	21,488	8,177	19,521
	ort	0,768	15,119	9,872	7,549	8,843	5,715	8,101	5,638	8,786	4,608	8,537
	Sd	0,923	7,399	10,388	6,526	6,736	3,852	6,332	3,717	5,600	3,136	4,972
Fosfat (mg/L)	min	0,005	0,006	0,012	0,012	0,034	0,003	0,034	0,040	0,205	0,006	0,227
	max	0,012	0,025	0,111	0,417	0,175	0,198	0,544	0,169	1,640	0,237	1,091
	ort	0,009	0,014	0,034	0,088	0,108	0,101	0,160	0,104	0,657	0,124	0,553
	Sd	0,004	0,008	0,035	0,114	0,045	0,056	0,157	0,045	0,452	0,098	0,274
Sodyum (mg/L)	min	12,3	19,2	7,9	7,2	7,9	6,9	8,0	17,8	212,6	107,9	301,2
	max	16,0	22,6	24,2	21,6	24,5	22,7	24,3	147,6	977,2	812,5	1083,8
	ort	14,5	20,6	14,6	12,7	13,3	13,1	13,1	70,9	647,4	302,1	713,5
	Sd	1,6	1,5	7,0	5,2	5,6	4,6	4,9	53,8	243,7	257,5	234,0

Çizelge 4.1.'in devamı

Parametre		İzleme İstasyonları											
		Acısu-8	Acısu-7	Acısu-6	Acısu-5	Acısu-4	Acısu-3	Yan kol-3	Acısu-2	Yan kol-2	Acısu-1	Yan kol-1	Acısu-0
Amonyum (mg/L)	min	0,001	0,001	0,002	0,008	0,019	0,012	0,002	0,002	0,268	0,002	0,002	0,002
	max	0,110	0,039	0,318	0,124	0,153	0,274	2,229	0,133	25,012	5,785	13,092	5,638
	ort	0,030	0,016	0,055	0,031	0,052	0,081	0,240	0,051	4,742	1,065	2,230	0,933
	Sd	0,053	0,016	0,107	0,032	0,040	0,090	0,634	0,051	7,972	1,666	5,321	1,550
TOK (mg/L)	min	0,92	1,40	1,41	0,88	0,89	1,11	1,02	0,72	2,50	3,15	2,50	3,37
	max	2,19	2,28	2,53	2,74	2,73	3,56	3,77	7,95	4,98	37,70	19,63	52,70
	ort	1,67	1,79	1,98	1,70	1,87	1,99	1,99	2,49	4,09	11,96	8,74	15,13
	Sd	0,59	0,44	0,39	0,79	0,61	0,75	0,85	2,01	0,82	9,59	6,61	13,80
TN (mg/L)	min	0,023	1,880	0,656	0,650	0,715	0,730	0,670	0,890	1,983	0,909	0,455	1,060
	max	0,529	6,069	6,905	5,771	5,884	4,547	5,685	4,808	24,752	12,810	12,877	8,145
	ort	0,243	3,819	2,621	1,938	2,329	1,600	2,279	1,887	7,078	4,039	3,376	3,516
	Sd	0,220	1,874	2,551	1,601	1,777	1,103	1,644	1,361	7,406	3,769	4,708	2,242
TP (mg/L)	min	0,012	0,010	0,025	0,026	0,024	0,025	0,052	0,038	0,317	0,001	0,062	0,001
	max	0,581	1,059	0,074	0,178	0,170	0,126	0,198	0,108	5,335	0,552	0,186	0,465
	ort	0,163	0,280	0,043	0,074	0,073	0,069	0,104	0,081	1,500	0,215	0,112	0,208
	Sd	0,279	0,520	0,018	0,051	0,036	0,032	0,049	0,023	1,538	0,155	0,046	0,123

Çizelge 4.1.'in devamı

Parametre		İzleme İstasyonları											
		Acisu-8	Acisu-7	Acisu-6	Acisu-5	Acisu-4	Acisu-3	Yan kol-3	Acisu-2	Yan kol-2	Acisu-1	Yan kol-1	Acisu-0
KOİ (mg/L)	min	1,92	4,55	6,28	3,63	5,20	4,65	6,34	2,69	5,02	8,46	13,97	10,76
	max	7,31	8,36	15,98	19,44	22,18	15,06	30,11	25,24	29,79	83,00	99,91	89,73
	ort	4,47	7,00	10,54	9,26	11,15	9,54	12,75	9,68	16,46	28,02	36,08	32,91
	Sd	2,26	1,68	3,68	4,83	5,45	2,96	6,37	7,25	7,68	21,36	36,01	23,95
BOİ ₅ (mg/L)	min	1,82	1,67	1,39	2,48	2,33	3,36	2,18	1,20	3,80	4,15	6,48	4,18
	max	3,55	4,06	11,50	7,42	6,55	6,15	8,61	6,00	16,12	9,52	13,15	11,09
	ort	2,79	2,65	5,87	5,09	4,25	4,25	4,43	4,12	9,62	7,14	9,57	7,31
	Sd	0,88	1,25	3,20	1,73	1,49	0,98	1,74	1,67	4,05	2,03	3,54	2,08
AKM (mg/L)	min	1,5	0,4	1,2	2,0	6,4	7,7	1,2	4,4	4,8	7,6	6,8	6,8
	max	2,3	7,7	22,7	45,7	81,3	58,7	105,2	23,0	49,7	20,5	42,7	27,5
	ort	1,9	4,1	11,1	14,4	39,1	27,4	26,0	14,7	22,6	14,8	23,9	17,5
	Sd	0,3	3,9	7,9	13,8	21,0	18,5	30,1	6,2	15,7	4,4	12,6	6,2
Toplam alkalinite (mg/L)	min	124,4	125,0	128,3	110,8	124,5	123,6	117,4	109,2	132,2	122,8	115,4	115,6
	max	255,4	256,0	282,8	300,6	277,4	305,1	284,4	286,1	320,1	305,8	301,8	273,4
	ort	217,9	222,4	206,0	206,8	205,4	205,7	203,7	196,2	216,9	205,2	201,8	200,8
	Sd	62,5	65,0	63,4	66,4	57,7	63,1	56,2	58,6	72,7	65,1	73,9	564

Su kalitesinin en iyi olduğu istasyonlar Acısu Deresi'nin kaynak noktası olan Acısu-8 ve ona en yakın konumda bulunan Acısu-7 noktalarıdır. Bu noktalar derenin henüz kirlilik girdilerine maruz kalmamış, su kalite değerleri oldukça iyi olan iki noktadır. Acısu-8 ve Acısu-7 noktaları mevsimsel değişim sebebiyle yaz aylarında kurak gözlemlendiği için ölçüm ve analizler yapılamamış genellikle bahar ve kış dönemlerinde su kalitesi izlenmiştir. Acısu Deresi için incelenen parametrelere bakıldığında kirliliğe en etken parametreler olarak toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) belirlenmiştir. Azot ve fosfor formları düşünüldüğünde kirliliğin noktasal (3 adet AAT deşarjları) ve havzadan kaynaklı yayılı yükler (tarım, hayvancılık ve foseptikler) olduğu belirlenmiştir. Havzadan gelen noktasal ve yayılı kirlilik yüklerinin toplanarak geldiği ve bütün derenin kirlilik yükünü taşıyan istasyon, derenin denize dökülmeden hemen önceki izleme istasyonu olan Acısu-0 (mansap) noktasıdır. Su kalitesi bu noktada oldukça düşüktür. Acısu-0 noktası sahil şeridini etkileyen bir konumda bulunduğu için bu durum bölgedeki turizm faaliyetleri ve canlılar için çevresel bir tehdit oluşturmaktadır.

4.2. Gübreler ve Pestisitler

Tarım, Türkiye ekonomisi için önemli bir sektördür. Serik ilçesinde tarım her mevsim ve on iki ay boyunca yapılmaktadır. Buna göre gübre ve zirai ilaç kullanımı yıl boyunca devam etmektedir. Çizelge 4.2, Serik ilçesinde 2020 yılında her dönem 3 ayı kapsayacak şekilde dört dönem için kullanılan toplam gübre ve ilaç miktarlarını göstermektedir. İlçede 2019 yılında kullanılan toplam gübre miktarı 4890 ton iken 2020 yılında beş bin tonu geçmiştir. İlçede kullanılan toplam gübre miktarı 2019 yılında 226 ton iken 2020 yılında 255 tona çıkmıştır. Gübre kullanımının en yüksek, ilaç kullanımının ise en düşük olduğu ilk dönemde gübre ve zirai ilaçlar değişkenlik göstermiştir.

Çizelge 4.2. 2020 yılında Serik ilçesinde kullanılan gübre ve pestisit miktarları

Miktar (ton)	Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3	Dönem 4	Yıllık
	Ocak-Mart	Nisan-Haziran	Temmuz-Eylül	Ekim-Aralık	Toplam
Gübre	1990	891	1084	1076	5041
Pestisit	49,03	67,70	78,94	59,68	255,35

4.2. Model Kalibrasyonu

Acısu Deresi'ne ait model kalibrasyonunda önemli kinetik sabit ve katsayı değerleri Çizelge 4.3'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.3. WASP8 modelinin Acısu Deresi'ne uygulanmasında model kalibrasyonu ile belirlenen kinetik sabit, katsayı değerleri ve literatür değerleri

Kinetik Katsayı	Literatür Değeri	Kullanılan Değerler
Nitrifikasyon hızı, 1/gün	0,09-0,13	0,10
Nitrifikasyon sıcaklık düzeltme katsayısı	1,02-1,08	1,07
Denitrifikasyon hızı, 1/gün	0,5-2,0	1,04
Denitrifikasyon sıcaklık düzeltme katsayısı	0,0-0,1	0,03
Karbonlu organik madde parçalanma hızı, 1/gün	1,02-1,09	1,07
Karbonlu organik madde parçalanması için sıcaklık düzeltme katsayısı	0,1	0,1
Çözünmüş organik azot mineralizasyon hızı, 1/gün	0,008-4,25	1,08
Çözünmüş organik azot mineralizasyon hızı sıcaklık düzeltme katsayısı	1,02-1,08	1,07
Çözünmüş organik fosfor mineralizasyon hızı, 1/gün	0,5	0,5
Çözünmüş organik fosfor mineralizasyon hızı sıcaklık düzeltme katsayısı	1,028	1,08
Oksijen karbon sitokiyometrik oranı	2,67	2,67

Çizelge 4.3'te sunulmayan diğer sabit ve katsayı değerleri için model tarafından atanan default değerleri kullanılmıştır. Model kalibrasyon dönemi için; akım, sıcaklık, beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), çözünmüş oksijen (ÇO), amonyum azotu (NH₄-N), nitrat azotu (NO₃-N), inorganik fosfor (P), klorofil-a, askıda katı madde (AKM) için modelden elde edilen tahminler tüm izleme noktaları için Şekiller 4.2-4.10'da sunulmaktadır. Su kalite değişkenleri için ölçüm ve tahminlerin karşılaştırılması için tahminlere yönelik hata analizi sonuçları Çizelge 4.4'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.4. WASP8 modelinin Acısu Deresi için kalibrasyon uygulamasına ait model tahmin hataları

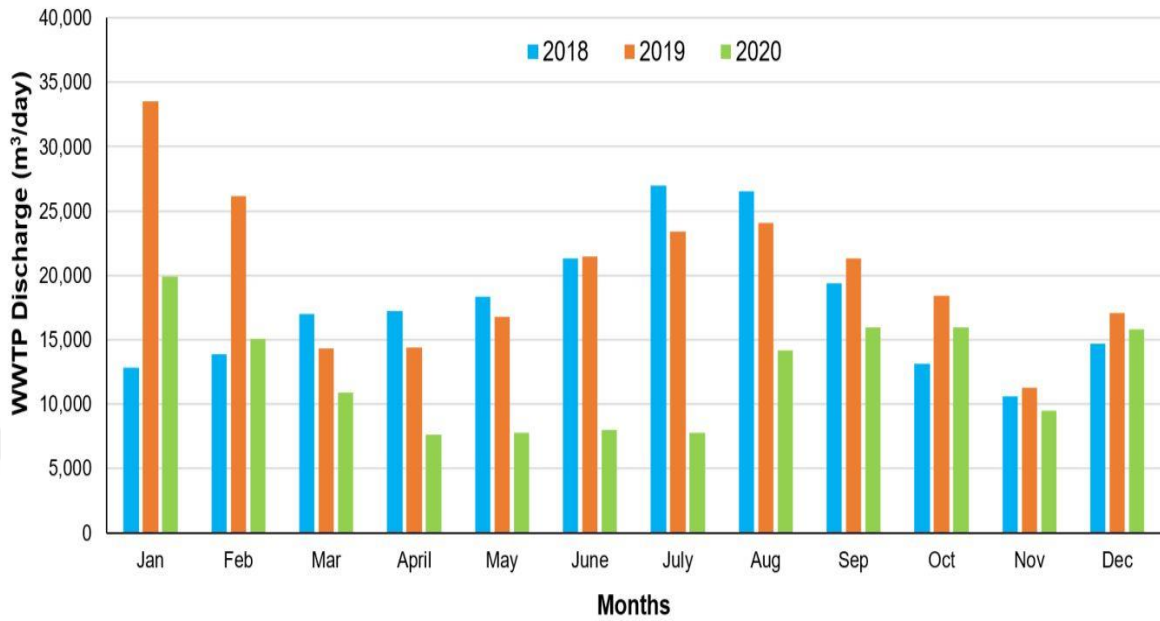
İzleme noktası	Hata analizi	Sıcaklık (°C)	BOİ ₅ (mg/L)	ÇO (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Inorg-P (mg/L)	Klorofil-a (µg/L)	AKM (mg/L)
Acısu-6	RMSE R ²	1,16 0,998	2,15 0,909	0,48 0,999	<0,01 1	0,04 1	0,00028 0,999	0,15 0,941	2,53 0,945
Acısu-5	RMSE R ²	0,80 0,998	0,44 0,9888	0,50 0,999	0,05 0,451	1,12 0,997	0,065 0,396	0,81 0,881	16,51 0,992
Acısu-4	RMSE R ²	0,32 0,999	0,82 0,801	0,67 0,999	0,05 0,991	1,45 0,853	0,05 0,977	0,24 0,615	19,37 0,859
Acısu-3	RMSE R ²	0,47 0,999	1,64 0,897	0,58 0,998	0,09 0,024	1,44 0,896	0,03 0,969	0,11 0,704	6,67 0,879
Acısu-2	RMSE R ²	0,70 0,999	0,76 0,969	0,79 0,996	0,55 0,495	1,96 0,659	0,11 0,894	0,07 0,839	6,90 0,816
Acısu-1	RMSE R ²	0,93 0,999	1,21 0,996	0,61 0,987	0,19 0,983	0,93 0,944	0,06 0,982	0,12 0,999	4,43 0,949
Acısu-0	RMSE R ²	1,24 0,995	2,65 0,869	0,55 0,995	0,19 0,981	1,06 0,838	0,05 0,977	0,16 0,688	8,96 0,954

Acısu-8 ve Acısu-7 noktaları mevsimsel kuraklıkların sıklıkla görüldüğü noktalar olduğu için model çalışmasına dahil edilmemiştir. Buna bağlı olarak Çizelge 4.3'te Acısu Deresi'nin yıl boyu akış gözlemlenen ana kol hattında bulunan izleme noktalarındaki hata analizlerine yer verilmiştir. Model tahmin hataları memba noktası olarak tanımlanan Acısu-6'dan başlayarak mansap noktası olan Acısu-0'a kadar RMSE ve R² sonuçları ile sunulmuştur. Sıcaklık parametresi için RMSE hataları en düşük 0,32 ve en yüksek 1,24 °C değerleri arasında değişmiştir. BOİ₅ model değişkeni için en düşük 0,44 ve en yüksek 2,65 mg/L model tahmin hatası elde edilmiştir. Çözünmüş Oksijen için hata analizi; en düşük değer 0,48 ve en yüksek 0,79 mg/L değerindedir. Amonyum azotu için en düşük değer 0,0072 ve en yüksek değer 0,55 mg/L'dir. Model kalibrasyon dönemi için Acısu Deresi'nden elde edilen model tahminleri izleme programı çerçevesinde ölçüm değerleri ile uyumludur. Acısu Deresi'nin üst havzadaki tarımsal alanlardan gelen kanal bağlantıları Acısu-5' de etkili

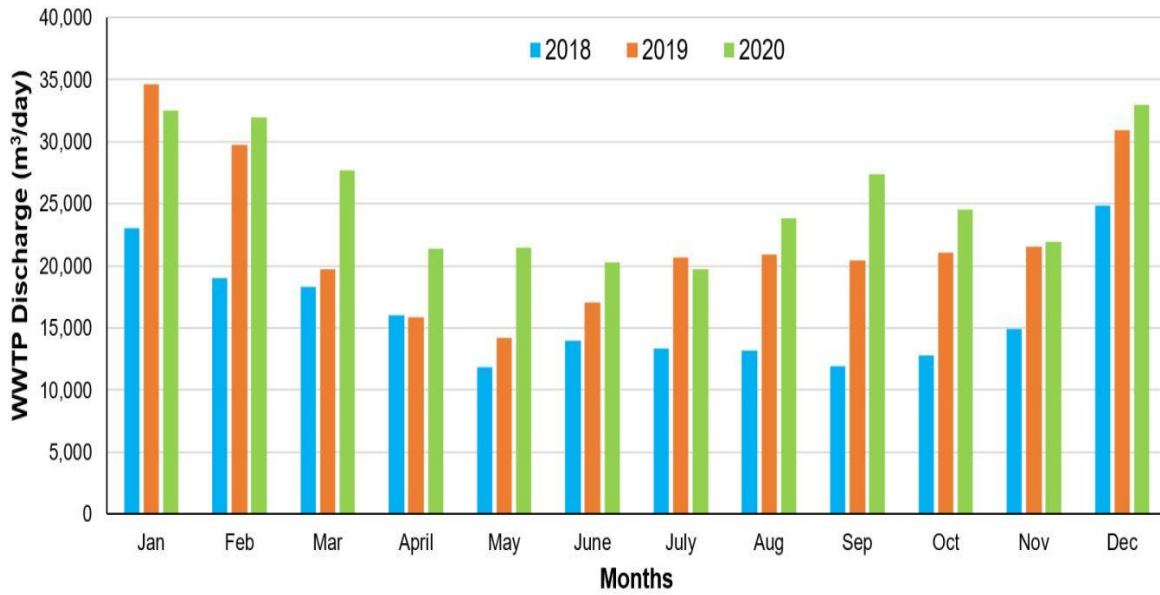
olduğu gözlemlenmiştir. Dereye mevcut koşullarda 3 adet atıksu arıtma tesisi deşarjı gerçekleşmektedir. Tüm AAT'lerin yıllık ortalama atık su akış hızları ve giriş ve çıkış suyu özellikleri (KOİ, BOİ, toplam askıda katı madde (TSS), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) konsantrasyonları) Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Yıllık ortalama debi ve atıksu arıtma tesislerinin 2019-2020 yıllarındaki giriş/çıkış suyu değerleri (ASAT)

Parametreler	Q m3/gün	Giriş (mg/L)					Çıkış (mg/L)				
AAT'ler		KOİ	BOİ	AKM	TN	TP	KOİ	BOİ	AKM	TN	TP
Belek-2											
2019	20177	499	282	229	30	6,5	22	7,4	6,4	6,5	1,6
2020	12063	370	184	152	25	3,5	32	10	9,2	11	2,1
Serik											
2019	22245	388	186	182	33	3,6	23	7,8	5,5	11	2,3
2020	24799	350	189	161	35	3,4	34	10	6,5	10	2,7
Boğazkent											
2019	11000	480	182	196	-	-	28	12	13	-	-
2020	7505	-	-	-	-	-	21	11	7	-	-



(a)



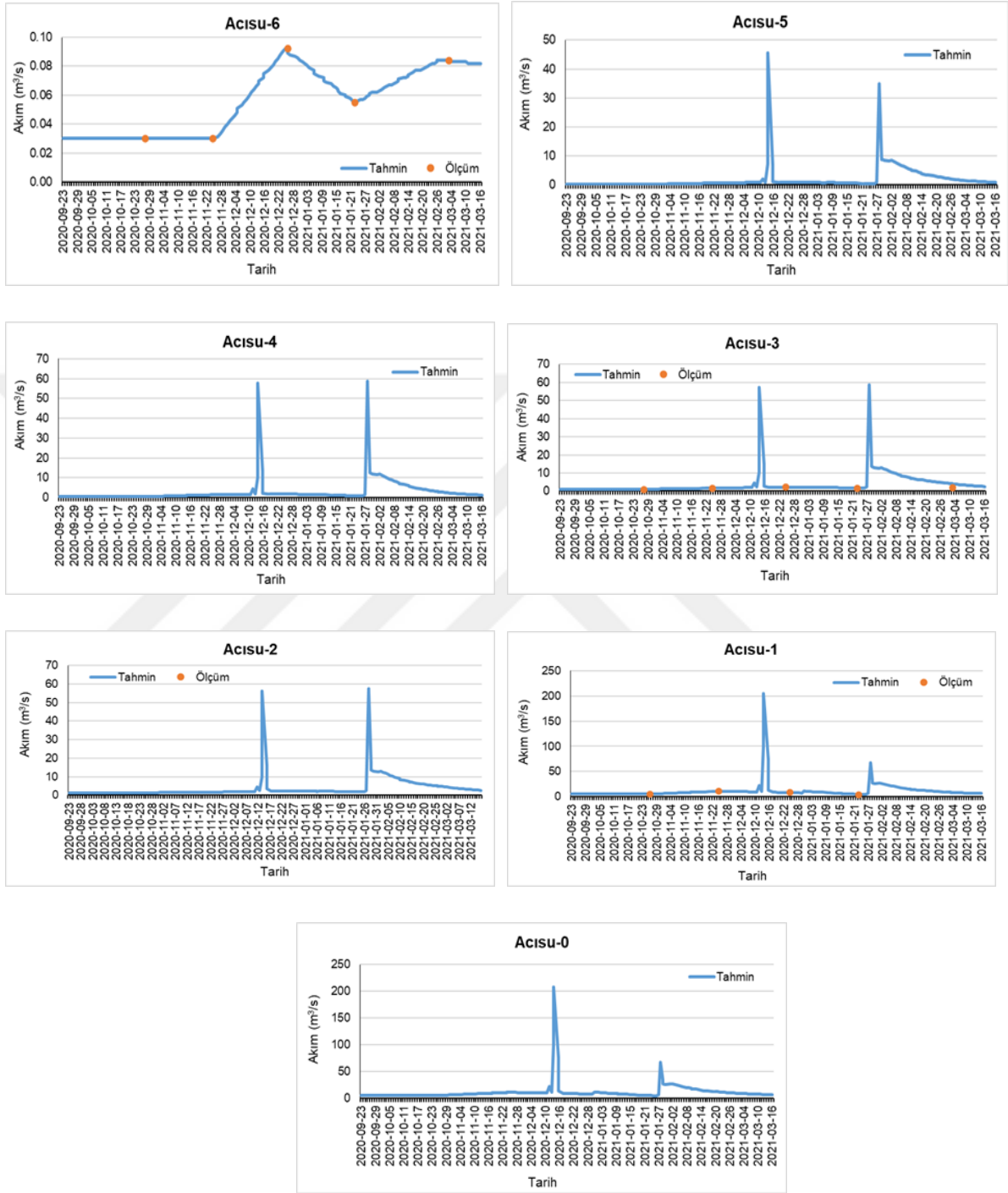
(b)

Şekil 3. a) Belek-2 ve b) Serik AAT'lerin son 3 yıldaki aylık atıksu deşarj debileri

Belek-2 AAT atıksu debileri 2019 yılında yaklaşık 17.000 20.000 m³/gün aralığında olmuştur. Ancak 2020 yılında COVID-19 pandemisi nedeniyle çalışma alanındaki turizm faaliyetleri olumsuz etilenmiş ve atıksu debileri yaklaşık olarak azalmıştır. 12.000 m³/gün'e kadar. 2018 ve 2019 pandemi öncesi yıllarına kıyasla 2020 yılında deşarj debilerinde önemli bir düşüş görülmüştür. Serik AAT, Acısu Çayı'nın Doğu Batak Deresi olarak adlandırılan kollarından birine deşarj olmaktadır. Serik AAT için Ocak 2019'da en yüksek aylık debi 34.645 m³/gün, en düşük debi ise Mayıs 2018'de 11.823 m³/gün olarak kaydedildi. Aslında atıksu debileri COVID-19 pandemisinden etkilenmedi. Serik AAT için çünkü bu tesis ağırlıklı olarak yerleşim bölgelerine hizmet ediyor. Pandeminin karantina önlemleri nedeniyle, yerel halkın 2020'de belirli sürelerle evlerinden çıkmalarına izin verilmedi ve bu da evsel su tüketiminde ve atık su hacimlerinde artışa neden oldu. Belek-2 ve Serik AAT'lerin son 3 yıla ait aylık debileri Şekil 3'te gösterilmektedir. Covid-19 pandemisi nedeni ile DSI 13. Bölge ekipleri sınırlı sayıda aylık debi ölçümü gerçekleştirmiştir, bu sebeple Acısu Deresi'nde akım verilerinin değişimi başlangıç, orta ve bitiş izleme noktaları ile iki yankol bağlantısı için debi verileri elde edilmiştir. Bu çalışmada, Acısu Dere Havzası'nda yayılı kirliliği simüle etmek için MapShed modeli kullanılmıştır. MapShed, kirletici taşınım modeliyle birleştirilmiş CBS tabanlı bir hidrolojik modeldir. Hidrolojik tarafta, model yağış ve akışı simüle edebilmek için SCS Eğri Numarası Yönetimi kullanmıştır ve toprak erozyonu Evrensel Toprak Kaybı Denklemi ile hesaplanır. Temelde MapShed modeli, kirletici konsantrasyonlarını hesaplamak için aşınmış toprak ve yüzey akışı içindeki kirleticileri bir araya getirir. Model için gerekli olan ana girdi veri setleri ulaşım, besin ve hayvandır. Ayrıca CBS şekil dosyalarında meteoroloji istasyonlarının konumları, havza sınırı, akarsu ağı haritası, toprak haritası, CBS girdi dosyalarında ise arazi kullanım/örtü haritası ve sayısal yükseklik haritası gerekmektedir.

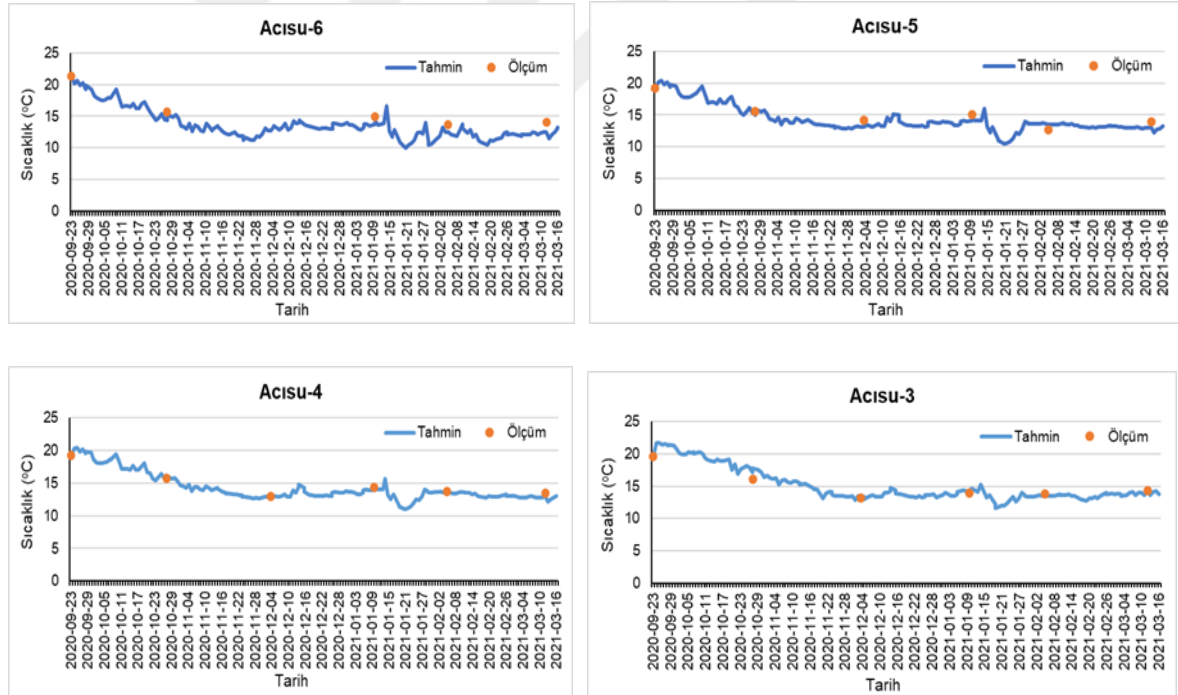
Hava durumu verileri, simülasyon dönemi için günlük minimum ve maksimum hava sıcaklıklarını ve günlük yağış oranlarını gerektirir MapShed modeli ile WASP8 modelinin entegre edildikten sonra havzadan gelen TSS, TN ve TP yükleri ve yüzeysel akış verilerinin etkisi de açık şekilde gözlemlenmiştir. Kalibrasyon dönemi WASP modeli uygulanması için ölçüm ve tahmin verileri karşılaştırılmıştır bunun sonucunda, RMSE hataları oldukça düşük, determinasyon katsayısı R² değerlerinin oldukça yüksek bulunmuştur. Acısu Deresi akım

ölçümleri DSİ tarafından takip edilmiştir. Bu nedenle ölçümler için her nokta değil belirlenen 3 analiz noktasının (Acısu-6, Acısu-3 ve Acısu-1) yıl boyu takibi yapılmıştır. DSİ verilerine göre Acısu-6, Acısu-3 ve Acısu-1 noktalarındaki akım grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Grafiklere bakıldığında Ölçüm ve model tahminleri birbirleri ile oldukça uyumludur. Grafiklerde model tahminlerinde tüm örnekleme istasyonlarında belli tarihlerde pik yapmış noktalar görülmektedir. Bu pik noktalar o tarihlerde gerçekleşmiş olan aşırı yağışları göstermektedir. Aşırı yağışın olduğu tarihlerde derenin debisinde ani artışlar meydana gelmiştir. Diğer tarihlere bakıldığında ise dere normal akışında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen akım tahminleri ve ölçümler

Acısu Deresi'ndeki su sıcaklık ölçümleri yıl boyunca her ay düzenli olarak takip edilmiştir. Bu nedenle ölçümler için her nokta belirlenen örnekleme noktalarında (Acısu-6, Acısu-5, Acısu-4, Acısu-3, Acısu-2, Acısu-1 ve Acısu-0 noktaları) yıl boyu su sıcaklığı takibi yapılmıştır. Ölçülen verilerine göre tüm istasyonlardaki ölçüm ve tahmini sıcaklık verilerine ait grafikler Şekil 4.2'de verilmiştir. Grafiklere bakıldığında Ölçüm ve model tahminleri birbirleri ile uyumu oldukça iyidir. Grafiklerde model tahminlerinde tüm örnekleme istasyonlarında belli tarihlerde özellikle kış aylarındaki ölçümlerde sıcaklık azalmış ve bahar mevsiminde suyun sıcaklığında artış görülmektedir. Bu tarihlerdeki noktalar o tarihlerde gerçekleşmiş olan hava durumunun hava sıcaklığının su sıcaklığını etkilediğini göstermektedir. Genel anlamda yıl boyu takibi yapılan suyun sıcaklık değeri 10°C ile 25°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda sucul sistem için derede yaşamsal faaliyetini sürdürebilecek habitat oluşumuna verimli bir sıcaklık olup, bazı balık ve alg türleri ayrıca sucul bitkilerinde varlığını göstermektedir.



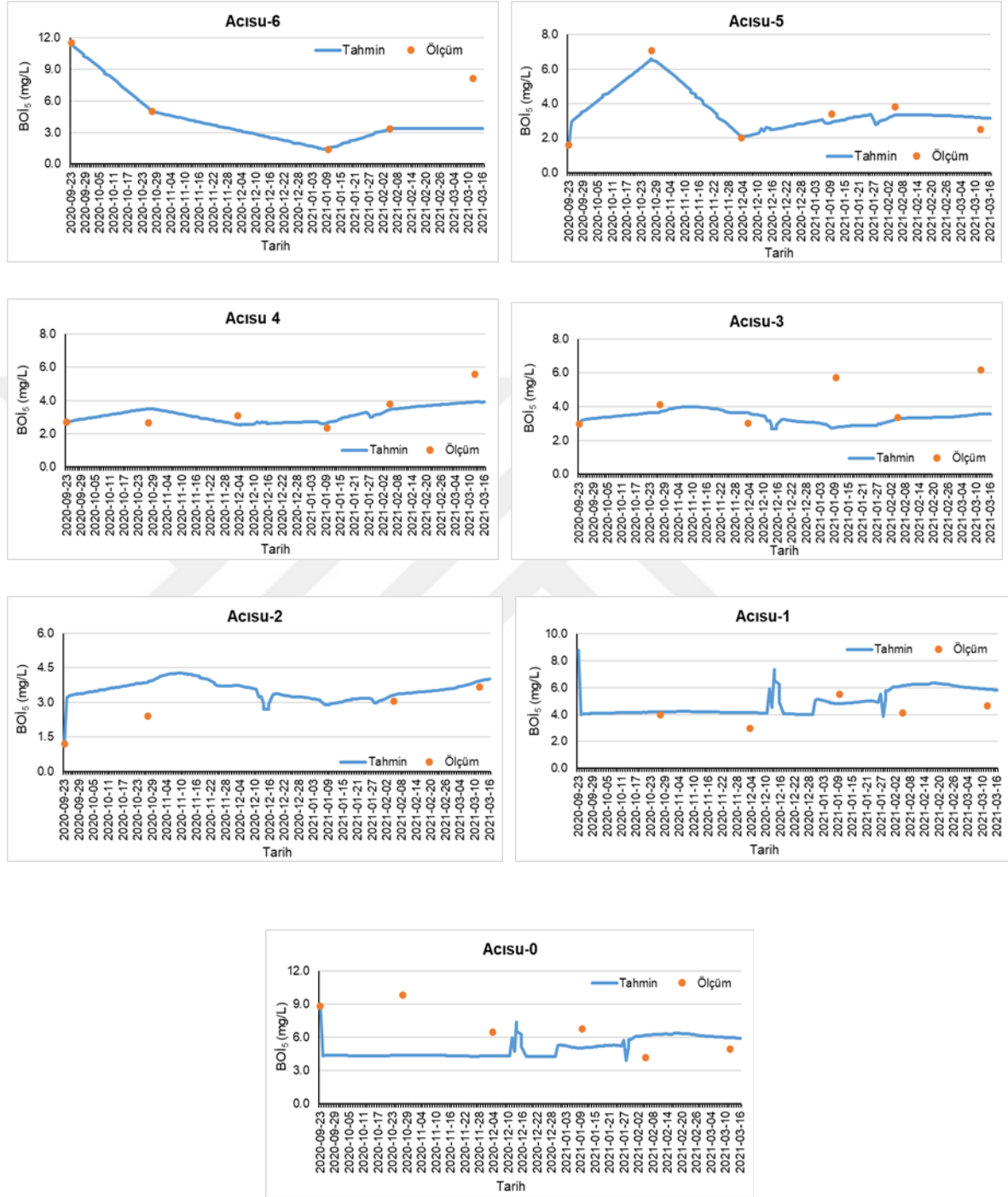
Şekil 4.2. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen sıcaklık tahminleri ve ölçümler



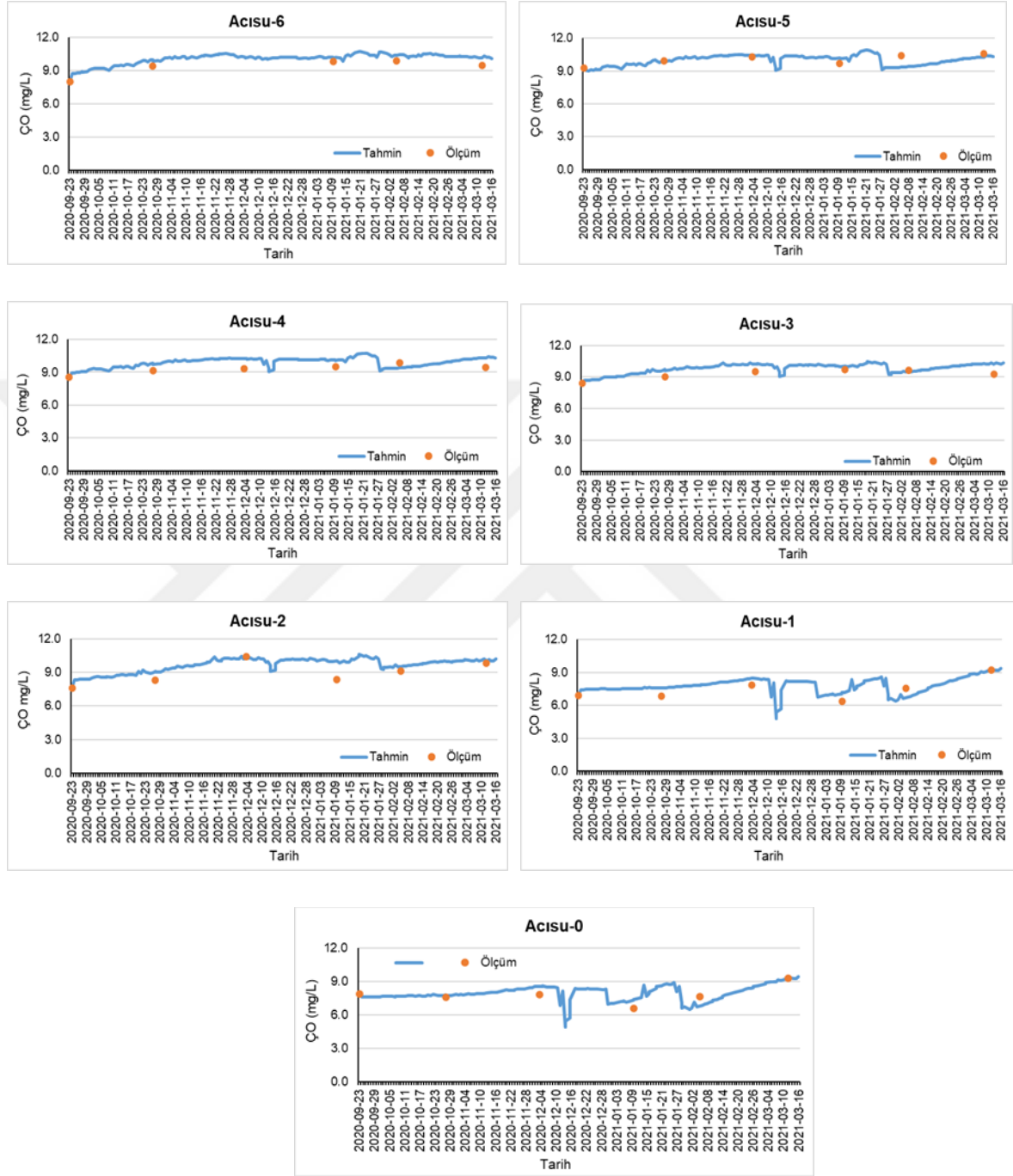
Şekil 4.2.'nin devamı

Acısu Deresi'ndeki biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) ölçümleri yıl boyunca her ay düzenli olarak takip edilmiştir. Bu nedenle ölçümler için her nokta belirlenen örnekleme noktalarında (Acısu-6, Acısu-5, Acısu-4, Acısu-3, Acısu-2, Acısu-1 ve Acısu-0 noktaları) yıl boyu BOI_5 takibi yapılmıştır. Ölçülen verilerine göre tüm istasyonlardaki ölçüm ve tahmini BOI_5 verilerine ait grafikler Şekil 4.3'de verilmiştir. Grafiklere bakıldığında Ölçüm ve model tahminleri birbirleri ile uyumludur. Grafiklerde model tahminlerinde tüm örnekleme istasyonlarında belli tarihlerde BOI_5 değerlerinde pik yapan artış ve azalışlar görülmektedir. Bu tarihlerdeki noktalar o tarihlerde gerçekleşmiş olan aşırı yağmur ve sellerin sudaki oksijen ihtiyacını etkilediğini göstermektedir.

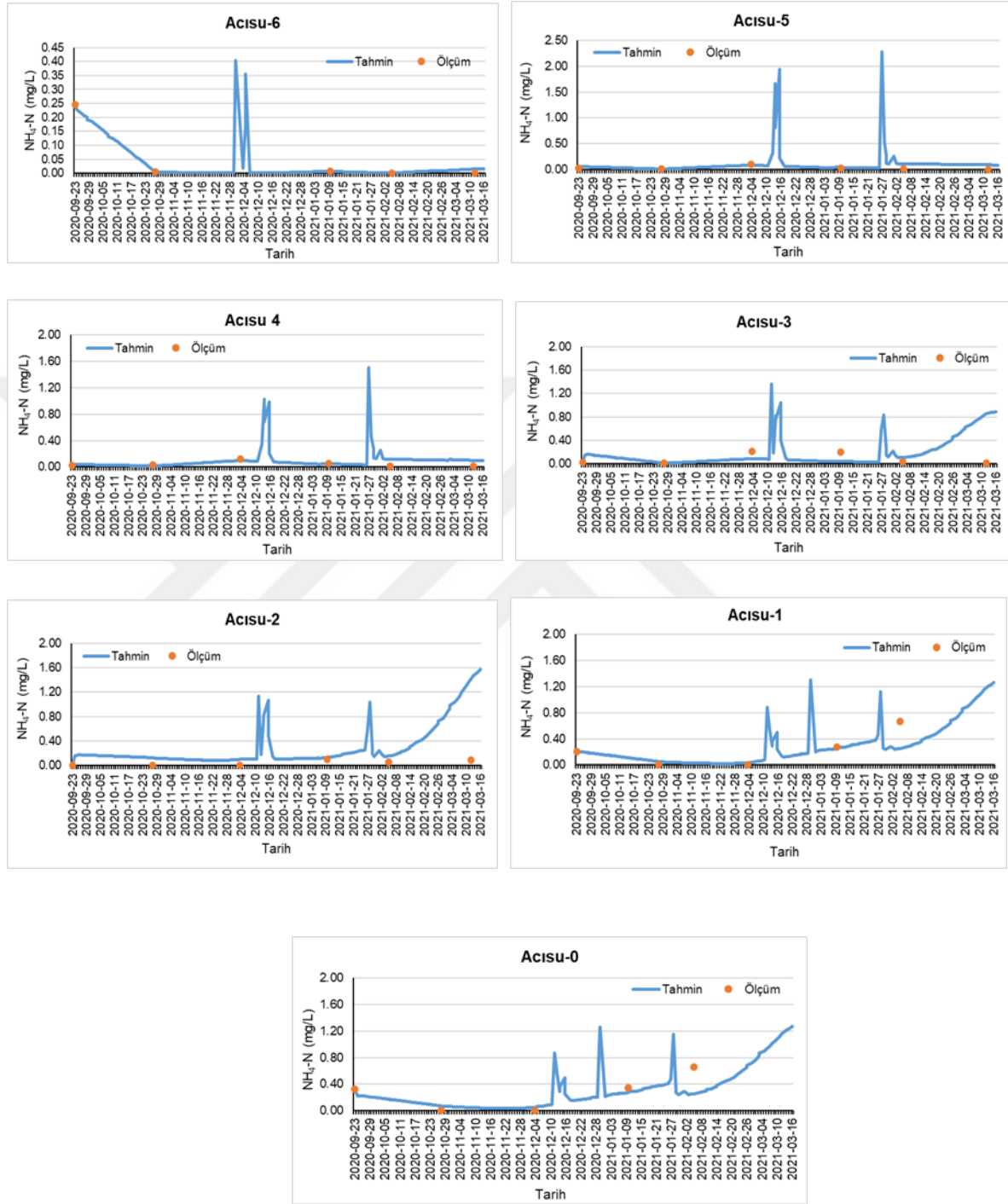
Genel anlamda yıl boyu takibi yapılan suyun BOI_5 değeri 2 mg/L BOI_5 ile 8 mg/L BOI_5 arasında olduğu gözlemlenmiştir. İlk ölçümler mevsim dolayısıyla yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacını göstermiştir. Deredeki BOI_5 ölçümleri oldukça değişkenlik göstermekle birlikte grafiklerdeki ölçüm ve tahminler uyumludur. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı birçok dış etkenden etkilenebilen hassas bir parametredir. Dereye giren yan kollardan gelen akışlar, yayılı ve noktasal kirlilik girdileri özellikle derenin biyokimyasal oksijen ihtiyacını değiştiren faktörler arasında yer almaktadır.



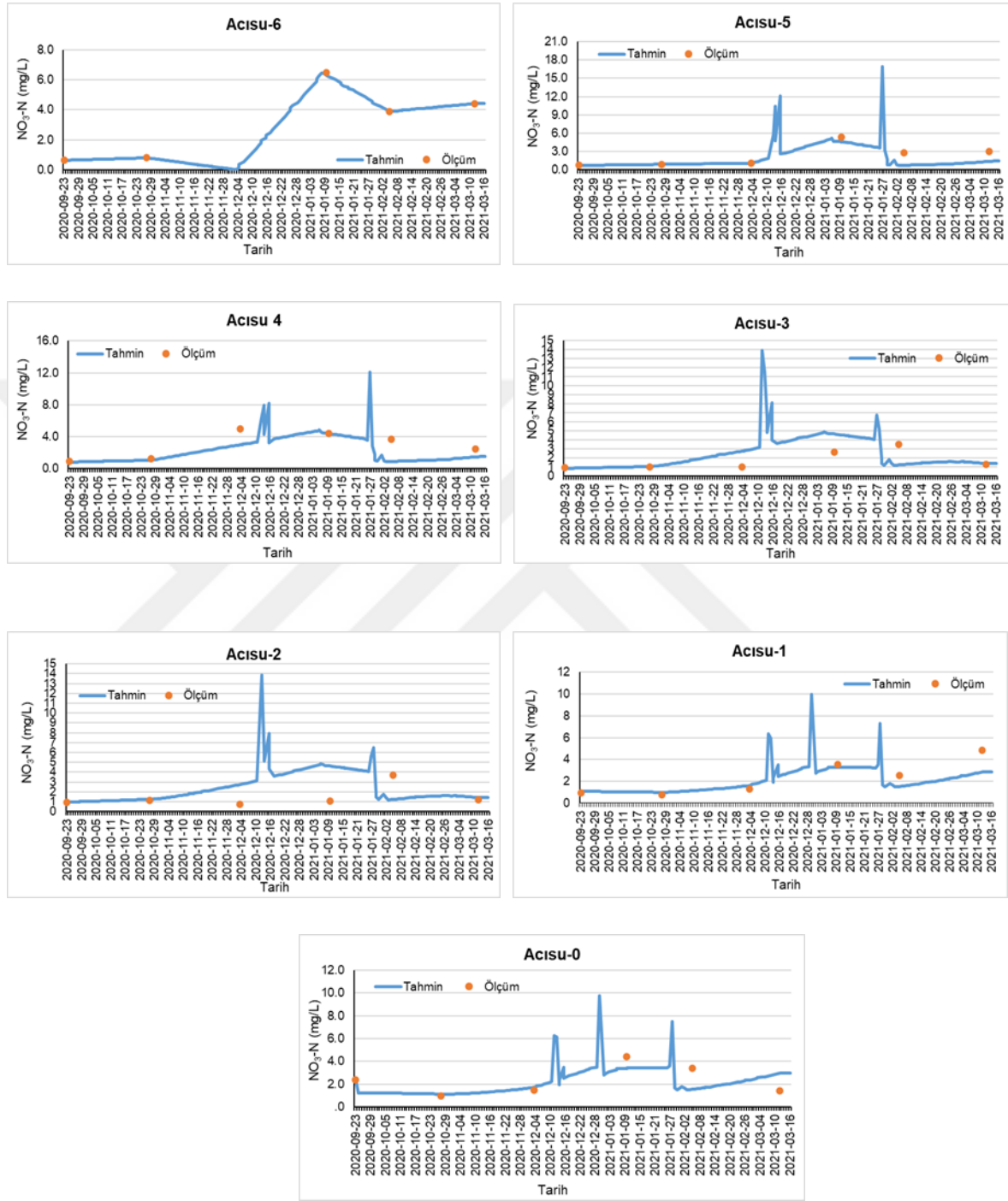
Şekil 4.3. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) tahminleri ve ölçümler



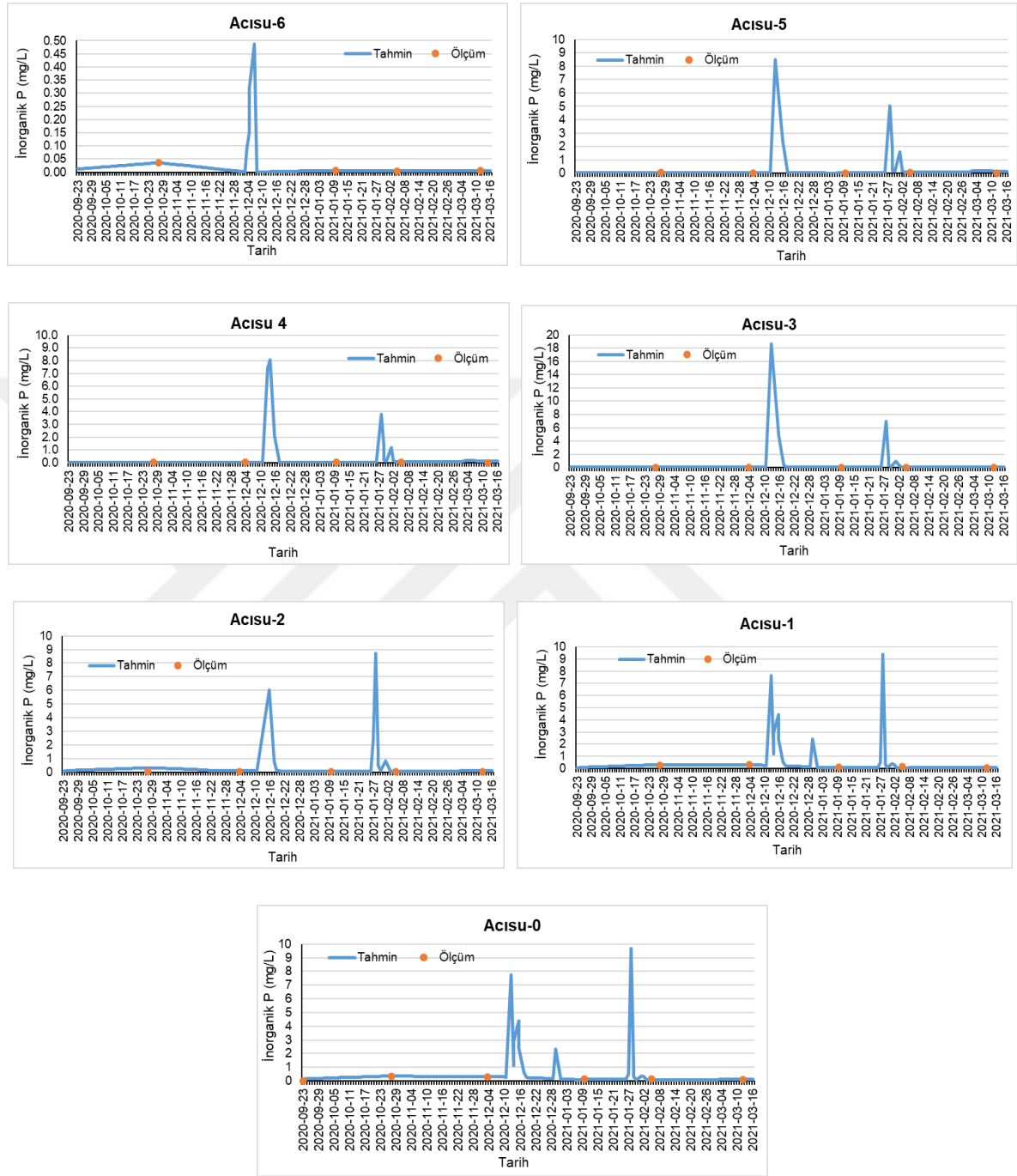
Şekil 4.4. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen çözünmüş oksijen (ÇO) tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.5. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen amonyak azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) tahminleri ve ölçümler



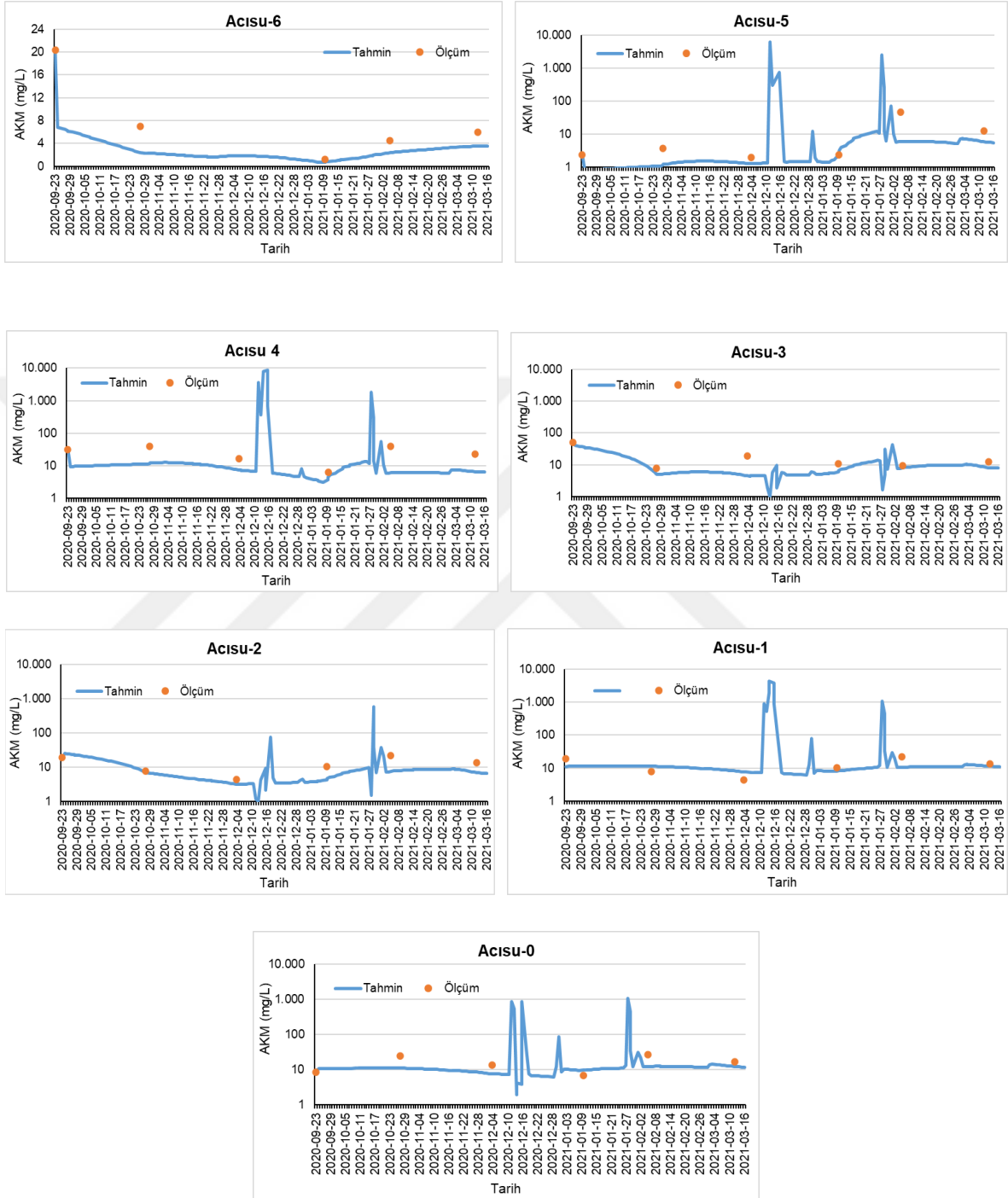
Şekil 4.6. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.7. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen inorganik fosfor (İnorg. P) tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.8. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen klorofil-a tahminleri ve ölçümler

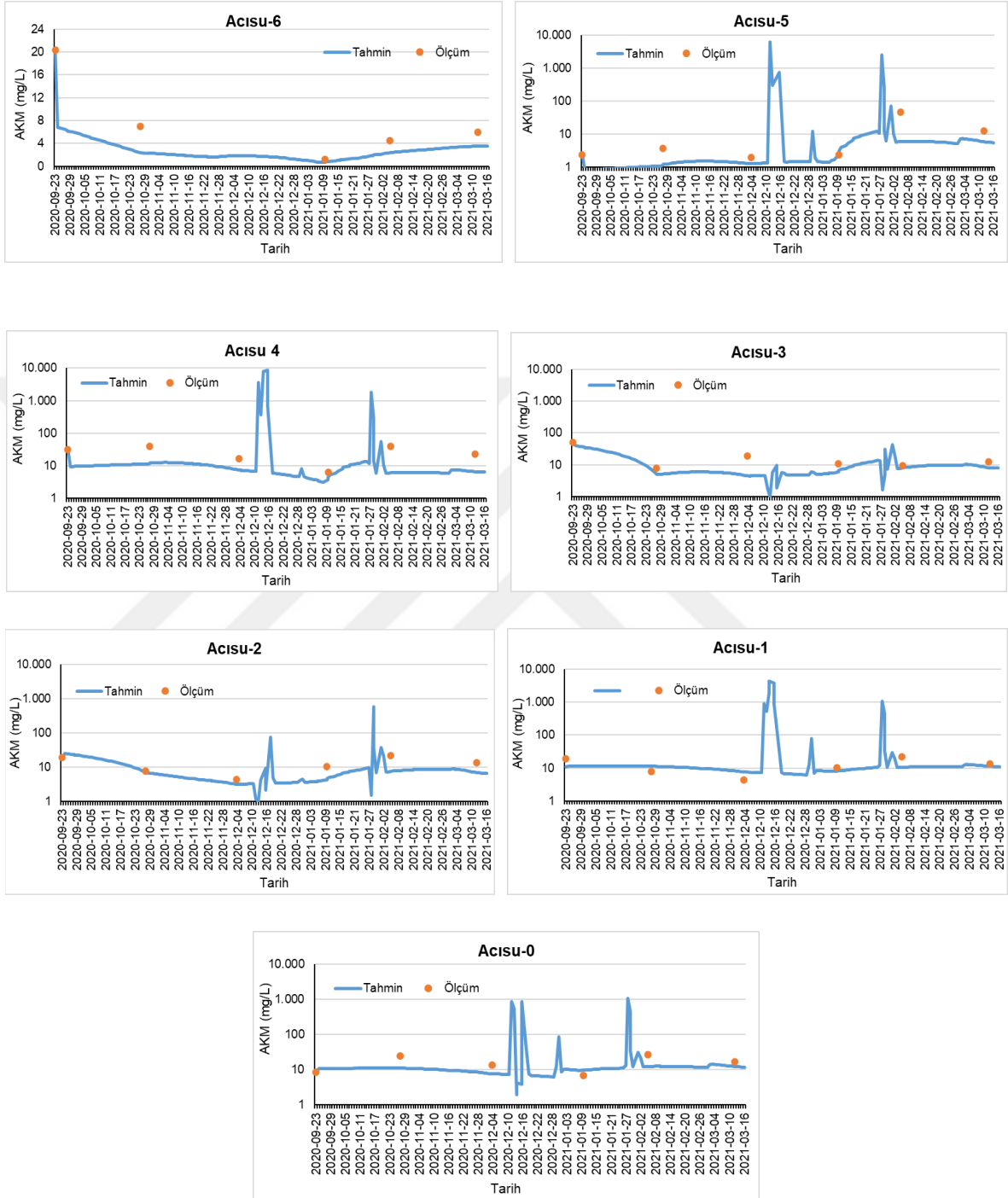


Şekil 4.9. Model kalibrasyonu döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen askıda katı madde (AKM) tahminleri ve ölçümleri

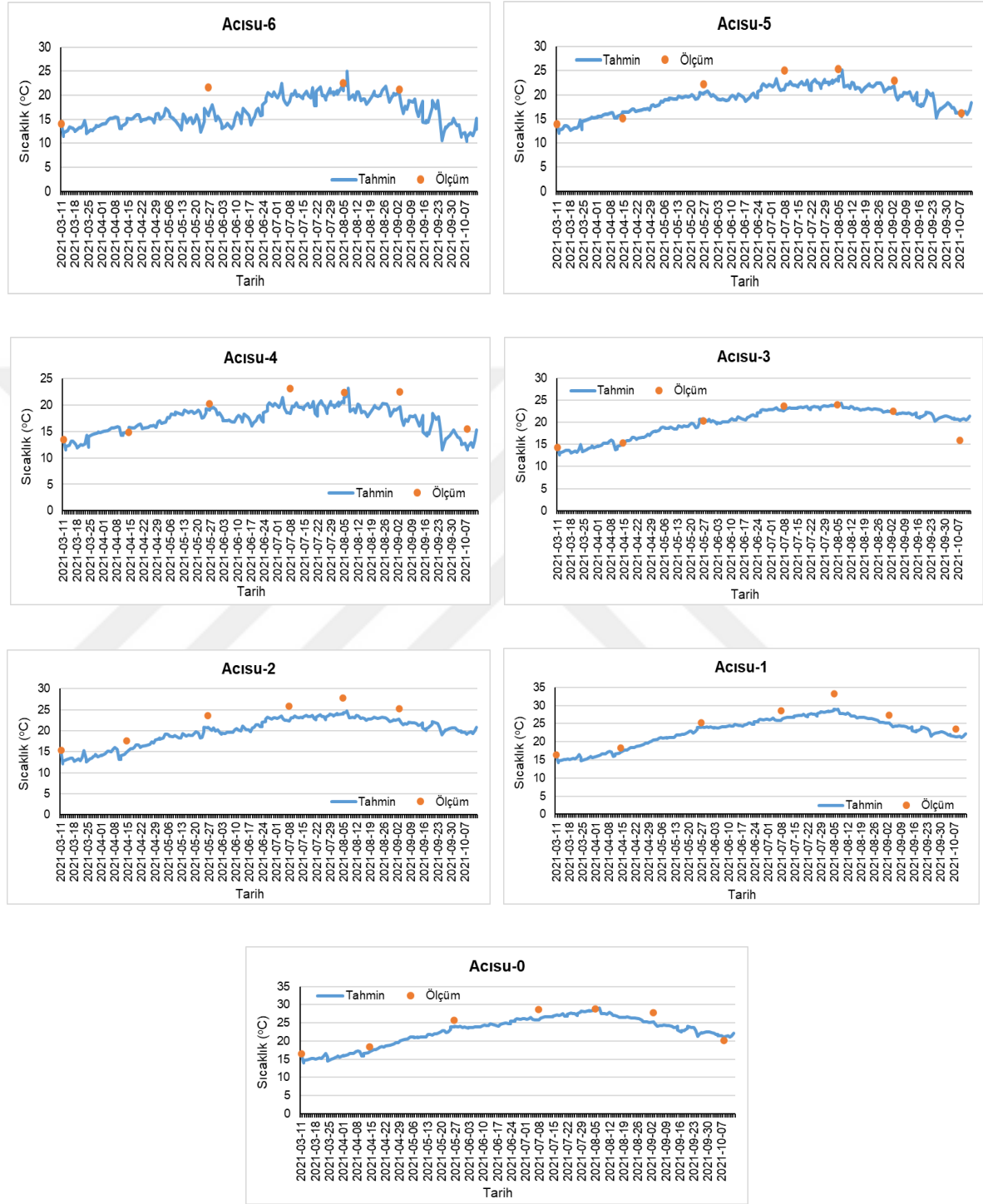
Model kalibrasyon döneminde Acısu Deresi için elde edilen model tahminleri izleme programı çerçevesindeki ölçüm ve analiz değerleri ile uyumludur. Acısu Deresi'nin üst havzadaki tarımsal alanlarından gelen kanal bağlantıları ve yayılı yükler Acısu-5 noktasında etkili olmuştur. Dereye mevcut koşullarda 3 adet atıksu arıtma tesisi deşarjı gerçekleşmektedir. Corona virüs pandemisi nedeni ile DSİ 13. Bölge ekipleri sınırlı sayıda aylık debi ölçümü gerçekleştirmiştir. Bu sebeple Acısu Deresi'ndeki akım ölçümleri başlangıç, orta ve bitiş izleme noktaları ile iki yankol bağlantısı için elde edilmiştir. MapShed modeli ile WASP8 modeli entegre edildikten sonra havzadan gelen TSS, TN ve TP yükleri ve yüzeysel akış verilerinin etkisi de açık şekilde gözlemlenmiştir. Kalibrasyon dönemi için WASP modeli uygulanması ile elde edilen model tahminleri ile ölçüm/analiz sonuçları karşılaştırıldığında, RMSE hatalarının oldukça düşük, determinasyon katsayısı R^2 değerlerinin de oldukça yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

4.3. Model Doğrulaması

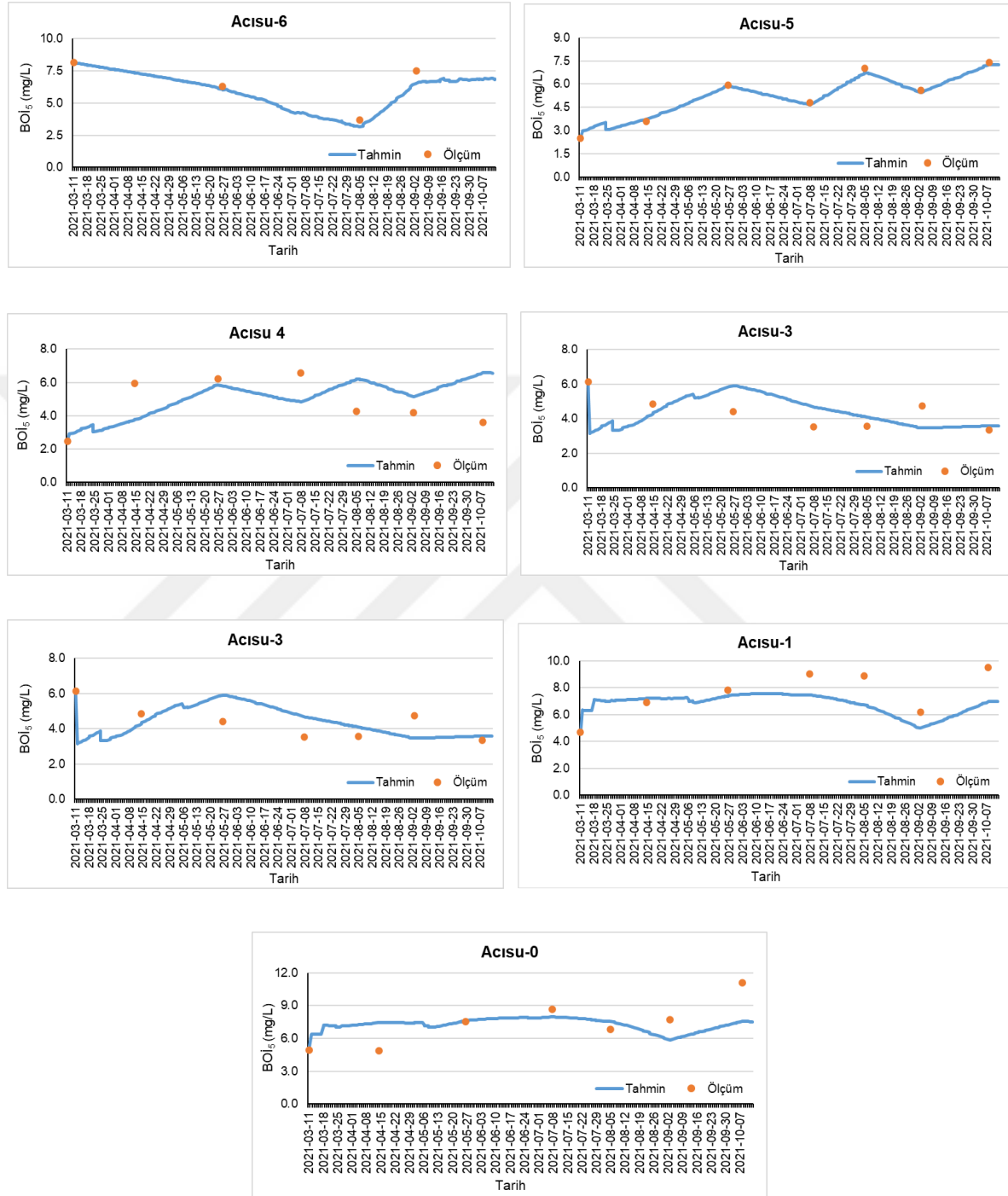
Acısu Deresi için Mart 2021-Ekim 2021 dönemine ait su kalitesi izleme sonuçları kullanılarak WASP8 modeli için model doğrulaması yapılmıştır. Doğrulama çalışması için Acısu Deresi'nde akım ve su kalite parametreleri (sıcaklık, beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5), çözünmüş oksijen ($ÇO$), amonyum azotu (NH_4-N), nitrat azotu (NO_3-N), inorganik fosfor (P), klorofil-a, askıda katı madde (AKM) için modelden elde edilen tahminler tüm izleme noktaları için Şekiller 4.11-4.19'da sunulmuştur. Su kalite parametreleri için ölçümler ve tahminlerin karşılaştırılması tüm su kalite izleme noktalarındaki izleme verileri ile yapılmış ve tahminlere yönelik hata analizi sonuçları Çizelge 4.4'te sunulmaktadır.



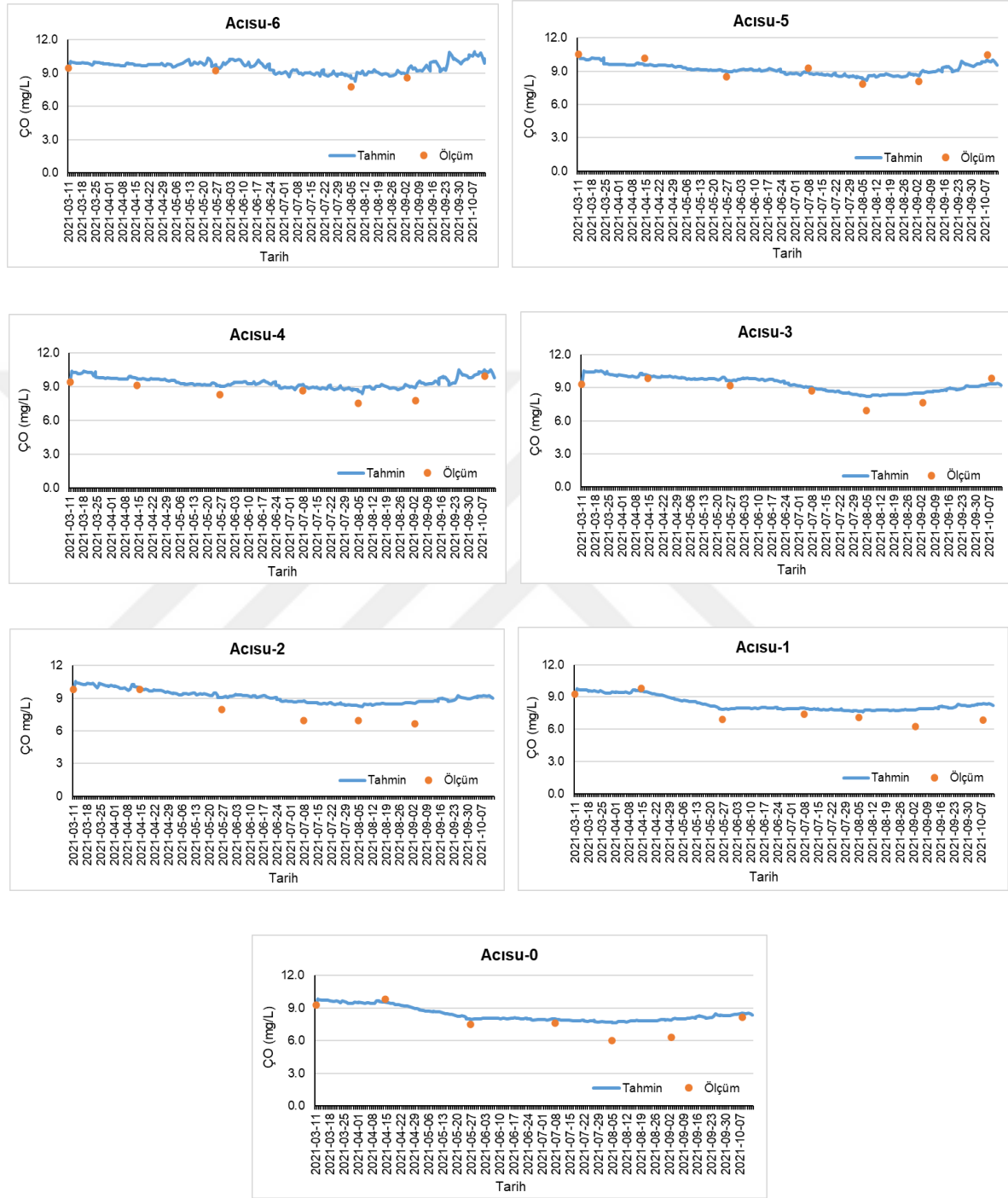
Şekil 4.10. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen akım tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.11. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için mambadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen sıcaklık tahminleri ve ölçümler



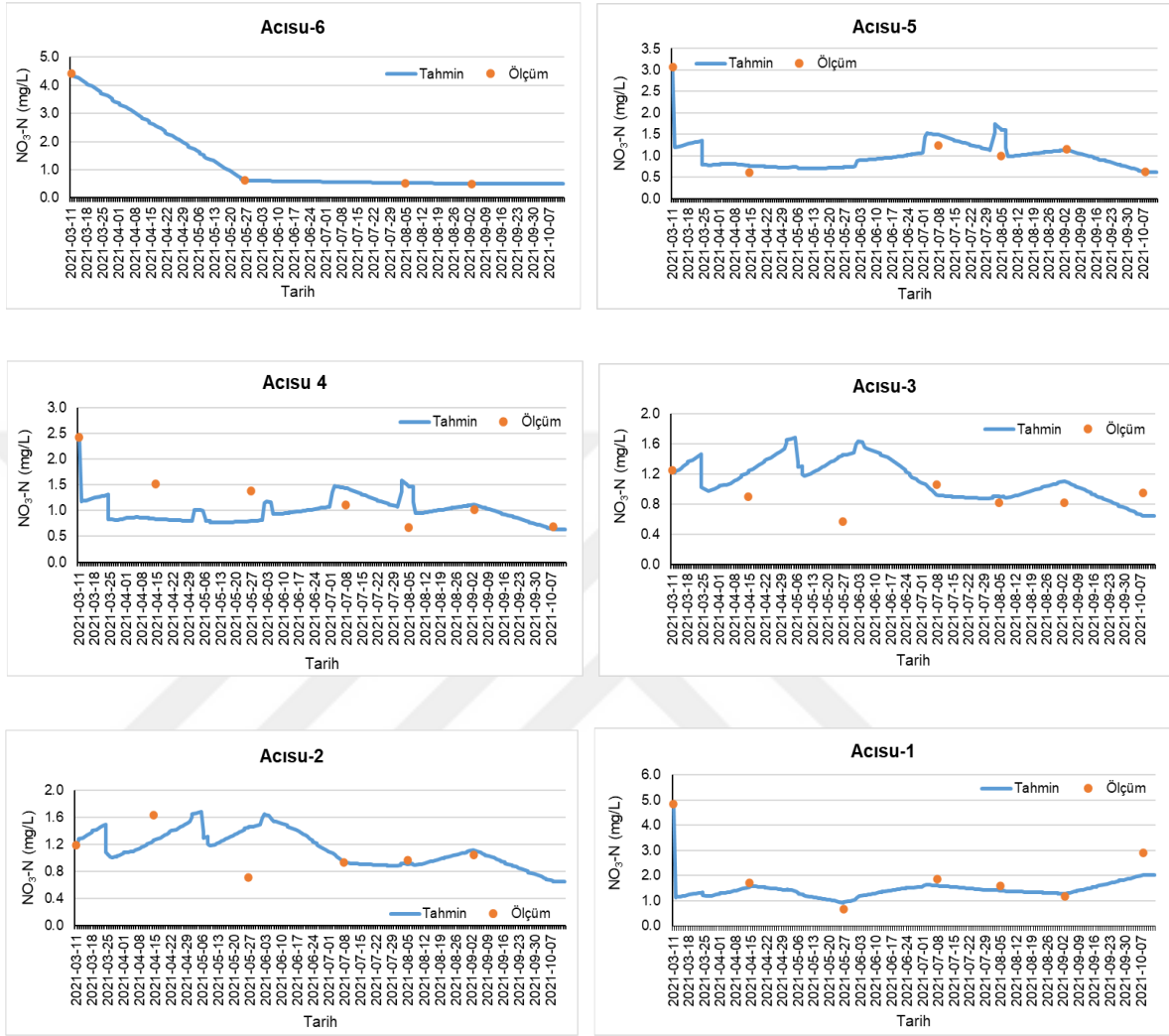
Şekil 4.12. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) tahminleri ve ölçümler



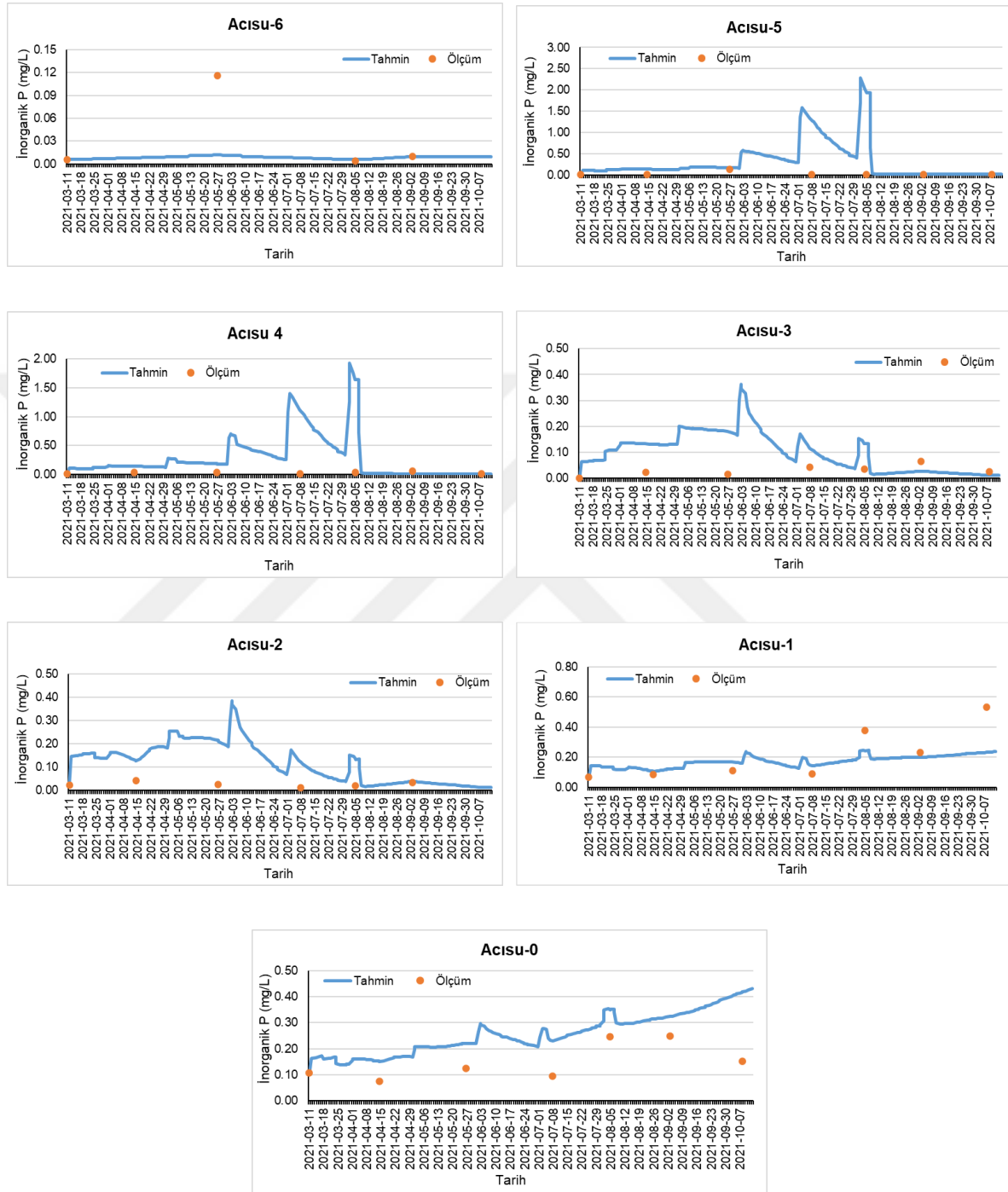
Şekil 4.13. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membada (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen çözünmüş oksijen (ÇO) tahminleri ve ölçümler



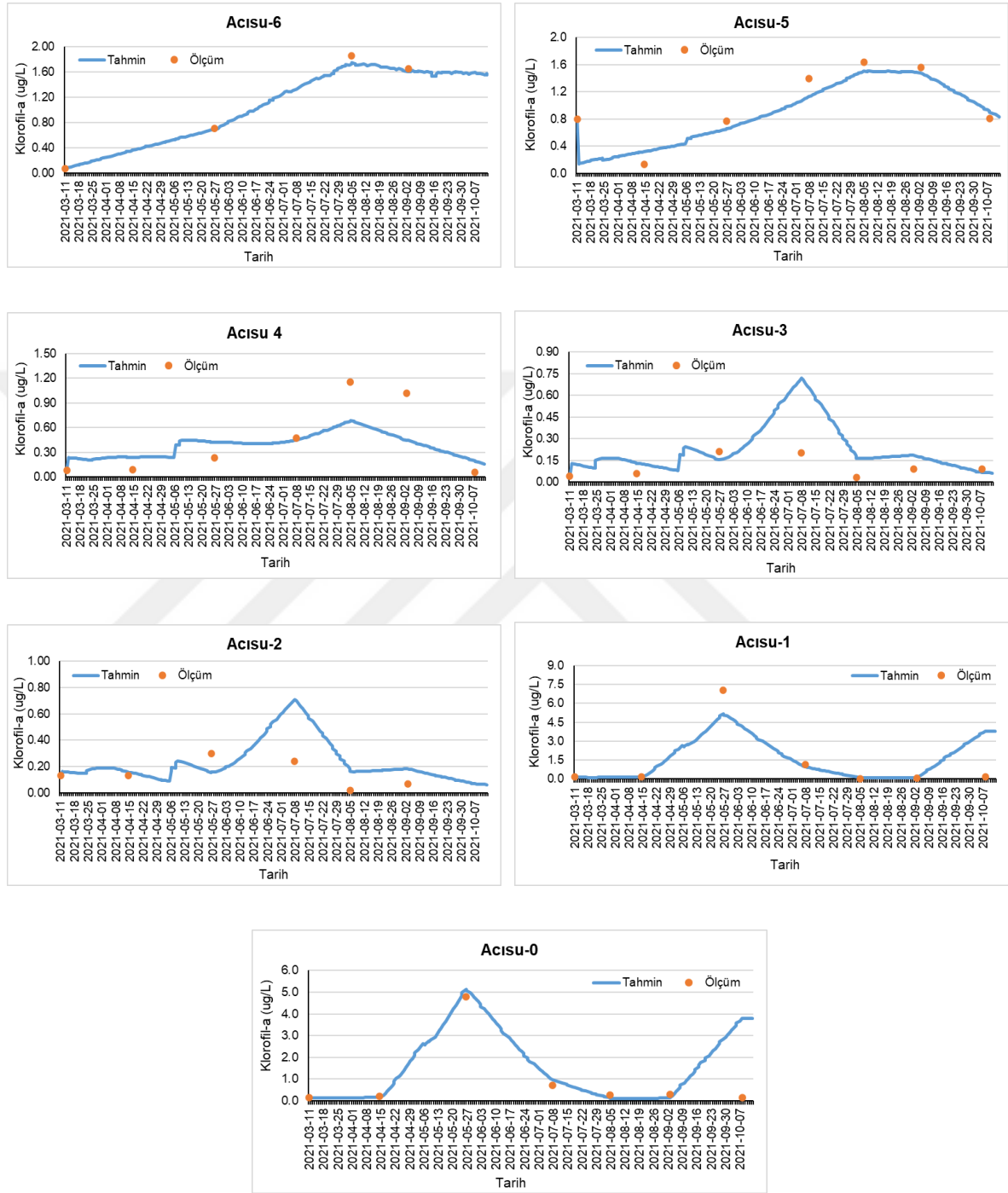
Şekil 4.14. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen amonyak azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) tahminleri ve ölçümler



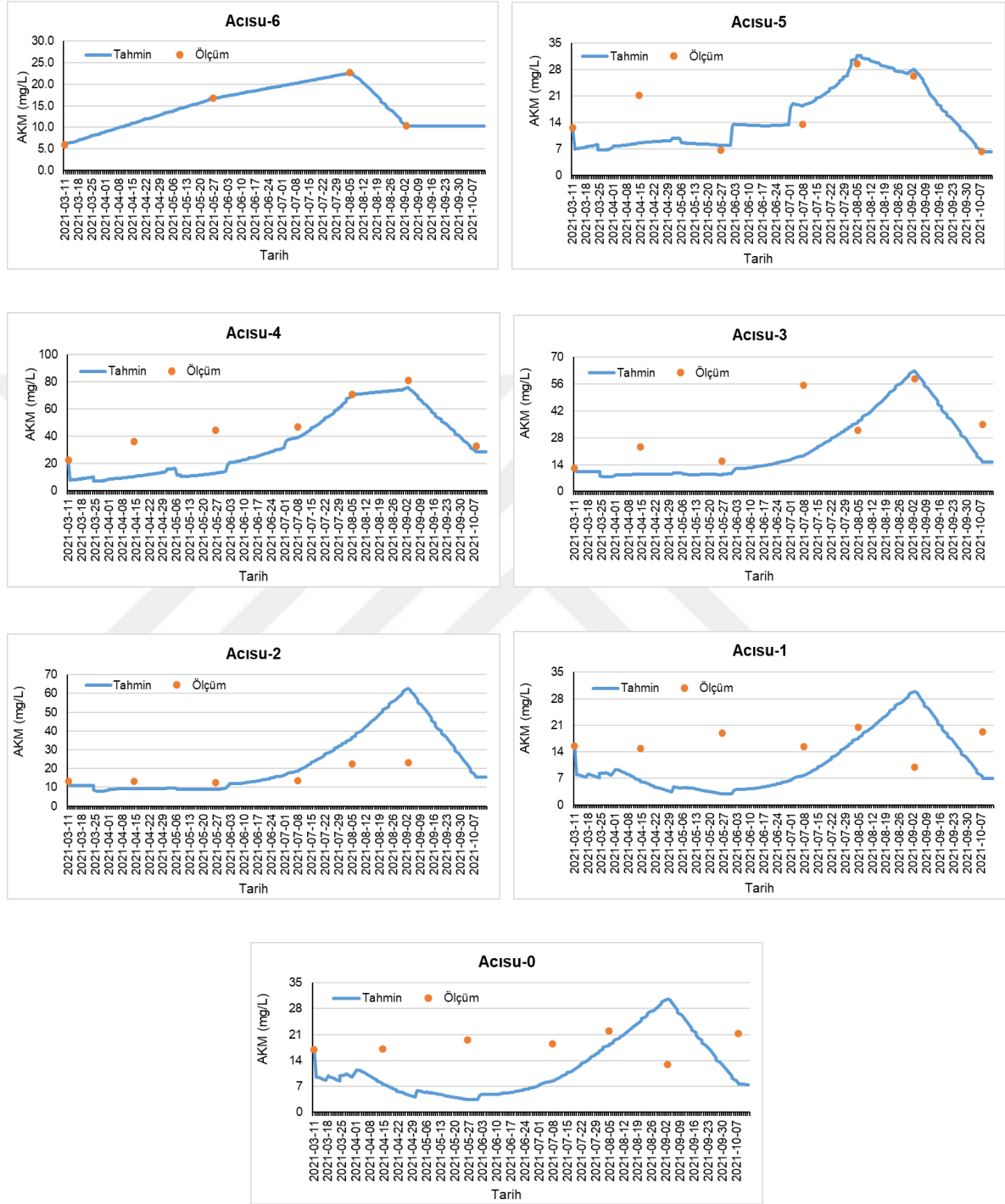
Şekil 4.15. Model doğrulaması döneminde Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.16. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen inorganik fosfor (İnorg. P) tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.17. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen klorofil-a tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.18. Acısu Deresi için membadan (Acısu-6) mansaba doğru (Acısu-0) izleme noktaları için WASP8 modelinden elde edilen askıda katı madde (AKM) tahminleri ve ölçümler

Akım ölçümleri Acısu-1, Acısu-3 ve Acısu-6 numaralı izleme noktalarında gerçekleştirildiğinden, akım tahminleri belirtilen izleme noktaları için karşılaştırılabilmektedir. Model doğrulama dönemi uygulamasında da akım dengesi gözetilerek havzadan gelen kanal bağlantılarının etkileri dahil edilmiştir. Bu dönemde memba noktası olan Acısu-6'da akım değerleri oldukça azdır ve Mayıs-Ekim 2021 döneminde sıfıra yaklaşmıştır. Acısu-5 noktasından Acısu-0 noktasına doğru akış yönünde ilerledikçe yüzeysel akışlar da etkili olmaktadır. Doğrulama döneminde Mart ve Mayıs 2021 aylarındaki dönemsel yağış ve artan yüzeysel akışa bağlı olarak ani debi artışları gerçekleşmiştir. Ancak simülasyon dönemi içerisinde şiddetli bir yağış ve sel olayı yaşanmamıştır.

Çizelge 4.4. WASP8 modelinin Acısu Deresi için doğrulama uygulamasına ait model tahmin hataları

İzleme noktası	Hata analizi	Sıcaklık (°C)	BOİ ₅ (mg/L)	ÇO (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Inorg-P (mg/L)	Klorofil-a (µg/L)	AKM (mg/L)
Acısu-6	RMSE R ²	2,84 0,985	0,73 0,993	0,47 0,999	<0,01 0,997	0,01 1	0,05 0,559	0,06 0,999	0,23 0,999
Acısu-5	RMSE R ²	1,45 0,996	0,31 0,999	0,45 0,998	0,07 0,534	0,38 0,946	0,88 0,035	0,14 0,988	5,25 0,923
Acısu-4	RMSE R ²	1,65 0,994	1,65 0,892	0,62 0,998	0,06 0,522	0,47 0,884	0,75 0,261	0,30 0,834	15,83 0,916
Acısu-3	RMSE R ²	2,36 0,9925	0,84 0,9665	0,55 0,9981	0,04 0,4191	0,39 0,8843	0,09 0,4426	0,20 0,6866	16,88 0,8034
Acısu-2	RMSE R ²	1,33 0,999	1,10 0,977	1,08 0,992	0,08 0,292	0,34 0,914	0,11 0,639	0,20 0,631	17,32 0,832
Acısu-1	RMSE R ²	1,46 0,999	1,59 0,983	0,67 0,995	0,40 0,972	0,37 0,981	0,13 0,841	1,54 0,676	11,48 0,553
Acısu-0	RMSE R ²	1,36 0,997	1,87 0,944	0,72 0,993	0,37 0,674	0,36 0,955	0,13 0,908	1,36 0,683	11,56 0,616

Sıcaklık tahminleri ve ölçümleri açısından oldukça yakın benzerlik elde edilmiştir. Doğrulama dönemi içinde ilkbahar-yaz-sonbahar mevsimlerine özgü olağan sıcaklık artış ve düşüşleri gözlenmektedir. BOİ₅ konsantrasyonları doğrulama dönemi süresince özellikle

Acısu Deresi'nin denize bağlandığı mansap bölgesinde yankol bağlantılarından gelen kirlilik yüklerine bağlı olarak artış göstermektedir ve bu durum model tahminlerine de yansımıştır. ÇO tahminleri ise su sıcaklığı ve kirleticilerin etkisi ile nispeten sınırlı bir aralıkta değişim göstermektedir. NH₄-N, NO₃-N ve inorganik-P tahminleri doğrulama dönemi içinde özellikle noktasal deşarjlar ve bölgedeki kanal bağlantılarından gelen drenaj sularının etkisinde kalmaktadır. Bu dönemde oldukça az görülen yağış ve yüzeysel akışlar nedeniyle deredeki akım değerleri ile birlikte seyrelme kapasitesi de azalmıştır. AKM konsantrasyonları yankol bağlantılarının olduğu orta kesimde ve düşük akım koşullarında artış göstermektedir. WASP8 modelinin doğrulama dönemi için Acısu Deresi'ne uygulanması ile elde edilen model tahminleri izleme programı çerçevesinde elde edilen ölçüm verileri ile genel anlamda uyumludur. Doğrulama döneminde WASP modeli uygulaması için ölçüm ve tahmin verilerinin karşılaştırılması için hesaplanan RMSE hataları oldukça düşük, determinasyon katsayısı R² değerleri de oldukça yüksektir.

Modelleme çalışmasının son aşamasında kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları tamamlanan WASP8 modeli ve MapShed modelinin entegre bir şekilde kullanılması ile Acısu Deresi için senaryo analizleri yapılmış ve su durumunun iyileştirilmesine yönelik öneriler verilmesi için sonuçlar elde edilmiştir.

4.5. Yönetim Senaryoları

Acısu Deresi'nde su kalite ve miktar durumunu incelemek amacıyla WASP8 su kalite modelinden yararlanılmıştır. WASP8 modeli uygulaması için uygun yönetim senaryoları oluşturularak çalışma alanının gelecek durumunu önceden tahmin edebilme imkânı sağlanmaktadır. Modelleme çalışması ile farklı senaryolara ait sonuçlar değerlendirilip, yetkililerin çalışma alanındaki su yönetimi için hızlı ve doğru karar almalarına katkı sağlanmaktadır.

Acısu Deresi için mevcut duruma ait model tahminleri elde edildikten sonra su kalitesinde olabilecek değişiklikleri analiz etmek için farklı senaryo koşulları tanımlanmıştır. Senaryolar için noktasal ve yayılı kirlilik yükleri dikkate alınmış ve kirlilik yüklerinin belirli oranlarda artma ve azalma durumları incelenmiştir. Senaryolara ait detaylar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

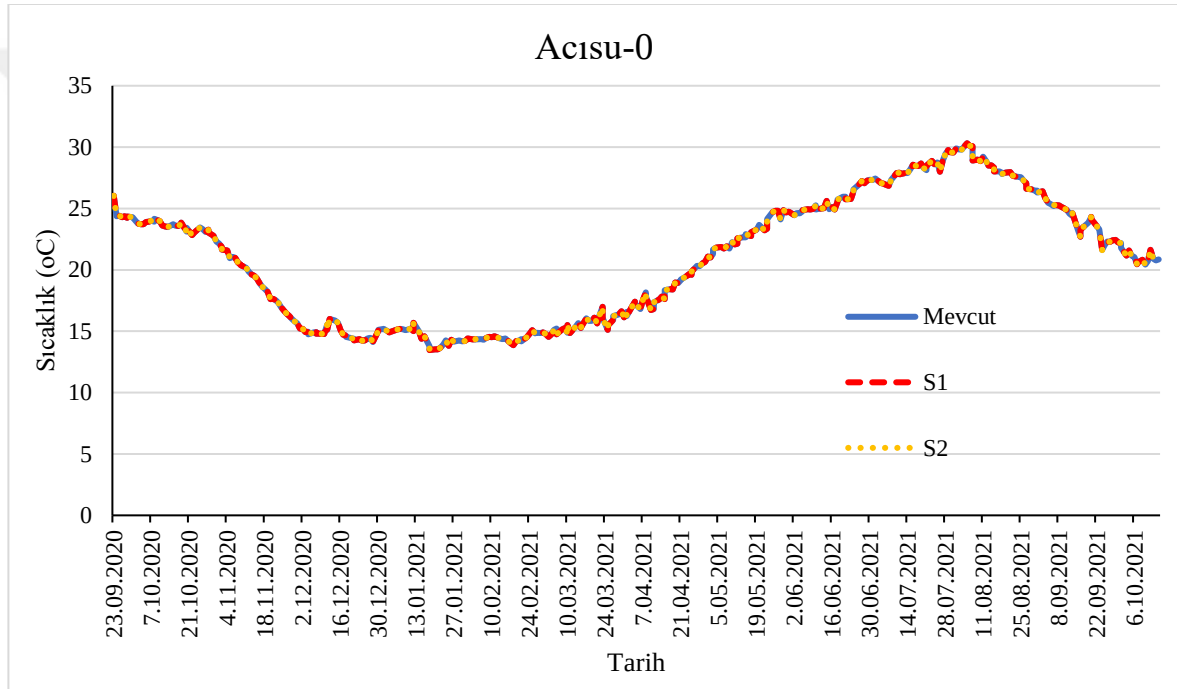
Çizelge 4.5. Acısu Deresi için oluşturulan senaryolar

Senaryo	Kirlilik Kaynağı	Değişen Parametreler	Değişen Miktar
Senaryo-1 (S1)	Noktasal kirlilik yükleri (Boğazkent AAT, Belek-2 AAT)	Azot ve fosfor formları, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, AKM	%25 artma
Senaryo-2 (S2)	Noktasal kirlilik yükleri (Boğazkent AAT, Belek-2 AAT)	Azot ve fosfor formları, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, AKM	%25 azalma
Senaryo-3 (S3)	Yayılı kirlilik yükleri	Azot ve fosfor formları, AKM	%25 artma
Senaryo-4 (S4)	Yayılı kirlilik yükleri	Azot ve fosfor formları, AKM	%25 azalma

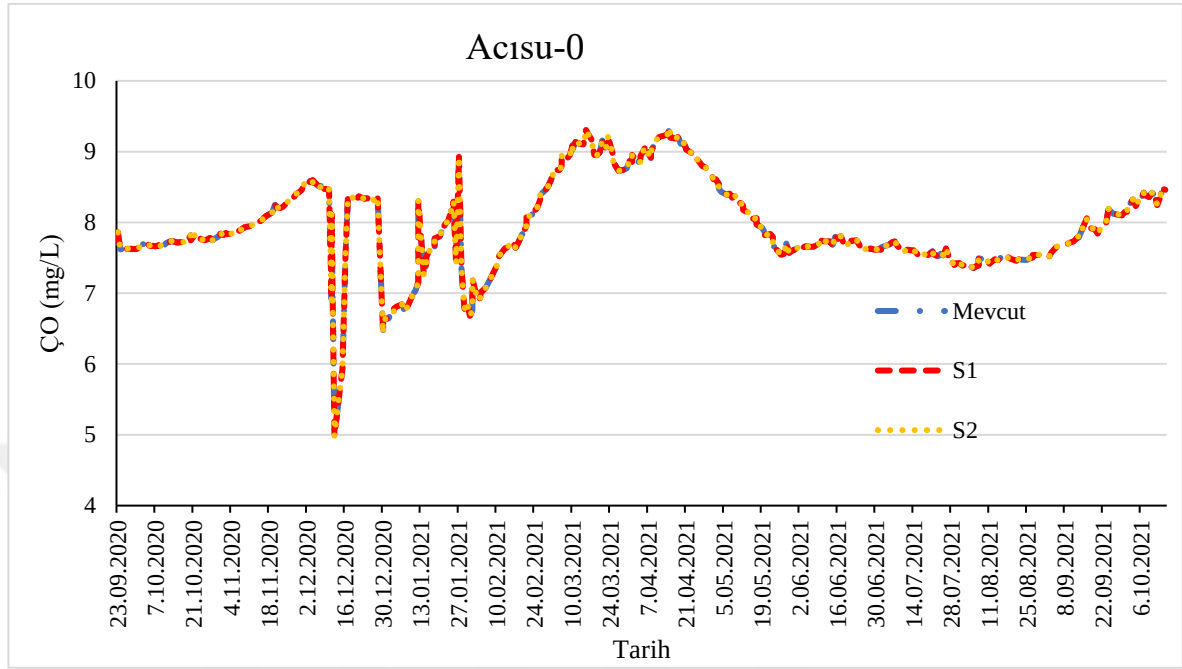
Senaryo uygulamasına ait sonuçlar Acısu Deresi'nin mansap noktası olan Acısu-0 noktası için NO₃-N, TN, İnorganik P, TP, BOİ₅ ve AKM parametreleri için sunulmaktadır.

4.6. Acısu-0 noktası için Senaryo-1 ve Senaryo-2 sonuçları

Acısu-0 istasyonunda noktasal kirlilik yüklerinin %25 arttırılması (Senaryo1) ve %25 azaltılması (Senaryo2) ile Acısu Deresi'nin mevcut durumuna göre gerçekleşecek değişiklikler için karşılaştırma yapılmıştır. Sıcaklık ve çözünmüş oksijen parametresi için mevcut durum ve senaryo sonuçları arasında belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekiller 5.1 ve 5.2).

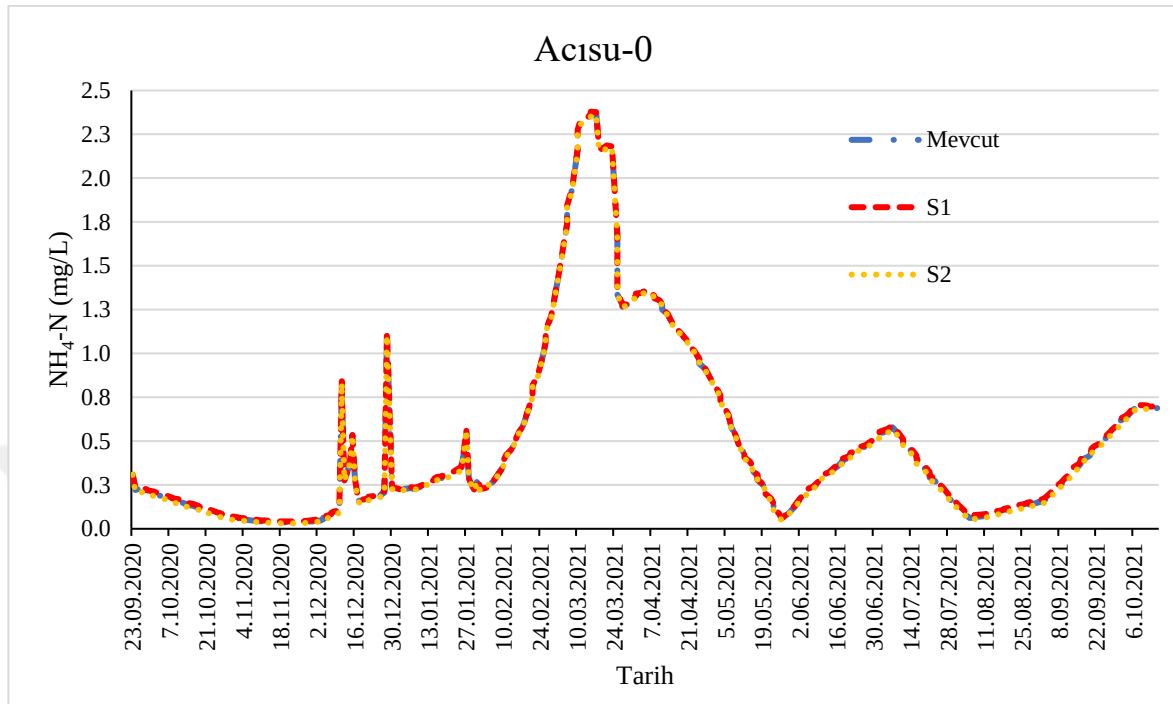


Şekil 4.19. Acısu-0 izleme noktasında sıcaklık parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları



Şekil 4.20. Acısu-0 izleme noktasında Çözünmüş Oksijen (ÇO) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

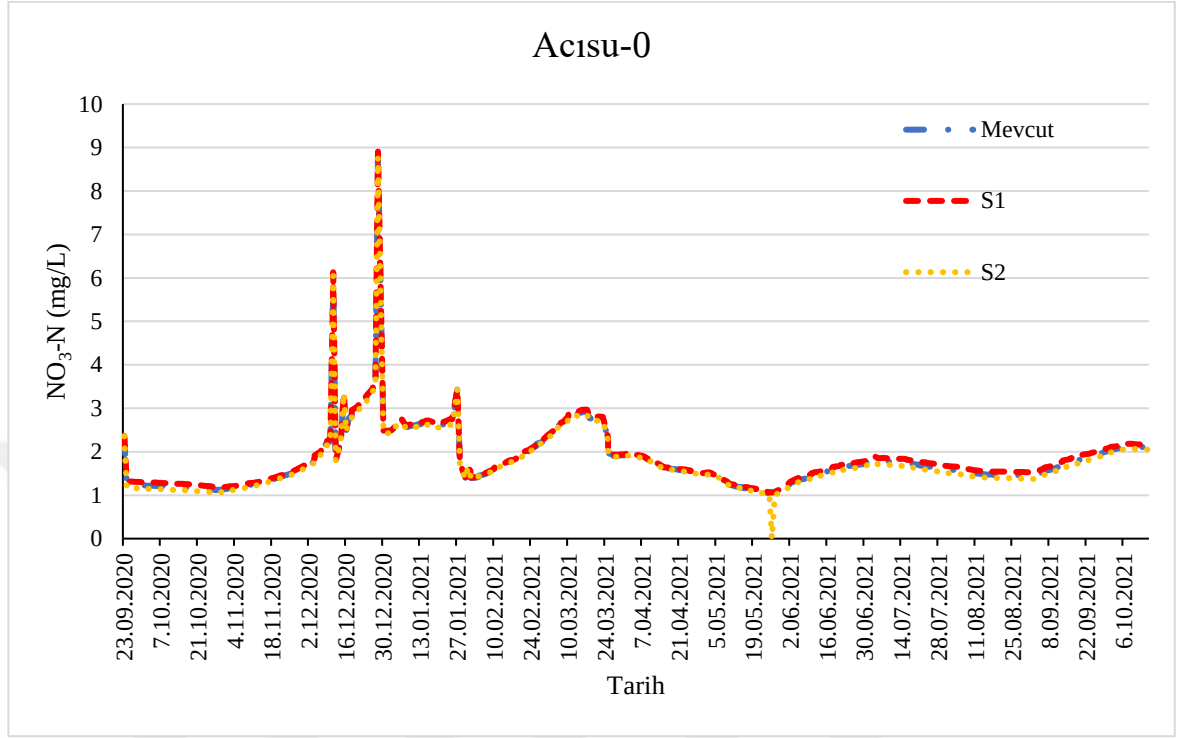
Amonyak azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) için Acısu-0 noktasına ait senaryo sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.3), Mart 2021 ayında en yüksek değer gözlenmiştir. Belirtilen bu en yüksek değer Senaryo-1, Senaryo-2 ve mevcut durum için aynı şekilde tahmin edilmiştir (yaklaşık 2,4 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$). Amonyak azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) için en düşük değerler Ekim 2021, Haziran 2021 ve Ağustos 2021 aylarında gözlenmiştir ve bu dönemlerdeki amonyak azotu konsantrasyonları oldukça düşüktür.



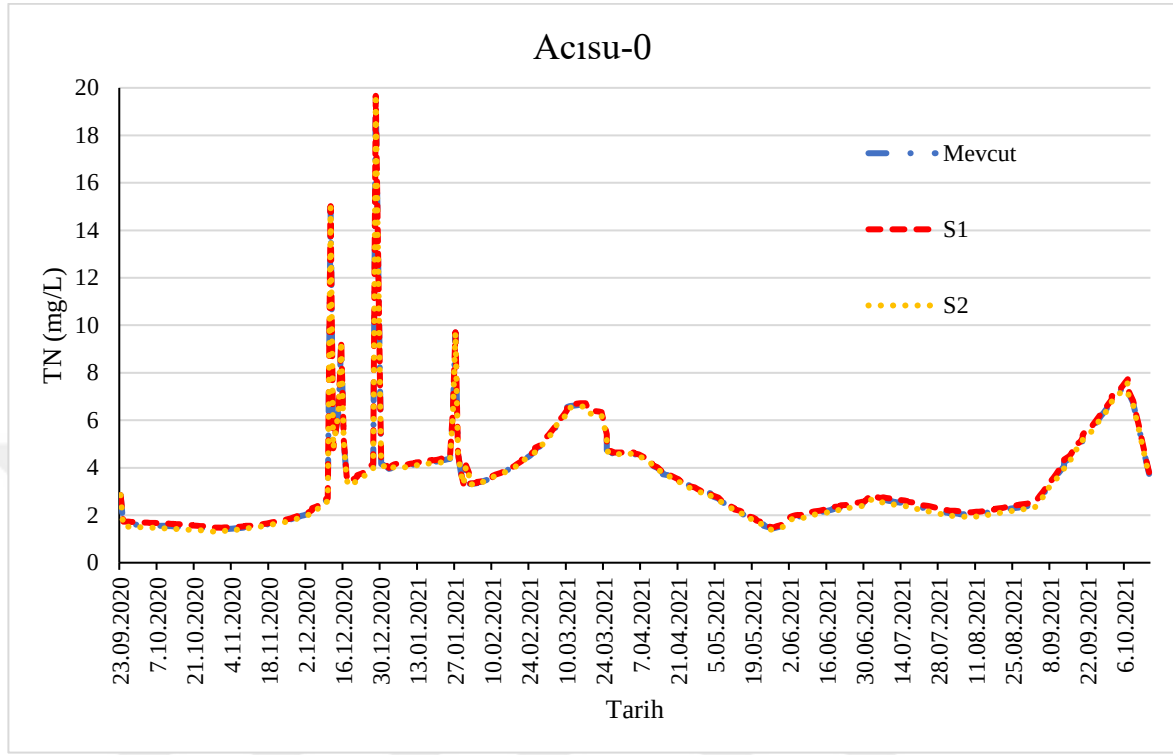
Şekil 4.21. Acısu-0 izleme noktasında Amonyak Azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) için Acısu-0 noktasına ait senaryo sonuçları incelendiğinde, Aralık 2020 ve Ocak 2021 aylarında pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.4). Bu pik değerler, Antalya/Akdeniz bölgesinin iklim koşullarından kaynaklanmaktadır. Aralık 2020 ve Ocak 2021 tarihlerinde aşırı yağışlardan dolayı Acısu Deresi'ne havza alanından yüksek miktarda yayılı kirlilik gelmiştir. Pik değerlerin olduğu tarihler ve sonrasındaki günlere bakıldığında nitrat azotu değerlerinin Senaryo-1, Senaryo-2 ve mevcut durum için aynı olduğu görülmüştür. Bu durum noktasal kirlilik yüklerindeki %25'lik artış ve azalmanın alıcı ortam kalitesinde çok az etki oluşturduğu görülmüştür. Acısu Deresi'nde en düşük nitrat azotu değerleri Eylül ve Ekim 2021 ve Haziran 2021 aylarında gözlemlenmiştir.

Acısu-0 noktasında toplam azot (TN) parametresi için nitrat azotuna benzer şekilde kış aylarında pik değerler oluşmuştur (Şekil 5.5). Pik değerler, havzada o tarihlerde gerçekleşen aşırı yağışların sonucudur. Toplam azot için en düşük değer yaklaşık 1,5 mg/L ve en yüksek değer yaklaşık 19,7 mg/L'dir.

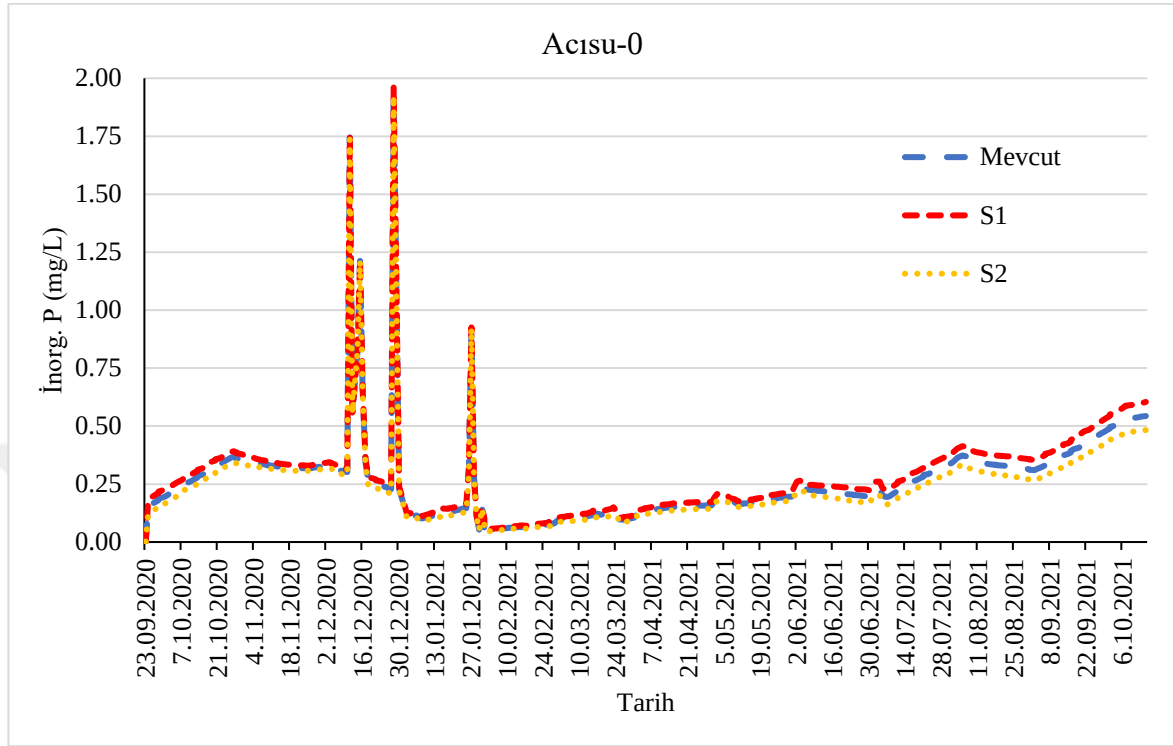


Şekil 4.22. Acısu-0 izleme noktasında Nitrat Azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları



Şekil 4.23. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

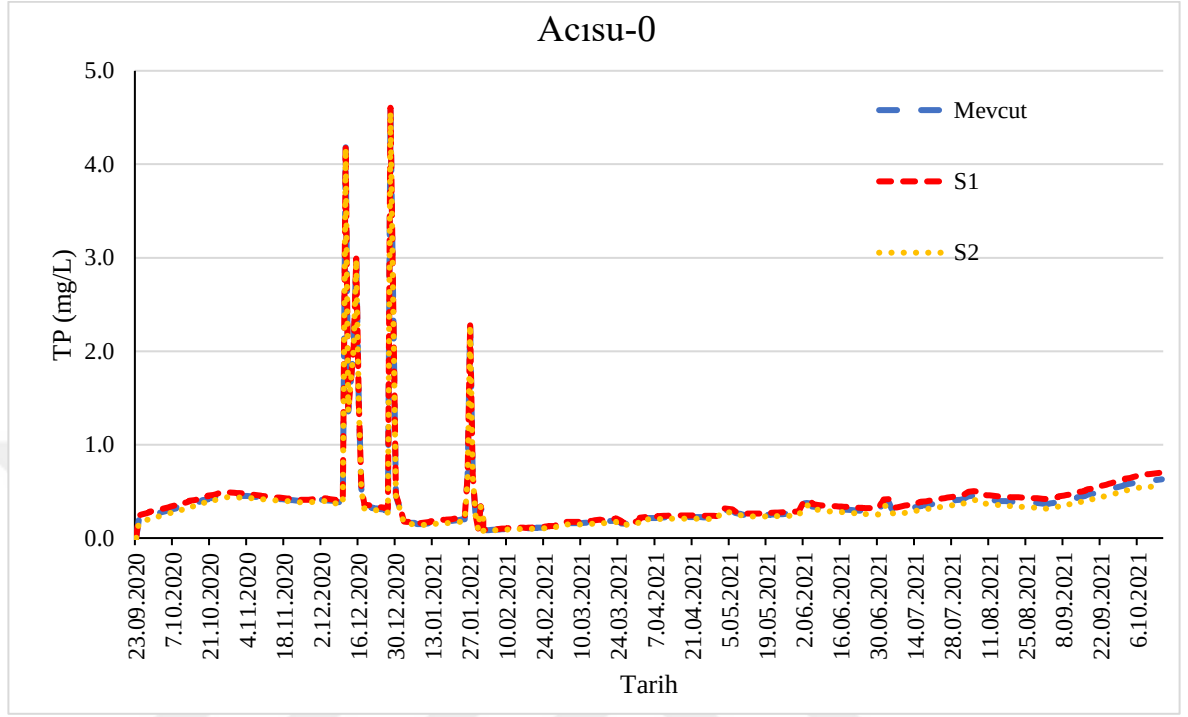
İnorganik fosfor parametresi için yağış olan tarihlerde (kış ayları için) kirlilik artışı ile birlikte Acısu-0 için pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.6). Yaz aylarına doğru inorganik fosfor miktarının değiştiği, Senaryo-1 için en yüksek, Senaryo-2 için en düşük değerler tahmin edilmiştir.



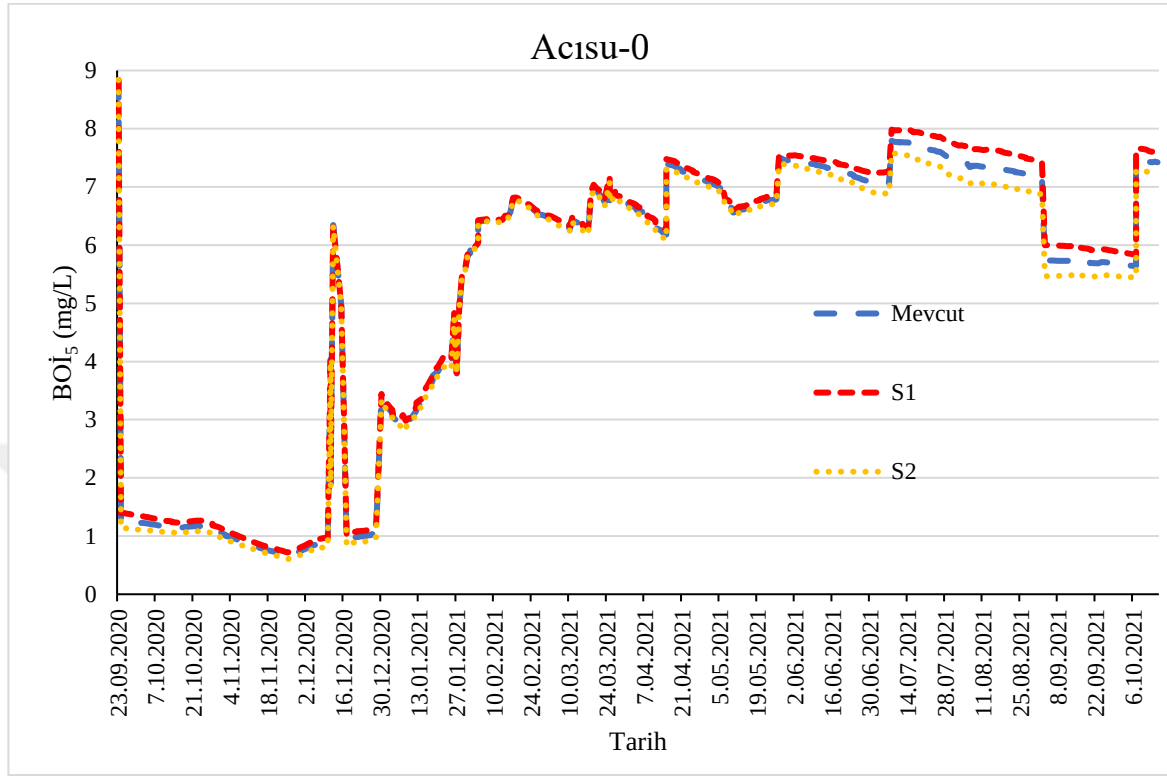
Şekil 4.24. Acısu-0 izleme noktasında İnorganik Fosfor (İnorg. P) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

Acısu-0 noktasında toplam fosfor (TP) parametresi için benzer şekilde kış aylarında pik değerler görülmüştür (Şekil 5.7). Pik değerler, havzada o tarihlerde gerçekleşen aşırı yağışların sonucudur. Toplam fosfor için en düşük değer yaklaşık $<0,1$ mg/L ve en yüksek değer yaklaşık 4,6 mg/L'dir. Haziran 2021 tarihinden sonra senaryo koşulları için farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durum, sonbahar mevsiminde Senaryo-1 için TP değerlerinde artış, Senaryo-2 için TP değerlerinde azalma olarak kaydedilmiştir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) için Acısu-0 noktasına ait senaryo sonuçları incelendiğinde, Senaryo-1 için mevcut durumdan daha yüksek değerler, Senaryo-2 için de mevcut durumdan daha yüksek değerler elde edilmiştir (Şekil 5.8). Genel olarak Ekim-Aralık 2020 döneminde oldukça düşük BOI_5 değerleri tahmin edilmiş iken sonraki aylarda BOI_5 değerleri belirgin düzeyde artış göstermektedir.



Şekil 4.25. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Fosfor (TP) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları



Şekil 4.26. Acısu-0 izleme noktasında Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) parametresi için mevcut durum ve noktasal kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

5.3. Acısu-0 noktası için Senaryo-3 ve Senaryo-4 sonuçları

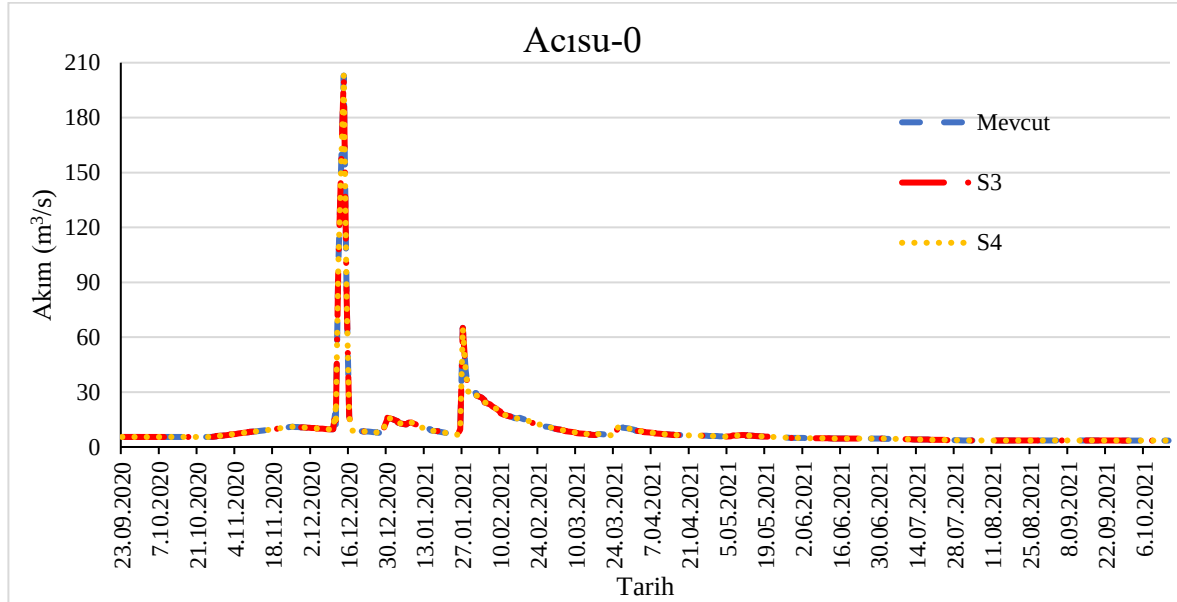
Acısu Deresi havzası arazi kullanım şekli ile oldukça çeşitli faaliyetler barındırır. Havzada yerleşim yerleri, turizm ve tarımsal faaliyetler bulunmaktadır ve bunlar havzaya oldukça dağılmış halde konumlanmıştır. Derenin toplam drenaj alanı 378 km² ve uzunluğu yaklaşık 40 km'dir. Havzanın ortalama sıcaklığı 19,8 °C, yıllık toplam yağış 997 mm ve yıllık buharlaşma toplam 1208 mm'dir. Acısu Deresi kaynağındaki ortalama debi 0,05 m³/s ve denize döküldüğü mansap kısmında ise 6,32 m³/s ölçülmüştür.

Noktasal ve yayılı kirlilik kaynakları; yerüstü su kaynakları üzerinde ciddi bir baskı oluşturur. Özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılan zirai ilaçlamalar ve sulama suyu olarak akarsulardan yararlanılması, akarsuların kalite ve miktarını ciddi anlamda etkilemektedir.

Serik ilçesinde tarım her mevsim (yılın on iki ayı) yapılmaktadır. Bu sebepten bölge halkı verimliliği arttırmak adına çok fazla gübre ve zirai ilaç tüketmektedir. Bu tüketimler Acısu Deresi için oldukça ciddi sorun oluşturmaktadır. Özellikle azot ve fosfor konsantrasyonlarının yüksek olduğu gözlemlenen dere kesitlerinde yayılı kirlilik kaynakları etkili olmaktadır.

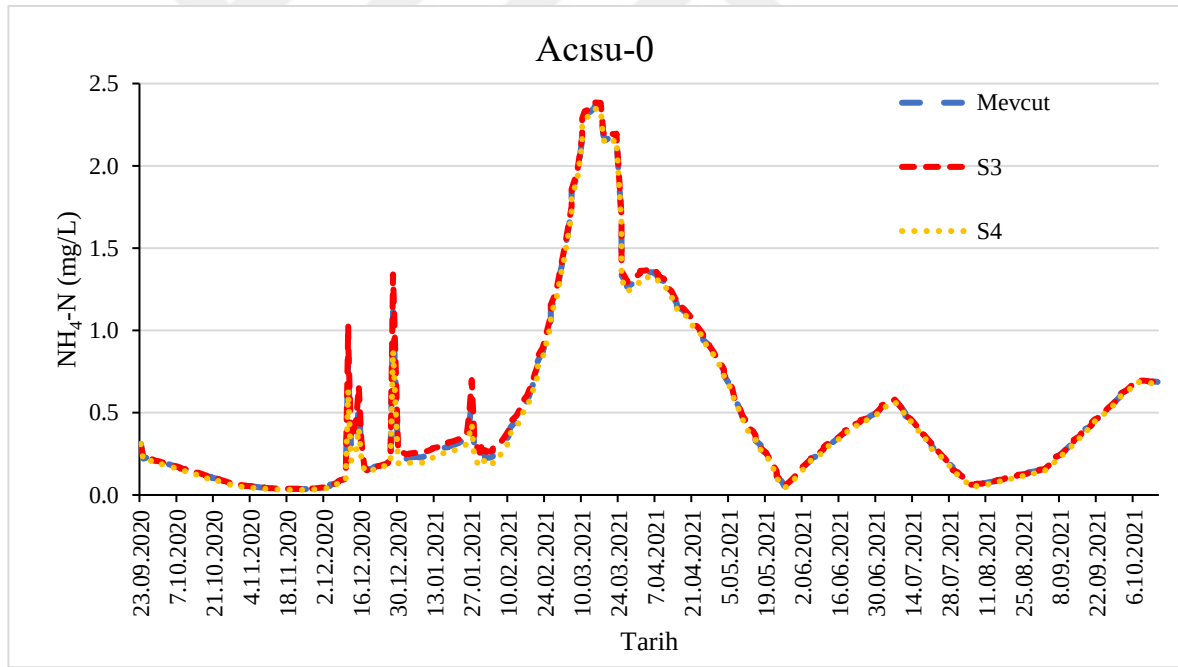
Senaryo-3, Acısu Deresi Havzası'nın dereye çeşitli yollarla taşıdığı yayılı kirlilik yüklerinin %25 oranda artacağı öngörüsüne dayanmaktadır ve çevresel açıdan olumsuz durumu göstermektedir. Senaryo-4, yayılı kirlilik yüklerinin %25 oranda azaltıldığı durumu temsil etmekte olup çevresel açıdan olumlu durumu göstermektedir.

Şekil 5.9'da sunulan akım değerleri incelendiğinde mevcut durum ve senaryolar ait sonuçlar açısından bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Bu durum senaryolar için sadece kirlilik yüklerinin arttırılıp/azalmasının bir sonucudur. Senaryo-3 ve Senaryo-4 için Acısu Deresi'nde debiyi etkileyecek herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Ancak 2020 yılı kış ayları için oldukça yüksek pik değerler mevcuttur. Bu pik değerler Aralık 2020 ve Ocak 2021 tarihlerinde gerçekleşen aşırı yağışların oluşturduğu değerlerdir.



Şekil 4.27. Acısu-0 izleme noktasında akım değeri için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

Amonyak azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) için Acısu-0 noktasına ait senaryo sonuçları incelendiğinde, Aralık 2020 ve Ocak 2021 aylarında bazı pik değerler gözlemlenmiştir. Bu pik değerler, kışları ılık ve yağışlı olan Antalya/Akdeniz bölgesinin iklim koşullarından kaynaklanmaktadır (Şekil 5.10). Aralık 2020 ve Ocak 2021 tarihlerinde aşırı yağışlardan dolayı Acısu Deresi'ne havza alanından yüksek miktarda yayılı kirlilik gelmiştir. Pik değerlerin olduğu tarihlerde en yüksek amonyak azotu değerlerinin Senaryo-3 ve en düşük amonyak azotu değerlerinin de Senaryo-4 için elde edildiği gözlemlenmiştir. Acısu Deresi'nde Mart 2021- Nisan 2021 aylarında amonyak azotu miktarı için önemli artışlar görülmüştür. En yüksek değer 10 Mart 2021 tarihinde yaklaşık 2,40 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ 'dür. En düşük değerler Ekim 2020, Haziran 2021 ve Ağustos 2021 aylarında gözlemlenmiştir ve bu tarihlerde amonyak azotu miktarı oldukça düşüktür.

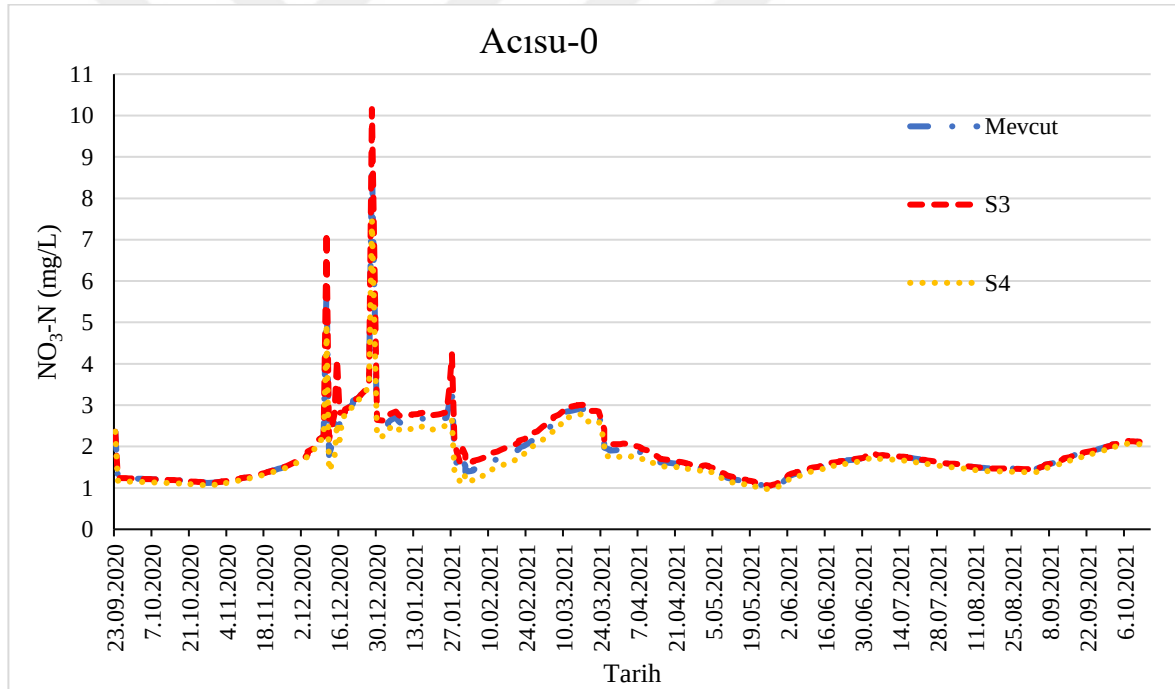


Şekil 4.28. Acısu-0 izleme noktasında Amonyak azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

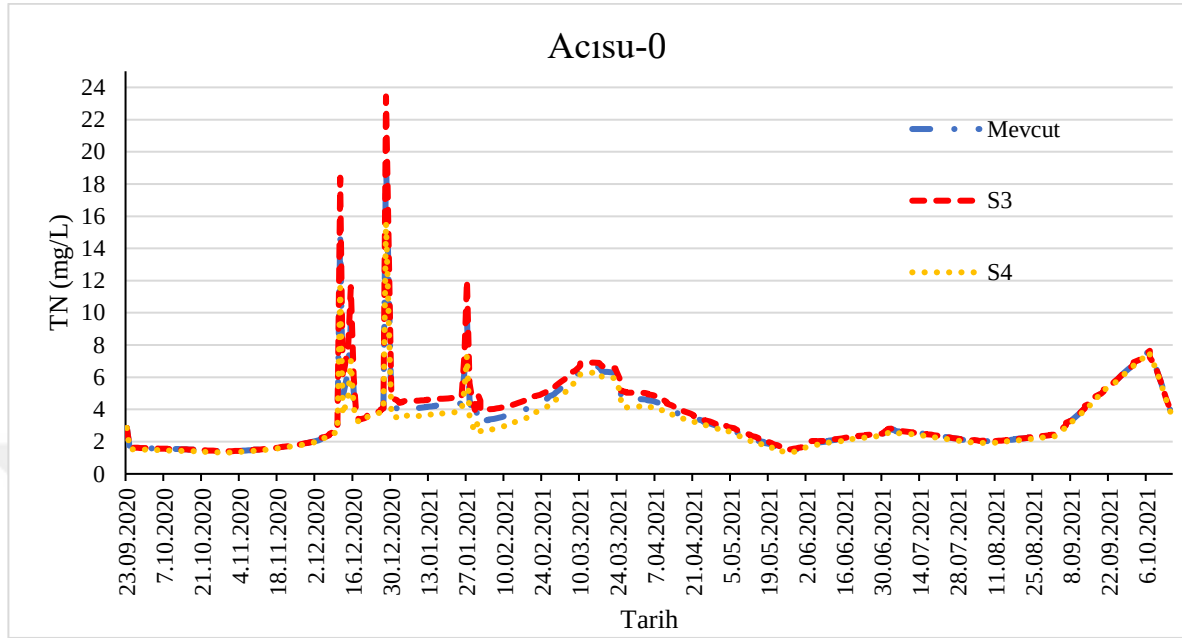
Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) için Acısu-0 noktasına ait sonuçlar incelendiğinde, Aralık 2020 ve Ocak 2021 aylarında pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.11). Bu pik değerler, Antalya/Akdeniz bölgesinin iklim koşullarından kaynaklanmaktadır. Aralık 2020 ve Ocak

2021 tarihlerinde aşırı yağışlardan dolayı Acısu Deresi'ne havzadan yüksek miktarda yayılı kirlilik gelmiştir. Pik değerlerin olduğu tarihlere ve hemen sonrasındaki günlere bakıldığında en yüksek nitrat azotu değerlerinin Senaryo-3 ve en düşük değerlerin Senaryo-4 için elde edildiği görülmüştür. Acısu Deresi'nde en düşük nitrat azotu değerleri Eylül-Ekim 2020 ve Haziran 2021 aylarında gözlemlenmiştir.

Acısu-0 noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için nitrat azotuna benzer şekilde kış aylarında pik değerler gösteren sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.12). Pik değerler, havzada o tarihlerde gerçekleşen aşırı yağışlara bağlıdır. Toplam azot için en düşük değer yaklaşık 1,5 mg/L ve en yüksek değer yaklaşık 23,5 mg/L'dir.

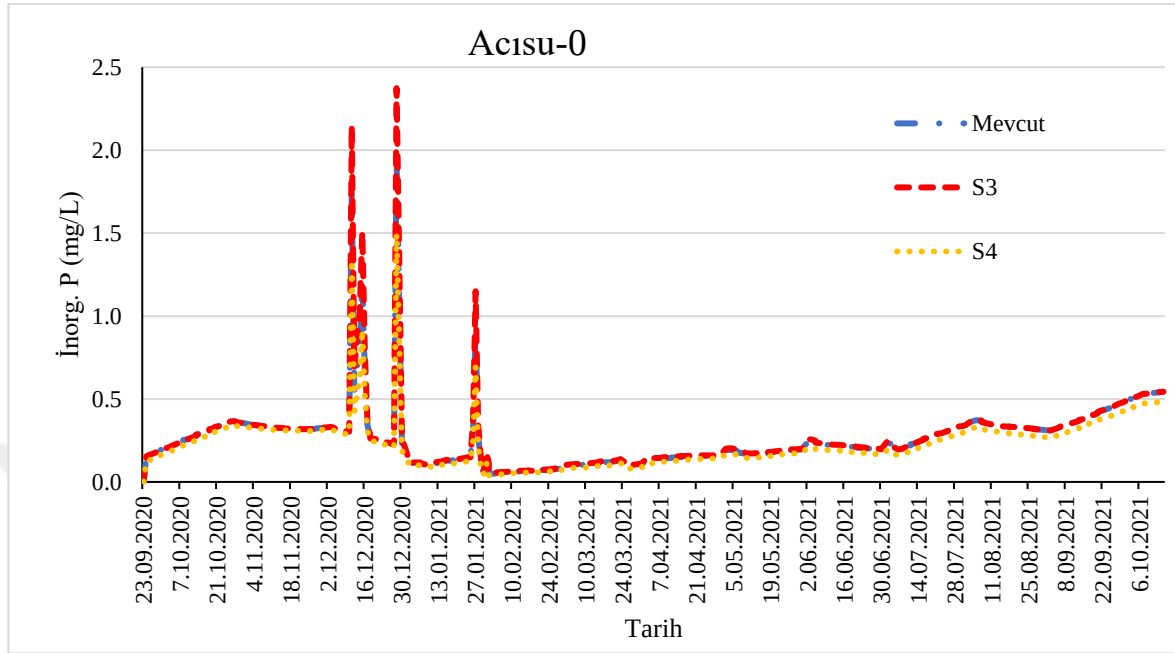


Şekil 4.29. Acısu-0 izleme noktasında Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları



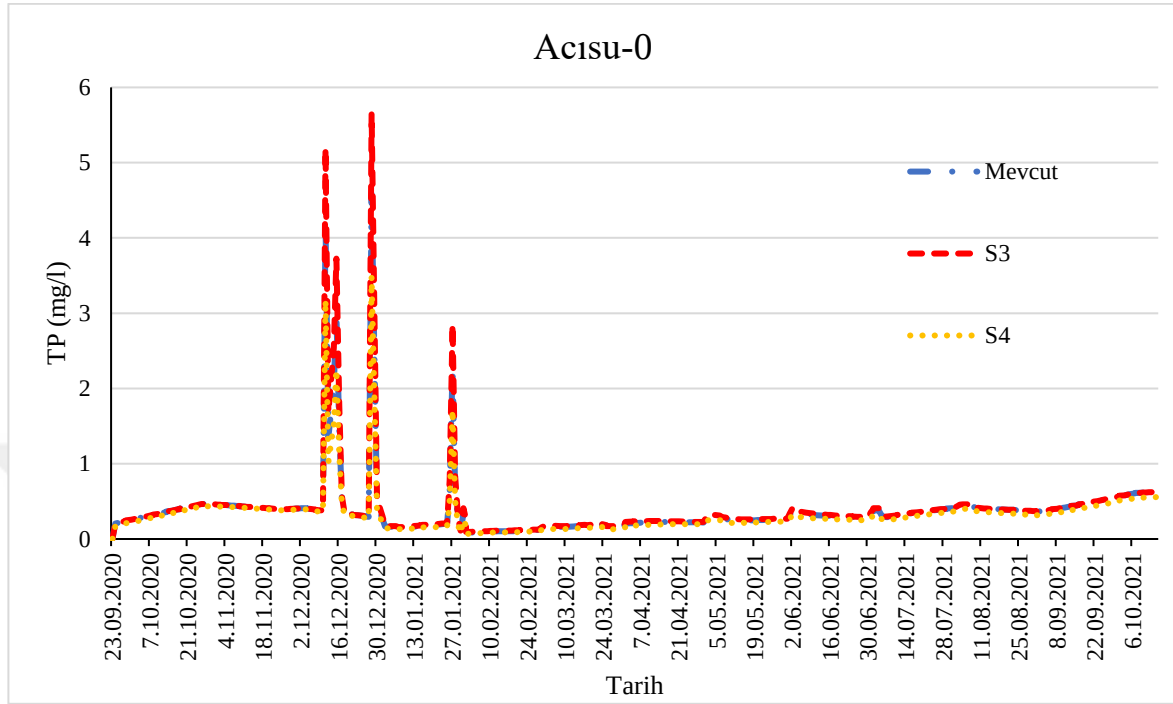
Şekil 4.30. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

İnorganik fosfor (İnorg. P) parametresine ait sonuçlar incelendiğinde, aşırı yağışların olduğu kış aylarında diğer parametrelere benzer şekilde pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.13). Aralık 2020 ve Ocak 2021 döneminde ani pikler ve ardından oldukça düşük değerler elde edilmiştir. Senaryolar açısından en yüksek değer Senaryo-3 için yaklaşık 2,4 mg/L ve en düşük değer Senaryo-4 için 0,05 mg/L değerinden daha azdır.



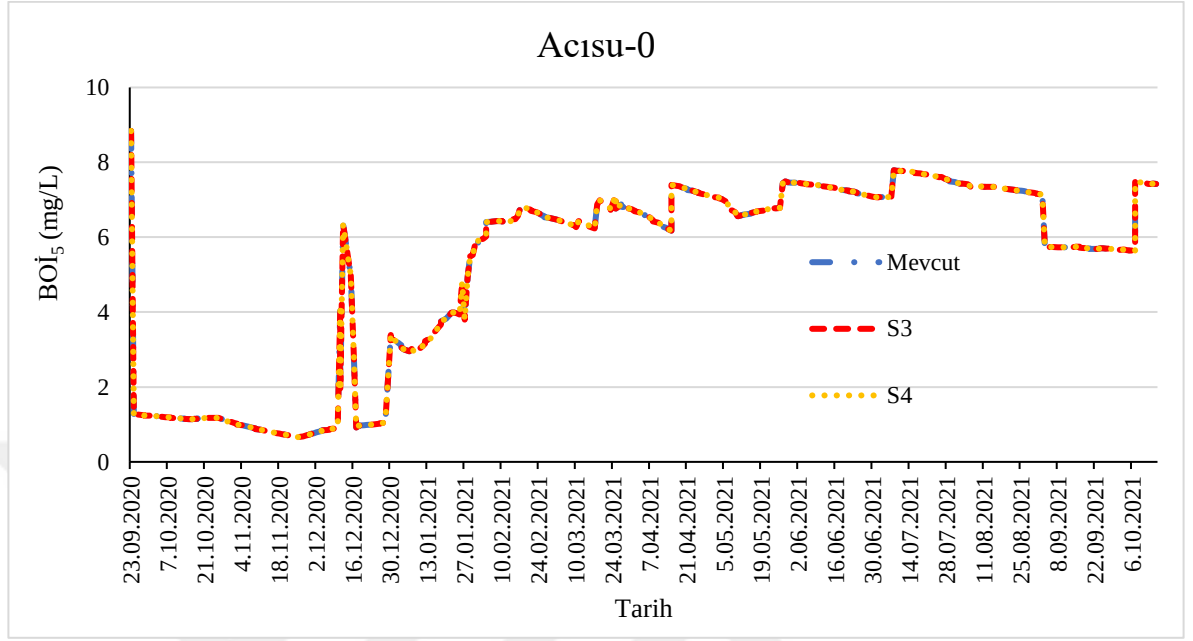
Şekil 4.31. Acısu-0 izleme noktasında İnorganik fosfor (İnorg. P) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

Toplam fosfor (TP) parametresine ait sonuçlar incelendiğinde, aşırı yağışlara bağlı gerçekleşen yayılı kirlilik ile kış aylarında diğer parametrelere benzer şekilde pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.14). Buna bağlı olarak Aralık 2020 sonu ve Ocak 2021 başında yüksek değerler elde edilmiştir. Senaryolara ait sonuçlar açısından en yüksek değer Senaryo-3 için yaklaşık 5,6 mg/L ve en düşük değer Senaryo-4 için <0,1 mg/L olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Acısu-0 izleme noktasında Toplam fosfor (TP) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) için sonuçlar incelendiğinde Acısu Dere'si için oluşturulan yayılı kirlilik yükleri senaryolarında bu parametreyi etkileyecek bir değişiklik gözlemlenmemiştir (Şekil 5.15). Bu sebeple mevcut durum ve senaryolara ait sonuç değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 4.33. Acısu-0 izleme noktasında Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) parametresi için mevcut durum ve yayılı kirliliğe ilişkin senaryo sonuçları

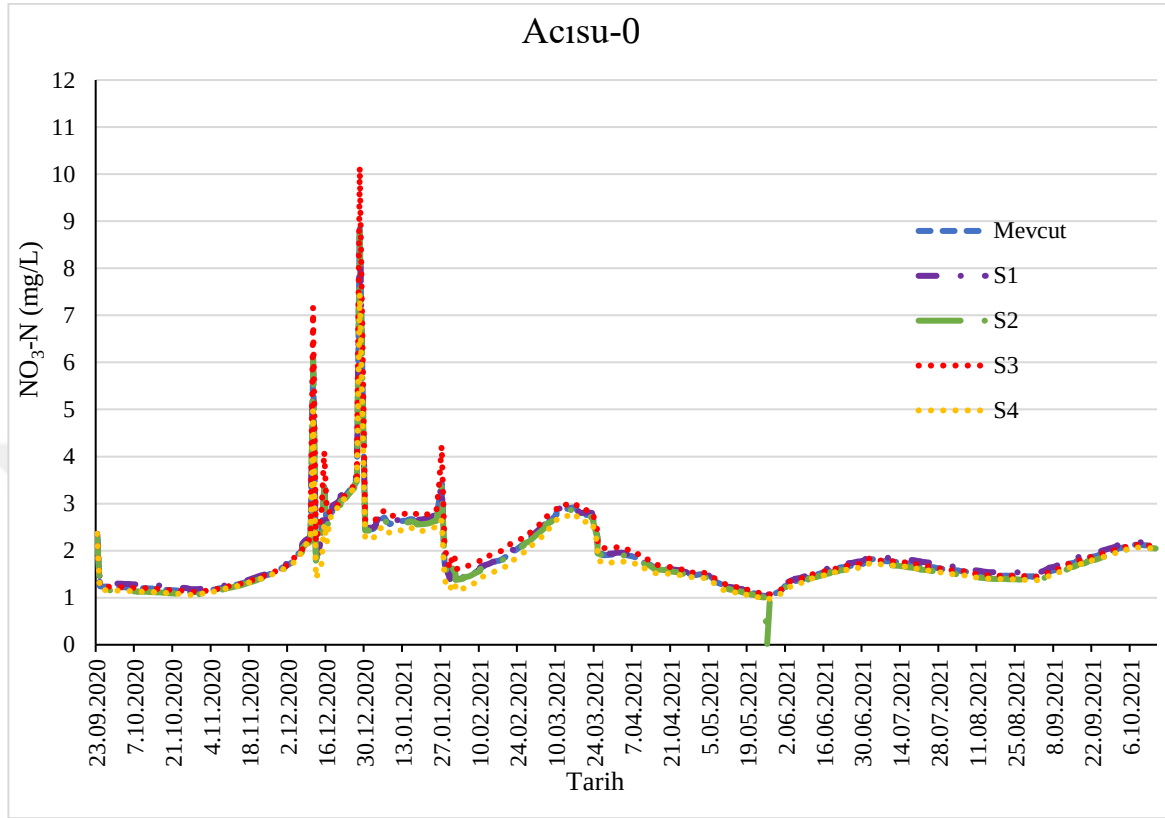
5. SONUÇLAR

Su sınırlı miktarda ve zamanla azalan bir kaynaktır. Suyun iyi yönetimi, akarsuların ve nehirlerin akış miktarı, fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahip olma durumuyla gerçekleşmektedir. Nüfus yoğunluğunun çok, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yüksek olduğu bölgelerde tatlı su talebi diğer mevcut kaynaklara göre daha yüksek olabilir. Bu durumda akarsu kaynaklarının yoğun kullanıma tabi tutulmasıyla sonuçlanır (Prat 2000). Toplumlar yerleşim yeri, tarımsal ve endüstriyel faaliyetleri için çoğunlukla sulak bölgelere yakın yerleri hatta su kenarlarını tercih etmişlerdir. Böylelikle nehirler ve akarsular evsel, endüstriyel ve sulama suyu kullanımlarına maruz kalmaktadır. Bu durum nehirler ve akarsuların kirliliklere karşı çok açık su kütleleri haline gelmesine yol açmıştır. Bu nedenle kirlilikleri kontrol altına almak ve önlemek için suyun kalitesi hakkında doğru ve güvenilir bilgiye sahip olup, mevcut su durumunu daha iyiye taşımak, çevre bilinci taşıyan her bir bireye düşen görevler arasındadır (Yıldırım 2009).

Su kaynaklarındaki yayılı kirlilik girdileri ve noktasal kirlilik girdileri suların kalitesi üzerinde baskı oluşturmakta ve bu durum toplum açısından problem haline gelmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin güneyindeki Akdeniz Havzasında yer alan Acısu Deresi'nin su kalitesinin ve miktarının iyileştirilmesi için incelenmiştir. İncelemede noktasal kirlilik yüklerinin dereye deşarjı yapılan atıksu arıtma tesislerinin atıksu deşarjlarıdır. Yayılır kirlilik yükleri yoğun gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerden gelen kirliliklerdir. Bu kirlilik yükleri nehir suyunda baskı oluşturur. Bu çalışmada, kirlilik kaynaklarına çokça maruz kalan ve denize deşarjı olan Akdeniz Havzası'ndaki Acısu Deresi'nin su kalitesindeki bozulma sunulmuştur. Dereye deşarj edilen arıtma tesislerinden gelen atıksular dere üzerinde ötrofikasyon ve bakteriyolojik bozunma nedenlerinin ana sebebidir. Ek olarak yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği bu havzada yıl boyu süre gelen (azot ve fosfor içeren) gübreler ve zirai ilaçlamalar sebebiyle çeşitli pestisitlerin suya karışmasına ve su kirliliğine sebep olmuştur. Bu çalışmada izleme istasyonlarında seçili kirliletiçi parametreler incelenmiştir ve inceleme sonucunda dere suyundaki pestisit analizleri, miktar açısından yönetmelikler tarafından belirlenen sınırın altında çıkmıştır. Ancak tarımsal faaliyetler git gide kullanımı artmakta ve pestisitlere maruz kalma olasılığı günden güne artarak gitmektedir. Bu durum

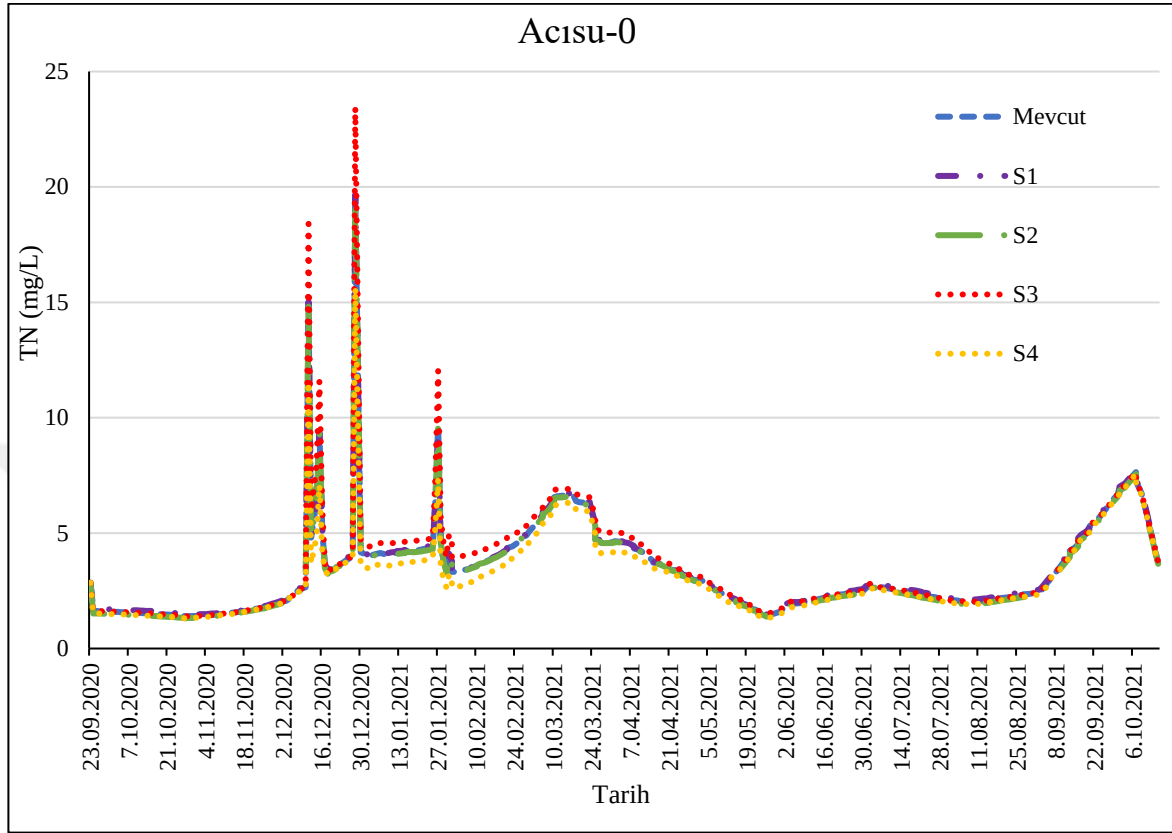
mevcut ekosistemi ilerideki zamanlarda bozabilir. Acısu Deresi'nde arıtma tesislerinden gelen atıksu deşarjları ve tarımsal faaliyetlerin kontrol altına alınarak daha sıkı bir denetlemeden geçmesi gerekmektedir. Derenin döküldüğü bölümde bakteriyolojik analiz sonuçları, mevcut üç adet atıksu arıtma tesisinden gelen deşarj sularının bazı zamanlarda Mavi Bayrak su kalite standartlarını ihlal edebileceğini ve turizm üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğini göstermiştir. Bu araştırma Acısu Deresi su kalitesi üzerindeki baskı ve etkileri izleyerek ve analiz ederek su kalitesinin bütünleşmiş yönetimi için sistematik bir yaklaşım sunmuştur. Deterministik modelleme uygulamasının temel amaçlarından biri yönetim senaryolarını gerçekleştirmektir. Bu doğrultuda, bu araştırma çalışmasında WASP modeli kullanılarak dört yönetim senaryosu uygulanmıştır. Dört senaryonun sonuçlarını hep birlikte karşılaştırmak önemlidir. Aşağıdaki bölümde, dört senaryo karşılaştırılmıştır.

Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) için Acısu-0 noktasına ait sonuçlar incelendiğinde, Aralık 2020 ve Ocak 2021 aylarında pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.16). Bu pik değerler, Antalya/Akdeniz bölgesinin iklim koşullarından kaynaklanmaktadır. Aralık 2020 ve Ocak 2021 tarihlerinde aşırı yağışlardan dolayı Acısu Deresi'ne havzadan gelen kirlilik yükleri artmıştır. Pik değerlerin olduğu tarihler ve sonrasındaki günlere ait sonuçlar incelendiğinde en yüksek nitrat azotu değeri Senaryo-3 için ve en düşük nitrat azotu değeri Senaryo-4 için elde edilmiştir. Senaryo-1, Senaryo-2 ve mevcut durum için oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir. Acısu Deresi'nde en düşük değerler Eylül-Ekim 2020 ve Haziran 2021 aylarında gözlemlenmiş olup 1 mg/L değerine oldukça yakındır.



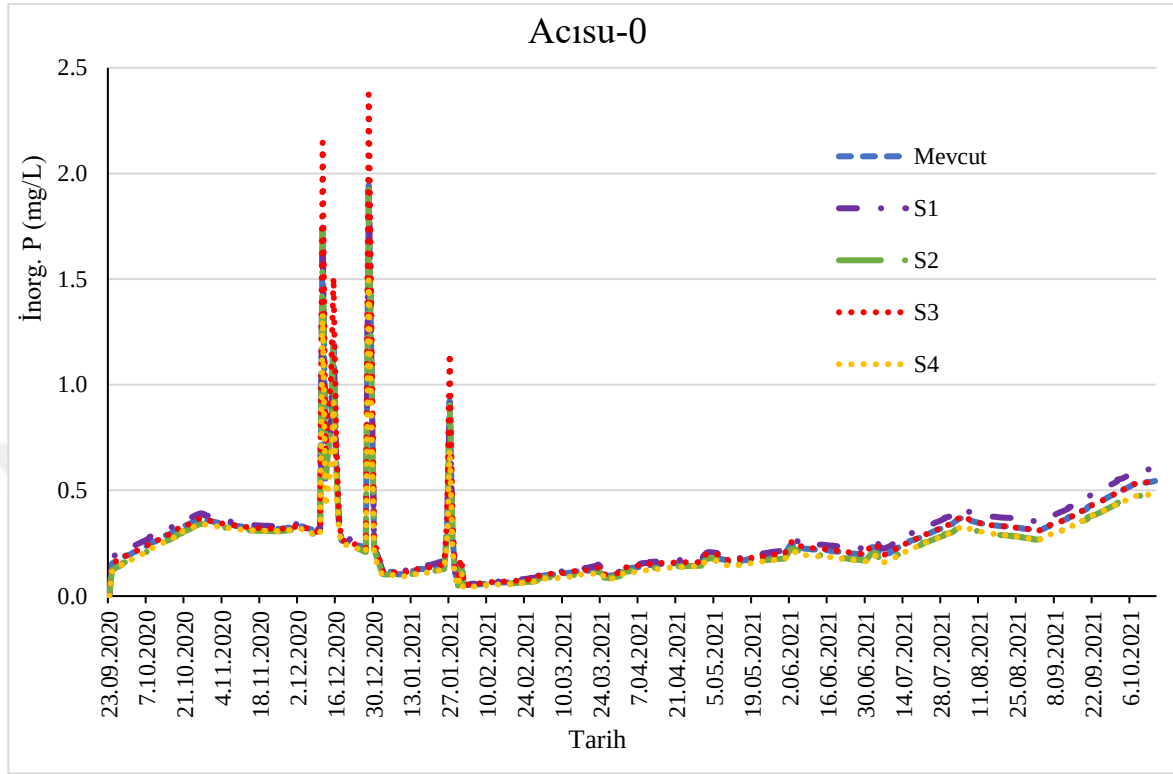
Şekil 5.1. Acısu-0 izleme noktasında Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları

Acısu-0 noktasında toplam azot (TN) parametresi için nitrat azotuna benzer şekilde kış aylarında pik değerler gösteren sonuçlar oluşmuştur (Şekil 5.17). Pik değerler, havzada gerçekleşen aşırı yağışların sonucudur. Toplam azot için en düşük değer yaklaşık 1,5 mg/L olarak görülürken en yüksek değer Senaryo-3 için yaklaşık 23,5 mg/L'dir. Genel olarak Senaryo-4 için en düşük değerler ve Senaryo-4 için en yüksek değerler elde edilmiştir. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için elde edilen sonuçlar arasında büyük bir değişiklik söz konusu değildir. Bu durum azot kirliliğinin daha çok yayılı kirlilik kaynaklarından geldiğini göstermektedir.



Şekil 5.2. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Azot (TN) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları

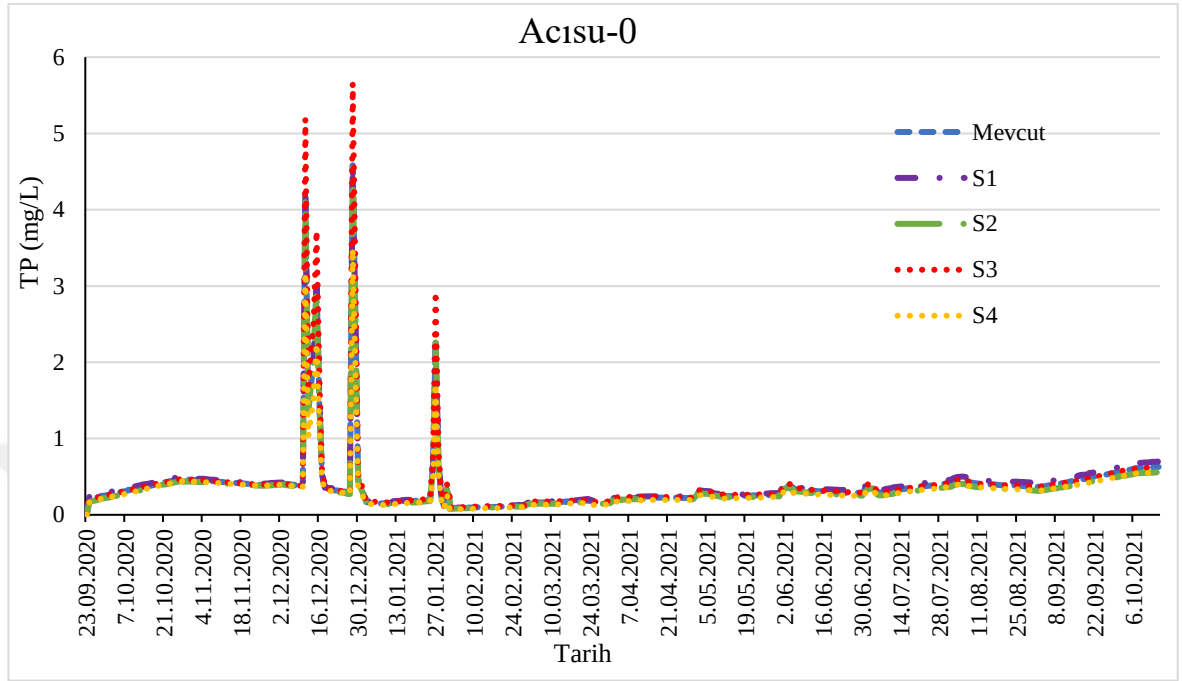
İnorganik fosfor (İnorg. P) parametresine ait sonuçlar incelendiğinde, aşırı yağışların olduğu kış aylarında diğer parametrelere benzer şekilde pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.18). Aralık 2020 sonu ve Ocak 2021 aylarında yüksek değerler görülmüştür. Senaryolara ait sonuçlar incelendiğinde en yüksek değer Senaryo-3 için yaklaşık 2,4 mg/L ve en düşük değer Senaryo-4 için <0,1 mg/L olarak elde edilmiştir. Sonbahar mevsiminde ve özellikle Ekim 2021 döneminde Senaryo-1 ile tanımlanan noktasal kirliliğin artması durumunda diğer senaryolara göre kirlilik açısından daha yüksek değerler gözlemlenmiştir.



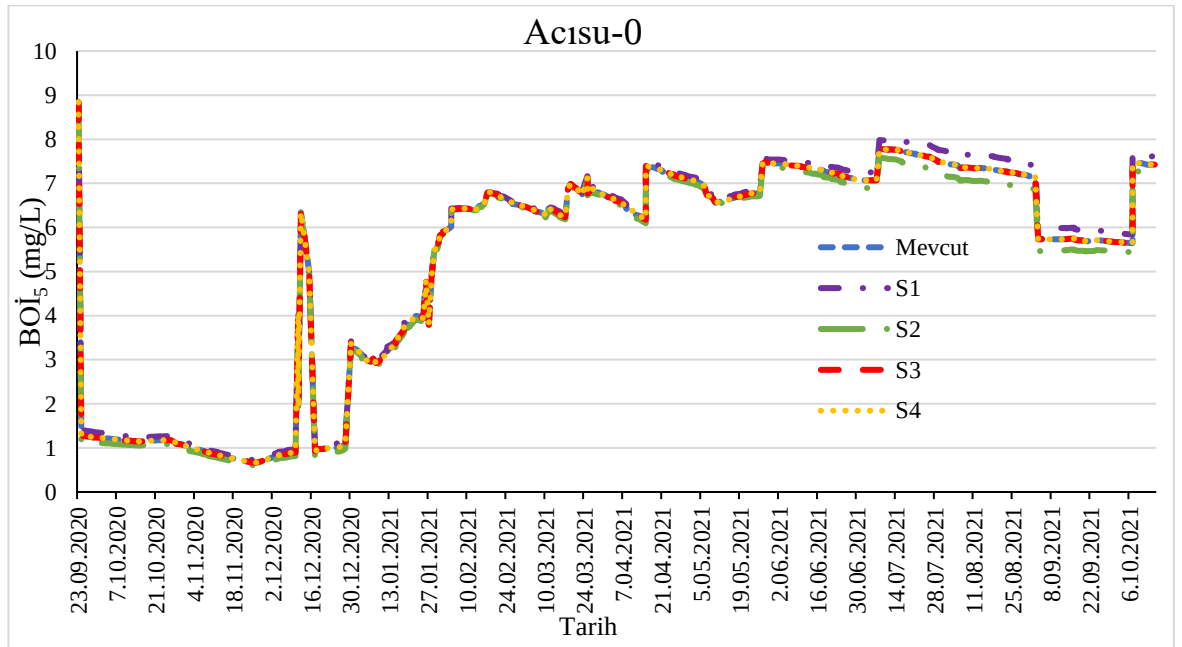
Şekil 5.3. Acısu-0 izleme noktasında İnorganik fosfor (İnorg. P) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları

Toplam fosfor (TP) parametresine ait sonuçlar incelendiğinde, aşırı yağışlarla oluşan yayılı kirlilik ile kış aylarında diğer parametrelere benzer şekilde pik değerler gözlemlenmiştir (Şekil 5.19). Aralık 2020 ve Ocak 2021 aylarında yüksek değerler görülmüştür. Senaryolara ait sonuçlar incelendiğinde en yüksek değeri gösteren Senaryo-3 için yaklaşık 5,6 mg/L ve en düşük değeri gösteren Senaryo-4 için <0,1 mg/L değerleri elde edilmiştir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) sonuçları incelendiğinde Acısu Deresi için tanımlanan noktasal kirlilik yükleri senaryoları içinde Senaryo-1 için mevcut durumdan daha yüksek değerler elde edilmiştir (Şekil 5.20). Senaryo-2 içinse mevcut durumdan daha düşük değerler elde edilmiştir. Senaryo-3 ve Senaryo-4 için BOI_5 sonuçları mevcut durum ile aynıdır. Genel olarak sonbahar mevsiminde oldukça yüksek değerler görülmekte olup kış mevsiminde en ani pikler ve yer yer düşük değerler görülmüştür.



Şekil 5.4. Acısu-0 izleme noktasında Toplam Fosfor (TP) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları



Şekil 5.5. Acısu-0 izleme noktasında Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) parametresi için mevcut durum ve tüm senaryo sonuçları

Gelecekteki arařtırmalar için öneriler;

1. Bu alışma, bölgede bulunan 5 yıldızlı oteller tarafından plajın yoğun olarak kullanıldığı Acısu Deresi'nin mansap noktasında rekreasyonel aktivitelerin etkilenmesi nedeniyle koliform bakterilerinin önemli bir biyolojik parametre olduğunu göstermiştir. Oradaki kumsal, koliform bakteriyolojik parametre seviyelerinin gerekli olanları aşması nedeniyle Mavi Bayrak ödülünü kazanamadı. Bu açıdan Total koliformlar ve E-coli başta olmak üzere bakteriyolojik parametrelerin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ek olarak, WASP modeli koliformları modelleme yeteneğine sahiptir. Bu sayede kirlilik kaynakları belirlenebilir ve deşarj limitleri simüle edilebilir.
2. Mevcut düzenlemeler ışığında nehrin taşıma kapasitesi üzerine bir çalışma yapılabilir.
3. Acısu nehrine gelen kirlilik yüklerini azaltmak için atıksu arıtma tesislerinin uygulanabilir arıtma yöntemleri uygulanabilir.
4. Yaygın kirliliği kontrol etmek zordur. Bu nedenle, En İyi Tarımsal Uygulamalar dahil olmak üzere, tarım alanlarından kaynaklanan yaygın kirliliği kontrol etmek için farklı yöntemler üzerinde çalışılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Akomeah, E. 2015. Dynamic water quality modelling and uncertainty analysis of phytoplankton and nutrient cycles for the upper South Saskatchewan River. *Environmental Science and Pollution Research*, 22:18239–18251.
- Amrose, R.B. Wool, T. ve Martin, J.L. 1993. WASP5, User's Manual. US Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, GA, EPA/600/3- 87-039.
- APHA,1998. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed.,Washington, D.C
- Basumallick, L., Rohrer, J., 2019. Monitoring Inorganic Anions and Cations During Desalination. Application Note. *Thermo Fisher Scientific, Sunnyvale*, 260.
- Bulut, M. ve Birben, Ü. 2019. AB Su Çerçeve Direktifinin Türkiye’de su kaynakları yönetimine etkisi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(3): 221-233.
- Camacho, R., J. Martin, B. Watson, M. Paul, L. Zheng ve J. Stribling, 2014. Mississippi'de Fitoplanktonu Kontrol Eden Faktörlerin Modellenmesi ve Besin Yükü Değişikliklerine Estuarin Tepkilerinin Değerlendirilmesi. *Çevre Mühendisliği Dergisi*. 1943-7870.
- Canu, D., C. Solidoro ve G. Umgiesser, 2004. Venedik Ekosistemi Lagünü'nün Fiziksel Kuvvetlerdeki Varyasyonlara Tepkilerinin Modellenmesi. *Ekolojik Modelleme*. 174(2).
- Cerucci, M., G. Jaligama ve R. Ambrose, 2010. Dinamik Su Kalitesi Simülasyonları için Monod ve Düşüş Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Çevre Mühendisliği Dergisi*. 1943-7870.
- Chen, C., W. Lung, S. Li ve C. Lin, 2012. Tayvan'daki Nehirlerin BOD/DO Modellemesi ile Teknik Zorluklar. *Hidro-çevresel Araştırma Dergisi*. 3(8).
- Çıvgın, M., 2013 Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi kapsamında Türkiye’de Entegre Havza Yönetimi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Dilks, D. ve T. James, 2011. Okeechobee Gölü'nün Yüksek Parametrelili Modelinde Parametre Belirsizliği. *Göl ve Rezervuar Yönetimi*. 27(4).
- Dongil, S. ve K. Minae, 2011. Kore, Yongdam Gölü'nün Su Kalitesi Modellemesi için EFDC ve WASP7'nin Seri Olarak Uygulanması. *Kore Su Kaynakları Derneği Dergisi*. 44(6).
- Ernst, M.R., Owens, J., 2009. Development And Application of a WASP Model on a Large Texas Reservoir to Assess Eutrophication Control. *Lake and Reservoir Management*, 25:136-148.

- Ekdal, A., Tanik, A., Ambrose, R.B., 2011. Data Inventory and Analysis For The Application Of WASP in a Coastal Lagoon. *Journal of Coastal Research*. 885-889
- Fural, Ş. 2018. Acısu Çayı'nın (Serik – Antalya) Drenaj Özelliklerinin Morfometrik Analizi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 72: 541-556
- Garipağaoğlu, N. & Uzun, M. 2020. Development stages of basin management and different models. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 43, 338-357.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. 1997. Su Kalitesi. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, Ders Kitabı, Ankara, 52s.
- Gordillo, G. 2020. Finite volume model for the simulation of 1D unsteady river flow and water quality based on the WASP. *Journal of Hydroinformatics*, 22.2.
- Hosseini, N., Akomeah, E., Davis, J.M., Baulch, H., Lindenschmidt, K.E., 2018. Water Quality Modeling of a Prairie River-Lake System. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:31190–31204.
- Kaman H. 2011. Preliminary investigation of seawater intrusion into inland through Acısu Creek in Antalya, Turkey. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 9(2): 612-617.
- Knightes, C. 2019. Modeling framework for simulating concentrations of solute chemicals, nanoparticles, and solids in surface waters and sediments: WASP8 Advanced Toxicant Module. *Environmental Modelling and Software*, 111: 444–458.
- Kırtorun, E. ve Karaer, F. 2018. Su Yönetimi ve Suyun Sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2): 151-159.
- Lai, Y.C., Yang, C.P., Hsieh, C.Y., Wu, C.Y., Kao, C.M., 2011. Evaluation Of Non-Point Source Pollution And River Water Quality Using a Multimedia Two-Model System. *Journal of Hydrology*, (409)583–595.
- Lin, C. E., Chen C.T., Kao, C.M., Hong, A., Wu, C.Y., 2011. Development of the sediment and water quality management strategies for the Salt-water River, Taiwan *Marine Pollution Bulletin*, (63): 524-534.
- Lin, Y. P., Mukhtar H., Huang, K.T., Petway, J.R., Lin, C.M., Chou, C.F., Liao, S.W., 2020. Real-Time Identification of Irrigation Water Pollution Sources and Pathways with a Wireless Sensor Network and Blockchain Framework *Sensors* , (20)3634.
- Martin, J.L. ve Wool, t. 2005. A Dynamic One-dimensional Model of Hydrodynamics and Water Quality EPD-RIV1 Version 1.0. User's Manual. Georgia Environmental Protection Division, Athens, Georgia, USA
- Ma, C.Y., Sheu, Y.T., Hsia, K.F., Dong, C.D., Chen, C.W., Huang, Y.C., Kao, C.M., Development of water and sediment quality management strategies for an urban river basin: a case study in Taiwan, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 67.8.

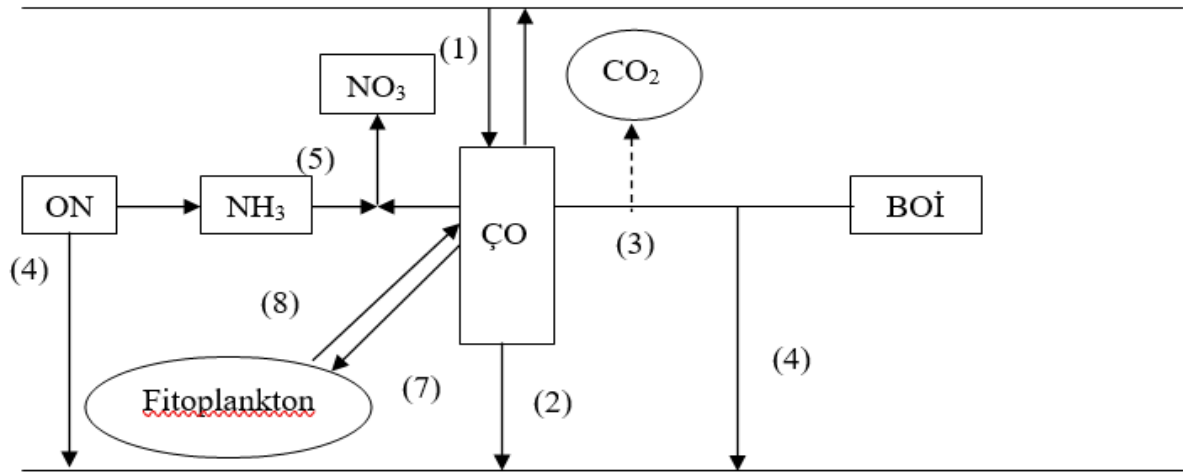
- Moses, S.A., Janaki, L. Joseph, S., Joseph, J., 2015. Water Quality Prediction Capabilities of WASP Model For a Tropical Lake System, *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, (20): 285–299.
- Muhammetoglu A. ve Soyupak S. 2000. A Three-Dimensional Water Quality-Macrophyte Interaction Model For Shallow Lakes, *Ecological Modelling*, 133.
- Muhammetoglu A., 2021. River Water Quality Assessment and Management Using Deterministic Modelling, Water Quality Indices and Statistical Analysis, TUBITAK Project No:119Y267, Akdeniz University, Antalya, Turkey.
- Myers, D.N., Sylvester, M.A. 1997. Fecal Indicator Bacteria. In: D.N. Myers and F.D. Wilde (eds) *Biological Indicators*, USGS TWRI Book 9, Chapter A7, 1-38.
- Narasimhan, B., R. Srinivasan, S. Bednarz, M. Ernst ve P. Allen, 2010. Noktasal ve Noktasal Olmayan Kaynak Kirliliğinden Kaynaklanan Rezervuar Su Kalitesi Değerlendirmesi ve Yönetimi için Kapsamlı Bir Modelleme Yaklaşımı. *ASABE işlemleri*. 53(5).
- Nathanson, J.A., 1997. Basic Environmental Technology: water supply, waste management, and pollution control. Upper Saddle River, New Jersey, pp. 71-97.
- Prat, N. And Munne, A. 2000. Water Use and Quality And Stream Flow in a Mediterranean Stream. *Water Resources*, 15, pp. 3876–3881.
- Riadi, L. 2017. Water sustainability: emerging trends for water quality management. *KnE Life Sciences*, 118-130.
- USEPA-a, <http://www.epa.gov/athens/wwwqtsc/html/wasp.html>, Erişim tarihi: Mart 2022.
- USEPA. 1999. U.S. Environmental Protection Agency, Protocols for developing nutrient TMDLs, EPA 841-B-99-007. Office of Water (4503 F), Washington, D.C.
- ISO 5667-6. 1990. Water quality Sampling Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams, International Organization for Standardization.
- ISO 5667-2. 1991. Water quality Sampling Part 2: Guidance on sampling techniques, International Organization for Standardization.
- ISO 5667-3. 1994. Water quality Sampling Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples, International Organization for Standardization.
- ISO 7887. 2011. Water quality Examination and determination of colour, International Organization for Standardization.
- Wool, T. 2020. WASP 8: The Next Generation in the 50-year Evolution of USEPA's Water Quality Model. *Water*, 12, 1398.
- Yao, H. 2014. Regional Risk Assessment for Point Source Pollution Based on a Water Quality Model of the Taipu River, China. *Society for Risk Analysis*, 272, 4332.
- Yıldırım, M. 2009. Research Note: Modeling of the Water Quality of Büyüksu Stream, Bolu, Turkey. *Water Environment Research*, 81, 325.

7. EKLER

EK-1: 7.1. WASP Modelindeki Parametre Etkileşimleri

7.1.1. Çözünmüş oksijen

Su kalite modeli içinde çözünmüş oksijenin diğer tüm parametreler ile etkileşimleri tanımlanmış olup, bu etkileşimler Şekil 8.1’de özetlenmiştir. Çözünmüş oksijen için kaynak oluşturan işlemler, atmosferden oksijen kazanımı ve fitoplankton fotosentezidir. Çözünmüş oksijen için kayıplar fitoplankton solunumu, karbonlu maddelerin oksidasyonu, nitrifikasyon ve sediman oksijen ihtiyacıdır. Genel kütle denge eşitliği aşağıda tanımlanmıştır (Wool vd 2001).



Şekil 7.1. WASP modelinde çözünmüş oksijenin diğer parametrelerle etkileşimi (Wool vd 2001)

Yeniden havalandırma, 2. Sediman oksijen ihtiyacı, 3. Karbonlu deoksidasyon, 4. Partikül organik maddenin çökmesi, 6. Nitrifikasyon, 7. Mineralizasyon, 8. Fotosentez, 9. Solunum)

$$\frac{dC_6}{dt} = \underbrace{k_2(C_s - C_6)}_{\text{Yeniden havalandırma}} - \underbrace{k_d \Theta_d^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5}_{\text{Oksidasyon}} - \underbrace{\frac{64}{14} k_{12} \Theta_{12}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1}_{\text{Nitrifikasyon}}$$

$$\underbrace{-\frac{SOD}{D} \Theta_S^{(T-20)}}_{\text{SOİ}} + \underbrace{G_{P1} \left(\frac{32}{12} + \frac{48}{14} \frac{14}{12} (1 - P_{NH3}) \right) C_4}_{\text{Fitoplankton büyümesi}} - \underbrace{\frac{32}{12} k_{1R} \Theta_{1R}^{(T-20)} C_4}_{\text{Solunum}} \quad (7.1)$$

C_s = Çözünmüş oksijen doygunluğu, mgO_2/l

D = Su derinliği, m

G_{P1} = Spesifik fitoplankton büyüme hızı, 1/gün

k_{12} = Nitrifikasyon hızı, 1/gün

k_{1R} = Fitoplankton solunum hızı (20°Cde), 1/gün

k_2 = Yeniden havalandırma hızı (20°Cde), 1/gün

K_{BOD} = Oksijen sınırlaması için yarı doygunluk sabiti, mgO_2/l

k_d = Biyokimyasal ayrışım hızı (20°Cde), 1/gün

K_{NIT} = Nitrifikasyon için oksijen sınırlama yarı doygunluk sabiti, mgO_2/l

P_{NH3} = Amonyak alımı için tercih faktörü

SOD = Sediman oksijen ihtiyacı, $\text{g/m}^2\text{-gün}$

T = Sıcaklık, $^\circ\text{C}$

Θ_{12} = k_{12} için sıcaklık düzeltme katsayısı

Θ_{1R} = k_{1R} için sıcaklık düzeltme katsayısı

Θ_d = k_d için sıcaklık düzeltme katsayısı

Θ_S = SOD için sıcaklık düzeltme katsayısı

7.1.2. Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı

Fitoplankton ölümünden ortaya çıkan organik madde sistem içindeki organik madde miktarını arttırmaktadır. Organik madde oksidasyonu, denitrifikasyon ve çökme diğer etkileşim prosesleridir.

$$\frac{dC_5}{dt} = \underbrace{a_{OC} K_{1D} C_4}_{\text{Ölüm}} - \underbrace{k_d \Theta_d^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5}_{\text{Oksidasyon}} - \underbrace{\frac{v_{s3}(1-f_{D5})}{D} C_5}_{\text{Çökme}}$$

$$\underbrace{-\frac{5}{4} \frac{32}{14} k_{2D} \Theta_{2D}^{(T-20)} \left(\frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2}_{\text{Denitrifikasyon}} \quad (7.2)$$

a_{OC} = Oksijen karbon oranı, mgO/mgC

D = Su derinliği, m

f_{D5} = Çözünmüş karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı sabiti

K_{1D} = Ölüm hızı, 1/gün

k_{2D} = Denitrifikasyon hızı (20°C'de), 1/gün

K_{BOD} = Oksijen sınırlaması için yarı doygunluk sabiti, mgO₂/l

k_d = Deoksidasyon hızı (20°Cde), 1/gün

K_{NO3} = Oksijen sınırlaması için yarı doygunluk sabiti, mgN/l

T = Sıcaklık, °C

vs_3 = Organik madde çökme hızı, m/gün

Θ_{2D} = k_{2D} için sıcaklık düzeltme katsayısı

Θ_d = k_d için sıcaklık düzeltme katsayısı

7.1.3. Azot döngüsü

Azot döngüsü amonyak, nitrat ve organik azot arasındaki etkileşimlerin tanımlanması ile oluşturulmuştur. Amonyak ve nitrat azotu fitoplankton büyümesi için biokütlelerindeki azot miktarına bağlı oranlarda kullanılmaktadır. Fitoplankton biokütlesinde bulunan azot, solunum ve ölüm prosesleri sonucunda çözünmüş ve partikül organik azot ve amonyak şeklinde tekrar döngü içinde yer almaktadır. Organik azot sıcaklığa bağımlı bir dönüşüm hızı ile amonyak formuna, amonyak ise oksijene bağlı nitrifikasyon hızı ile nitrat azotu formuna dönüşür. Oksijensiz ortamda sıcaklığa bağımlı denitrifikasyon hızı ile nitrat, azot gazına dönüşür. Fitoplankton, organik azot, NH₃ ve NO₃ azot türleri için genel kütle eşitlikleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur (Wool vd 2001).

$$\frac{d(C_4 a_{nc})}{dt} = \underbrace{G_{P1} a_{nc} C_4}_{\text{Büyüme}} - \underbrace{D_{P1} a_{nc} C_4}_{\text{Ölüm}} - \underbrace{\frac{v_{S4}}{D} a_{nc} C_4}_{\text{Çökelme}} \quad (7.3)$$

$$\frac{dC_7}{dt} = \underbrace{D_{P1} a_{nc} f_{on} C_4}_{\text{Ölüm}} - \underbrace{k_{71} \Theta_{71}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mNc} + C_4} \right) C_7}_{\text{Mineralizasyon}} - \underbrace{\frac{v_{S3}(1-f_{D7})}{D} C_7}_{\text{Çökelme}} \quad (7.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{dC_1}{dt} = & \underbrace{D_{P1} a_{nc} (1-f_{on}) C_4}_{\text{Ölüm}} + \underbrace{k_{71} \Theta_{71}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mNc} + C_4} \right) C_7}_{\text{Mineralizasyon}} - \underbrace{G_{P1} a_{nc} P_{NH3} C_4}_{\text{Büyüme}} \\ & - \underbrace{k_{12} \Theta_{12}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1}_{\text{Nitrifikasyon}} \end{aligned} \quad (7.5)$$

$$\frac{dC_2}{dt} = \underbrace{k_{12} \Theta_{12}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1}_{\text{Nitrifikasyon}} - \underbrace{G_{P1} a_{nc} (1-P_{NH3}) C_4}_{\text{Büyüme}} - \underbrace{k_{2D} \Theta_{2D}^{(T-20)} \left(\frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2}_{\text{Denitrifikasyon}} \quad (7.6)$$

$$P_{NH3} = C_1 \left(\frac{C_2}{(K_{MN} + C_1)(K_{MN} + C_2)} \right) + C_1 \left(\frac{K_{MN}}{(C_1 + C_2)(K_{MN} + C_2)} \right) \quad (7.7)$$

a_{nc} = Azot karbon oranı (mgN/mgC)

D = Su derinliği, m

f_{D7} = Su kolonundaki çözünmüş organik azota dönüş oranı

f_{on} = Ölü fitoplankton biokütlesinden organik azota dönüş oranı

G_{P1} = Spesifik fitoplankton büyüme hızı, 1/gün

k_{12} = Nitrifikasyon hızı, 1/gün

K_{2D} = Denitrifikasyon hızı (20°C'de), 1/gün

K_{mNc} = Azot döngüsü fitoplankton sınırlama yarı doygunluk sabiti, mgC/l

K_{NIT} = Nitrifikasyon için oksijen sınırlama yarı doygunluk sabiti, mgO₂/l

K_{NO3} = Michaelis sabiti denitrifikasyon için, mgO₂/l

P_{NH3} = Amonyak alım dönemi için tercih faktörü

T = Sıcaklık, °C

v_{S3} = Organik madde çökelme hızı, m/gün

v_{S4} = Fitoplankton çökelme hızı, m/gün

Θ_{12} = k_{12} için sıcaklık düzeltme katsayısı

Θ_{2D} = k_{2D} için sıcaklık düzeltme katsayısı

Θ_{71} = k_{71} için sıcaklık düzeltme katsayısı

7.1.4. Fosfor döngüsü

Fosfor döngüsü içindeki etkileşimler çözünmüş inorganik fosfor ve organik fosfor grupları için tanımlanmıştır. Çözünmüş inorganik fosfor fitoplankton büyümesi için biokütlelerindeki fosfor miktarına bağlı oranlarda kullanılmaktadır. Fitoplankton biokütlesinde bulunan fosfor, solunum ve ölüm prosesleri sonucunda çözünmüş ve partikül organik fosfor ve inorganik fosfor şeklinde tekrar döngü içinde yer almaktadır. Organik fosfor sıcaklığa bağımlı bir dönüşüm hızı ile çözünmüş inorganik fosfor formuna dönüşmektedir Fitoplankton, organik ve inorganik fosfor için kütle denge eşitlikleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur (Wool vd 2001).

$$\frac{d(C_4 a_{pc})}{dt} = G_{P1} a_{pc} C_4 - D_{P1} a_{pc} C_4 - \frac{v_{S4}}{D} a_{pc} C_4 \quad (7.8)$$

$$\frac{dC_8}{dt} = D_{P1} a_{pc} f_{op} C_4 - k_{83} \Theta_{83}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mPc} + C_4} \right) C_8 - \frac{v_{S3}(1-f_{D8})}{D} C_8 \quad (7.9)$$

$$\frac{dC_3}{dt} = D_{P1} a_{pc} (1 - f_{op}) C_4 + k_{83} \Theta_{83}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mPc} + C_4} \right) C_8 - G_{P1} a_{pc} C_4 \quad (7.10)$$

a_{pc} = Fosfor karbon oranı, mgP/mgC

D = Su derinlik, m

D_{P1} = Fitoplankton ölüm hızı, 1/gün

f_{D8} = Su kolonunda organik fosfora dönüş oranı

f_{op} = Ölü fitoplankton biokütlesinden organik fosfora dönüş oranı

G_{P1} = Spesifik fitoplankton büyüme hızı, 1/gün

k_{83} = Çözünmüş organik fosfor minerilizasyon hızı, (20°C’de), 1/gün

K_{mPc} = Fosfor döngüsü fitoplankton sınırlaması için yarı doygunluk sabiti, mgC/l

T = Sıcaklık, °C

v_{S3} = Organik madde çökelme hızı, m/gün

v_{S4} = Fitoplankton çökelme hızı, m/gün

Θ_{83} = k_{83} için sıcaklık düzeltme katsayısı

ÖZGEÇMİŞ

PELİN ORHAN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-2022	Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2019	Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Muhammetoglu A., Akdegirmen O., Dugan S.T., Orhan P., Kocer M.A.T., Muhammetoglu H., Assessment of pressures and impacts on water quality of a small Mediterranean stream using an integrated approach, TDWT-2021-1354, *Desalination and Water Treatment*, 2022

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Orhan, P., Dugan, T. S., Kocer, Yesiltas, M., Kocer, M.A.T., Coban, H., Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H. “Application of WASP8 Deterministic Water Quality Model to Acısu Creek in Antalya, Turkey”, Fifth International Conference on Natural Resources and Sustainable Environmental Management (NRSEM-2021), Turkish Republic of Northern Cyprus, 8-12 November 2021.

2- Orhan, P., Dugan, T. S., Kocer, M.A.T., Muhammetoğlu, A., Muhammetoğlu, H. “Investigation of pressures and impacts on water pollution of a stream in Antalya River Basin”, 8th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2021) and SECOTOX Conference, Thessaloniki, Greece, 20-24 July 2021.