

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

**SU KAYNAKLARININ KALİTE MODELLEMESİ –
ALAŞEHİR ÇAYI ALT HAVZASI AKARSULARI SU
KALİTESİ MODELLEME UYGULAMASI**

– UZMANLIK TEZİ –

**HAZIRLAYAN:
GİZEM KIYMAZ**

ANKARA - 2017

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

**SU KAYNAKLARININ KALİTE MODELLEMESİ –
ALAŞEHİR ÇAYI ALT HAVZASI AKARSULARI SU
KALİTESİ MODELLEME UYGULAMASI**

– UZMANLIK TEZİ –

**HAZIRLAYAN:
GİZEM KIYMAZ**

**TEZ DANIŐMANI:
Doç. Dr. Ali ERTÜRK**

ANKARA - 2017

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu belge ile bu uzmanlık tezinde bütün bilgileri akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak hazırlayıp sunduğumu beyan ederim.

Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.

Tezi Hazırlayan Uzman Yardımcısı

Gizem KIYMAZ

TEŞEKKÜR

Tez sürecimde beni yönlendiren ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen Genel Müdürüm Prof. Dr. Sayın Cumali Kınacı'ya,

Değerli görüşleri ve katkıları ile tezime önemli katkılar sunan ve oluşturduğu programını tezimde kullanmama izin vererek bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Sayın Ali Ertürk'e,

Tezin hazırlanma sürecinde bana yol gösteren Sayın Genel Müdür Yardımcılarım Dr. Yakup Karaaslan ve Bilal Dikmen'e,

Bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan ve tezin hazırlanma sürecinde de anlayışını esirgemeyen Şube Müdürüm Dr. Ayfer Özdemir'e,

Tezimi başından sonuna kadar okuyarak yorumlarıyla çalışmamı daha iyi ifade etmemi sağlayan kıymetli mesai arkadaşlarım Sena Çetinkaya, Alper Uğurluoğlu, Hatice Duman, Ceren Aksu, Işıl Kaya Mert'e ve manevi desteği ile bu süreçte beni yalnız bırakmayan Aylin Okuldaş'a ve Ozan Soytürk'e,

Hayatım boyunca yanımda olduklarından ve bundan sonrada öyle olacağından emin olduğum sevgili aileme,

Bu süreçte desteğini ve güvenini her zaman yanımda hissettiğim eşim Özhan Kıymaz'a ve varlığı ile her günümü güzelleştiren kızım Öykü Kıymaz'a,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ULUSAL VE AVRUPA BİRLİĞİ MEVZUATINDA MODELLEME	3
2.1 Ulusal Mevzuat ve Modelleme.....	3
2.2 Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Modelleme.....	4
2.3 Su Çerçeve Direktifinin Model Destekli Uygulaması.....	7
3. AKARSU KALİTESİ	10
3.1 Akarsu Kalitesini Etkileyen Süreçler.....	10
3.2 Akarsularda Kalitesini Etkileyen Parametreler.....	14
3.2.1 Doğal Süreçlerin Su Kalitesine Etkisi.....	14
3.2.2 Antropojenik Etkiler.....	15
3.2.3 Su Kalitesi Modellerinde Genellikle Kullanılan Değişkenler.....	16
3.2.3.1 Çözünmüş Oksijen.....	17
3.2.3.2 Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı.....	18
3.2.3.3 Azotlu Bileşikler ve Azot Döngüsü.....	21
3.2.3.4 Fosforlu Bileşikler ve Fosfor Döngüsü.....	23
3.3 Akarsu Kalitesi İzlemesi ve Modelleme.....	25
4. AKARSU KALİTESİ MODELLEMESİNE GENEL YAKLAŞIM	28
4.1 Yerüstü Su Kalitesi Modellerinin Tarihsel Gelişimi.....	29
4.2 Yerüstü Su Kalitesi Modellerinin Sınıflandırılması.....	30

4.2.1	Ampirik ve Matematiksel (Mekanik) Modeller	31
4.2.2	Simülasyon ve Optimizasyon Modelleri	32
4.2.3	Kararlı Durum (Statik) ve Dinamik Durum Modelleri	32
4.2.4	Yuvarlanmış Parametrel ve Dağınık Parametrel Modeller	33
4.2.5	Deterministik (Belirlenimci) ve Stokastik (Rastgele) Modeller.....	34
4.3	Literatürde Yer Alan Akarsu Kalitesi Modelleri	35
4.4	Akarsu Kalitesi Model Seçimi.....	44
4.5	Akarsu Kalitesi İyi Model Uygulaması	46
5.	BASİT AKARSU MODELLEME PROGRAMI (SİSMOD).....	51
5.1	Model Ağı	52
5.2	Hidrolik Hesaplar	53
5.3	Su Kalitesi Hesapları	53
5.4	Modelin Yetenekleri ve Sınırları	56
5.4.1	Su Kalitesi Modelinin Yetenekleri ve Sınırları	56
5.4.2	Su Kalitesi Modeli Yazılımının Yetenekleri ve Sınırları	59
6.	ALAŞEHİR ÇAYI ALT HAVZASI SU KALİTESİNİN BASİT AKARSU MODELİ (SİSMOD) İLE MODELLENMESİ.....	60
6.1	Havzadaki Su Kalitesi Problemi ve Modellemenin Amacı	60
6.2	Modelin Kurulması.....	60
6.2.1	Alaşehir Çayı Alt Havzası Genel Özellikleri	60
6.2.1.1	Alaşehir Çayı Alt Havzasının Genel Durumu	60
6.2.1.2	Alaşehir Çayı Alt Havzasında Yer Alan Su Kaynakları ve Hidrolojik Yapılar	62
6.2.1.3	Alaşehir Çayı Alt Havzasının Meteorolojik Bilgisi	63
6.2.1.4	Alaşehir Çayı Alt Havzası Su Kaynaklarına Baskılar	64
6.2.2	Modelde İhtiyaç Duyulan Veriler	70
6.2.3	Kavramsal Modelin Oluşturulması	73
6.2.4	Modelleme Yazılımının Seçilmesi.....	74
6.2.5	Modelin Ön Uygulaması ve Doğrulaması (Verifikasyon)	74
6.3	Model Doğruluk Analizi	79

6.3.1	Model Kalibrasyonu.....	79
6.3.2	Model Validasyonu (Geçerlilik Kontrolü)	83
6.4	Sonuçların Yorumlanması	91
6.5	Kirlilik Yükü Azalım Senaryolarının Uygulanması	92
7.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	98
8.	ÖNERİLER.....	102
8.1	Türkiye’deki Su Kalitesi Modelleme Çalışmalarına İlişkin Öneriler	102
8.2	Alaşehir Çayı Alt Havzası Su Kalitesine İlişkin Öneriler	103
8.3	SİSMOD Programının Geliştirilmesine İlişkin Öneriler	105
	REFERANSLAR.....	107
	EK-1: BASİT AKARSU MODELİ PROGRAMI SU KALİTESİ DENKLEMLERİ	113
	EK-2: ALAŞEHİR ÇAYI ALT HAVZASI SU KALİTESİ MODELİ AKARSU BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ.....	119
	EK-3: SU KÜTLESİ SINIFLANDIRMASI SENARYO DURUMU VE MEVCUT DURUM HARİTALARI.....	121
	ÖZGEÇMİŞ.....	127

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Artıma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AKM	: Askıda Katı Madde
BASINS	: Noktasal ve Yayılı Kaynakların Entegrasyonu ile Bilimin Daha İyi Değerlendirilmesi (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
cBOİ	: Karbonlu Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
Çöz N	: Çözünmüş Azot
Çöz P	: Çözünmüş Fosfor
GMTY	: Günlük Maksimum Toplam Yük
HKEP	: Havza Koruma Eylem Planı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MONERİS	: Akarsularda Besin Elemanlarının Emisyonlarının Modellenmesi (MOdelling Nutrient Emissions in RIver Systems)
NH ₄ N	: Amonyum Azotu
NO ₂ N	: Nitrit Azotu
NO ₃ N	: Nitrat Azotu
NBOİ	: Azotlu Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

Org N	: Organik Azot
SİSMOD	: Basit Akarsu Modelleme Programı
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SWAT	:Toprak ve Su Değerlendirmesi Aracı (Soil and Water Assessment Tool)
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
WASP	: Water Quality Analysis Simulation Program
WFD	: Su Çerçeve Direktifi (Water Framework Directive)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Uygun Matematiksel Modelin Geliştirilmesi ve Uygulanması İçin Ön Koşullar (Marcello Benedini, 2013)	7
Şekil 2. Entegre Havza Yönetiminde Karar Destek Sistemlerinin Önemi.....	9
Şekil 3. Termodinamiğin Birinci Kanunu (Enerjinin Korunumu).....	10
Şekil 4. Su Kaynaklarındaki Temel Prensipler (Çelik).....	12
Şekil 5 a. Adveksiyon b. Dispersiyon (Tezcan, 2003-2004 Güz Dönemi) ..	13
Şekil 6. a. Adveksiyon Denklemi b. Difüzyon Denklemi (Elçi).....	13
Şekil 7. Kirletici Kütle Dengesi	14
Şekil 8. Doğal Sistemlerde Yenilenme Süreleri.....	15
Şekil 9. Çözünmüş Oksijen Miktarının Sıcaklık ve Tuzluluk ile Değişimi...	17
Şekil 10. Sudaki Çözünmüş Oksijen Kaynakları	18
Şekil 11. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Eğrisi	20
Şekil 12. Azotlu Bileşik Grupları.....	21
Şekil 13. Azot Döngüsü	22
Şekil 14. Fosforlu Bileşikler Grupları.....	24
Şekil 15. Fosfor Döngüsü (URL-2).....	25
Şekil 16. Streeter&Phelps Denklemi.....	29
Şekil 17. Su Kalitesi Modelinin Gelişimindeki Dört Süreç	30
Şekil 18. Su Kütleli Kesitlerine Göre Modelleme Boyutları.....	34
Şekil 19. Model Karmaşıklık Seviyesi.....	44

Şekil 20. Belirsizlik (model hatası ve hassaslık) ve Model Kullanımının Model Karmaşıklığına göre Değişimi	46
Şekil 21. İyi Modelleme Uygulaması El Kitabı'na Göre Modelleme Aşamaları	49
Şekil 22. Akarsu Bölümü ve Bileşenleri	53
Şekil 23. SİSMOD Su Kalitesi Parametreleri Alt Modelleri	55
Şekil 24. Akım Rejimi Karşılaştırması (James L. Martin, 1999)	56
Şekil 25. Sabit Taşlara Yapışık Yaşayan Algler	58
Şekil 26. Alaşehir Çayı Alt Havzası Yer Bulduru Haritası.....	62
Şekil 27. Çalışma Kapsamında Belirlenen Model Sınır Alanı.....	73
Şekil 28. Kasım Dönemi için Oluşturulan Model Ağı.....	75
Şekil 29. Model Sınır Alanındaki Ölçüm Noktaları	80
Şekil 31. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)	85
Şekil 32. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Amonyum Azotu Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)	86
Şekil 33. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Nitrat Azotu Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)	87
Şekil 34. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Organik Azot Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)	88
Şekil 35. Alaşehir Çayı (Gediz Nehri'ne Karışımı Öncesi) Mansabı Derişimlerin Aylık Değişimi.....	89
Şekil 36. Alaşehir Çayı Alt Havzası Çıkışı Derişimlerin Aylık Değişimi.....	90

Şekil 37. Yağışlı Dönem Senaryo Durumu ve Mevcut Durum Karşılaştırması	94
Şekil 38. Kurak Dönem Senaryo Durumu ve Mevcut Durum Karşılaştırması	95
Şekil 39. Alaşehir Çayı Alt Havzası Çıkışı Senaryo Modeline Göre Derişimlerin Aylık Değişimi	95

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1. Yerüstü Su Kalitesini Etkileyen Süreçler	11
Çizelge 2. Yaygın Olarak Kullanılan Akarsu Kalitesi Modelleme Programları	40
Çizelge 3. SİSMOD Programının Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	51
Çizelge 4. Alaşehir Çayı Alt Havzası Model Sınır Koşullarında Yer Alan Yerleşim Yerleri Nüfus Bilgileri.....	61
Çizelge 5. Alaşehir Çayı Alt Havzası Aylık Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)	63
Çizelge 6. Alaşehir Çayı Alt Havzası Yağış Değerleri (mm)	64
Çizelge 7. Alaşehir Çayı Alt Havzası Model Sınırlarında Yer Alan Yerleşim Yerleri ve Deşarj Türleri	64
Çizelge 8. Alaşehir Çayı Alt Havzası İşletmedeki Atıksu Arıtma Tesis Bilgisi	66
Çizelge 9. Alaşehir Çayı Alt Havzası İnşaat Halinde Olan Arıtma Tesis Bilgileri	66
Çizelge 10. Alaşehir Çayı Alt Havzası Planlanan Arıtma Tesis Bilgileri.....	66
Çizelge 11. Alaşehir Çayı Alt Havzası Model Sınır Koşullarında Yer Alan Endüstriyel Tesisler.....	67
Çizelge 12. Su Kalitesi Modeli İhtiyaç Duyulan Veri Listesi.....	70
Çizelge 13. Model için Oluşturulan Bölümlere İlişkin Bilgiler.....	76
Çizelge 14. Kalibrasyon Noktalarının Özellikleri.....	80
Çizelge 15. Kinetik Katsayıların Kalibrasyon Değerleri	81
Çizelge 16. Kalibrasyon Dönemi Ortalama Model Performans Göstergeleri	83

Çizelge 17. Noktasal Yüklere İlişkin Senaryo Koşulu.....	92
Çizelge 18. Çözünmüş Oksijen Mevcut Durum Senaryo Durumu Karşılaştırması.....	96

ÖZET

Bu çalışmanın maksadı, Türkiye’de geliştirilmiş ve akarsulara uygulanabilir BaSİt AkarSu MODelleme Programı (SİSMOD) ile seçilen havzada akarsu kalitesi modeli kurularak, modelin uygunluğunun değerlendirilmesidir.

Bu amaç kapsamında, su kalitesini etkileyen süreçler incelenmiş olup, literatür taraması yapılarak bu süreçlerin öne çıktığı durumlar tartışılmıştır. Bununla birlikte, literatür araştırması ile kullanılan modeller ve özellikleri incelenmiş, modelleme programı seçiminde göz önünde bulundurulması gereken hususlar hakkında bilgi verilmiştir.

Gediz Havzası’nın önemli bir kolu olan Alaşehir Çayı Alt Havzası’nda yer alan akarsu kütlelerinin kalitesinin değerlendirilmesi maksadıyla çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, amonyum azotu, nitrat azotu ve organik azot değişkenleri SİSMOD ile modellenmiştir. Kasım, Şubat, Mayıs ve Ağustos dönemleri için kurulan model, Mayıs dönemi için kalibrasyon edilmiş, diğer dönemlere de uygulanarak kurulan modelin doğrulaması yapılmıştır.

Su kalitesi değerlerinin iyileştirilmesi maksadıyla senaryo modeli oluşturulmuştur. Havzada yayılı yüklerde %50 oranında ve planlanan atıksu arıtma tesisleri ile noktasal yüklerdeki azalım varsayımı ile senaryo modeli oluşturulmuş ve dört dönem için modellenerek iyileşmeler ortaya konulmuştur. Mevcut durum ve senaryo durumunda havzadaki su kütleleri 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yürüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 2’de verilen su kalitesi sınıf kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Mevcut durumda çözünmüş oksijen parametresi bazında havza su kütlelerinin %64’ü IV. sınıf iken senaryo durumunda bu değer %43’lere düşmektedir. Kurak dönemde, III. sınıf su kütlesi oranı %25’den senaryo modeli ile %45’e yükselmektedir. Yağışlı dönemde de çözünmüş oksijen parametresi bazında iyileşme olmasına karşın, havza sınır koşullarındaki su kütlelerinin %55’i IV. sınıf olmaktadır.

Havzanın genel değerlendirmesine bakıldığında ise mevcut durumda BOİ parametresine göre su kütlelerinin %48’i III. sınıf iken, senaryo modeli ile %46

oranında II. sınıf su kütlesine yükselmiştir. TKN parametresi bazında da su kütlelerinin %58'i IV. sınıf iken %65 oranında III. sınıf su kütlesine yükseldiği görülmüştür.

Bunların yanı sıra, çalışma kapsamında Hollanda tarafından geliştirilen İyi Model Uygulaması El Kitabı da incelenmiş olup yapılan model çalışması bu kitapçığa uygun bir şekilde hazırlanarak, modelin tekrar kullanılabilirliğinin sağlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışma ile SİSMOD'un akarsu kalitesi modellemesinde kullanılabileceği sonucuna varılmış, Alaşehir Çayı Alt Havzası uygulamasında ise çözünmüş oksijen seviyesinin yeterince iyileşmemesi nedeniyle planlanan önlemlerin yanı sıra yeni önlemlerin de planlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, modelleme, senaryo, iyi model uygulaması, Alaşehir Çayı, SİSMOD

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the appropriateness of the model by constructing a water quality model in the selected river basin with Simple Stream Modeling Program (SISMOD), which was developed in Turkey and applicable to streams.

Within the scope of this aim, the processes affecting water quality have been examined and the cases where these processes have come to the fore have been discussed by literature review. Furthermore, the models and features used in the literature search were examined and information about the aspects to be taken into consideration in the selection of the modeling program was given.

In order to evaluate the quality of the water bodies in the Alasehir Stream Sub Basin, an important branch of the Gediz Basin, water quality variables such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, ammonium nitrate, nitrate nitrogen and organic nitrogen were modeled with SISMOD. The model established for November, February, May and August periods was calibrated for the May period and validated for the other periods.

Scenario model was created to improve water quality values. The scenario model was created with the assumption of 50% reduction in diffuse loads and with the planned wastewater treatment plants reduction in point loads. Scenario model was run for four periods. In the present situation and scenario situation, the water bodies in the basin are evaluated according to the water criteria given in Table 1 of the Water Pollution Control Regulation, which was published in the Official Gazette dated 31.12.2004 and numbered 25687.

For the present situation, based on dissolved oxygen, water bodies remaining on the model boundary are IV. class with the rates of 64%. In the scenario model, IV. class rates decreased to rates of 43%. For the dry period, III. class water bodies ratio is 25% and with the scenario model, it increased to ratios of 45%. For the rain period, even though some levels of recovery occurs for the dissolved oxygen, 55% of water bodies still remain IV. class.

According to the general evaluation of the basin, 48% of the water bodies in the present case, according to the BOD parameter III. class. In the scenario model, 46% of the water bodies rises to II. Class water body. Based on the TKN parameter, 58% of the water bodies are IV. class. For the scenario situation, water bodies are III. Class with the ratio of 65% of water bodies.

In addition to this, the Good Model Practice Handbook developed by the Dutch was also examined in the scope of the study and it was aimed to prepare the model studies in accordance with this handbook and to ensure the reusability of the model.

With this study, it was concluded that SISMOD could be used in river quality modeling. In the application of Alaşehir Creek Sub Basin; since dissolved oxygen level did not improve sufficiently, it was concluded that new measures should be taken together with the planned measures

Key Words : Water quality, modelling, scenario, good modelling practice, Alaşehir Creek, SISMOD

1. GİRİŞ

Su, tamamen ikame edilemeyen bir kaynak olarak yaşayan bütün canlılar için en önemli doğal kaynaklardan biridir. Diğer bir ifadeyle su; hayatın ve canlıların kaynağıdır. Su kaynaklarının doğa içinde konum ve zamana bağımlı olarak miktar ve nitelik olarak kısıtlı yapıda olmasının yanında bu kaynağın hayat standardını ve ekonomik yapıyı doğrudan etkileyen çok değerli bir girdi olarak görülmesi, kaynak kullanımına yönelik talebi devamlı olarak arttırmaktadır. (Meriç, 2004)

Artan talebin sürdürülebilir bir şekilde sağlanması için entegre su yönetimi önem kazanmaktadır. Avrupa Birliği tarafından, üye ülkeler arasında entegre su yönetimine bir çerçeve oluşturmak maksadı ile Su Çerçeve Direktifi (SÇD; 2000/60/EC), 22 Kasım 2000 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Direktif genel olarak, suyun korunması ve savunulması gereken bir kamu kaynağı olduğu düşüncesini temel almaktadır. Üye ülke sınırlarındaki tüm suların uzun vadede iyi ekolojik ve iyi kimyasal duruma ulaşmış olmasını hedeflemektedir. Direktif kapsamında havza bazında yönetim temel alındığı için tüm yeraltı, yerüstü ve kıyı suları bu direktifin yaptırımlarından etkilenmektedir.

Suyun havza bazında yönetimi disiplinler arası bir anlayış olup doğa bilimleri (hidroloji, erozyon ve sediman taşınımı, peyzaj analizi, hidrojeoloji vb.) ile sosyal bilimlerin (sosyo-ekonomi, ekolojik ekonomi, davranışsal teori vb.) tüm bileşenlerini içermektedir. (Michael Rode, 2002) Su kütlelerinin su kalitesi durumunun değerlendirilmesi oldukça zor bir süreçtir. Pek çok nehir havzasında karşılaşılan veri sıkıntısı, havza bazında yönetim anlayışındaki zorlu sürecin büyük bir payına sahiptir. Su kalitesi değişkenlerinin trend analizinin yapılması ise uzun dönem veri gerektirmesi nedeni ile pek uygulanamamaktadır. (Lindenschmidt, 2006)

Havza bazında bütüncül yönetimin sağlanması amacıyla, sucul ortamdaki fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal süreçlerin incelenmesi, analizi ve kirletici madde miktarlarının önceden tespit edilmesine yarayan matematiksel modellerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. (Bulut, 2005) Su kalitesi modelleri su kaynaklarının ekolojik durumunun tanımlanmasında ve/veya belirli sınır ve başlangıç

koşulları değiştirildiğinde önceki ekolojik durumundaki değişikliğin tahmin edilmesinde kullanılabilir yararlı araçlardır. (Lindenschmidt, 2006)

1925 Streeter&Phelps'den beri ülkeler kendi ihtiyaçları doğrultusunda su kalitesi modelleme yazılımlarını oluşturmuş ve diğer ülkelere de modellerini kullanma olanağı sağlayarak hem pek çok uygulama ile model testlerini yaptırmışlar hem de farklı ülkelerde de kullanımlarını yaygınlaştırmışlardır. Bir modelin uygulanması aşamasında, su kalitesi hesabı yapılırken kabul edilen durumların ortaya konulması ve model kodlarına ulaşılabilmesi kullanıcıya hem daha sağlıklı çalışmalar yapmasını sağlamakta hem de durum çalışmasına göre model kodlarına müdahale edebilme imkânı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, literatürde yer alan su kalitesi modellerinin incelenmesi ve Türkiye'de geliştirilen SİSMOD ile Gediz Havzası'nın önemli bir bileşeni olan Alaşehir Çayı Alt Havzası akarsularının modellenerek su kalitesinin değerlendirilmesidir. Çalışma ile hem SİSMOD programının kullanılabilirliği test edilmiş hem de havzanın mevcut durumda ve senaryo durumundaki su kalitesi değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, Hollanda tarafından geliştirilen 'İyi Model Uygulaması' el kitabı incelenmiş ve bu tez kapsamında uygulaması gerçekleştirilen modelin, tekrar kullanılabilirliğine imkân verecek şekilde raporlanması gerçekleştirilmiştir.

2. ULUSAL VE AVRUPA BİRLİĞİ MEVZUATINDA MODELLEME

2.1 Ulusal Mevzuat ve Modelleme

30 Kasım 2012 tarih ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren *Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği*’nin amacı, yerüstü sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirlere yönelik usul ve esasların belirlenmesidir.

Yönetmelik Madde 9’da yerüstü su kütlelerinde çevresel hedeflerin Ek 2’deki sınıflandırmaya uygun olarak belirleneceği ifade edilmektedir. Bu kapsamda belirlenen Çevresel Hedeflere ulaşılamama ihtimalinin olduğu durumlarda ise modelleme teknikleri kullanılarak ilgili kurum ve kuruluşlarla yapılacak ortak çalışma neticesinde, daha ulaşılabilir hedeflerin belirlenebileceği söylenmektedir.

Bunun yanı sıra, yönetmelik gereğince su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla altı yıllık dönemler için tedbirler programının hazırlanması gerekmektedir. Anılan yönetmelik Madde 16’ya göre tedbirler programı hazırlanırken izleme programları sonucunda elde edilen veriler ve bu verilerle birlikte ihtiyaç duyulması halinde modellerin de kullanımı önerilmektedir.

Ayrıca yerüstü alıcı su ortamına yapılan deşarjlarda, deşarj noktasından başlayarak karışım bölgelerinin belirlenmesinde Yönetmelik Ek 7’de modelleme veya basit yöntemler önerilmektedir.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği dışında Ulusal Mevzuatta su kalitesi modellerinden doğrudan bahsedilmemektedir. Ancak 17 Ekim 2012 tarih ve 28444 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren *Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmeliği*’nde bütüncül değerlendirme gerektiği vurgulanmaktadır. Yönetmeliğin amacı, yerüstü suları ve yeraltı sularının bütüncül bir yaklaşımla miktar, fiziksel, kimyasal ve ekolojik kalite açısından

korunması ve su havzaları yönetim planlarının hazırlanmasına ilişkin usul ve esasların düzenlenmesidir.

Yönetmelik kapsamında modellerin kullanılması doğrudan bahsedilmemiş olmasına karşın Madde 12.1’de ‘Çevresel Hedefler, iyi su durumuna ulaşmak ve bu durumu korumak maksadıyla sosyal ve ekonomik boyutlar, iklim değişikliği, kuraklık ve taşkın gibi havzanın bütün etkenlerinin bütüncül değerlendirilmesi ile oluşturulur’ denmektedir. Bütüncül değerlendirme de su kalitesi ve ekolojik modellerle sağlanabilmektedir.

Ayrıca anılan Yönetmelik Ek 2 Havza Yönetim Planlarının Hazırlanmasında Uyulacak Esaslar kapsamında, Havza Yönetim Planlarında bulunması gereken unsurlar arasında; suyun miktar ve kalitesi üzerindeki baskıların değerlendirilmesi ile su durumu üzerinde insani faaliyetlerin, iklim değişikliği gibi diğer etkilerin analizi yer almaktadır. Bunların da ortaya konabilmesi için modelleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2 Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Modelleme

SÇD’nin maksadı suyun uzun vadeli korunması, gelecekte olması muhtemel kalite sorunlarının önlenmesi, ekosistemlerin (sucul, karasal ve sulak alan) durumunun korunması veya iyileştirilmesi; sürdürülebilir su kullanımını teşvik etmek, kirletici yüklerinin azaltılmasını sağlamak, taşkın ve kuraklıkların etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktır.

Modellemenin bir araç olarak kullanılmasının SÇD’nin pek çok maddesinde ve eklerinde dolaylı olarak önerilmesinin yanı sıra modellerin geliştirilmesi gerektiğinin doğrudan ifade edildiği maddeleri de bulunmaktadır.

Direktifte ekolojik modellerin kullanımını, su kütlelerinde ‘Türe Özgü Referans Durum Kriteri’nin oluşturulmasında önerilmektedir. Referans şart durumu sanayileşme, kentleşme ve yoğun tarımdan kaynaklanan baskılara düşük derecede maruz kalmış; fizikokimyasal, hidromorfolojik ve biyolojik değişimlerin düşük seviyelerde olduğu mevcut veya geçmişteki durumdur. Direktif Ek-2’de referans şart durumu arazide izleme sonuçları kullanılarak, modelleme çalışmaları veya bunların

kombinasyonu ile belirlenmesi önerilmektedir. Bu yöntemlerin uygulanamaması durumunda ise uzman görüşleri ile belirlenmesi önerilmektedir.

Direktif bir su kütlesi için ekolojik durum (Nehir, göl, geçiş ve kıyı suları için) ekolojik potansiyel (büyük oranda değiştirilmiş veya yapay su kütleleri) ve kimyasal durum (bütün yer üstü su kütleleri için) olmak üzere 3 çeşit hedef ortaya koymaktadır. Bu hedeflere ulaşılabilirliğinin incelenmesi için su kütlelerinin izleme verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Su kütlelerinde yer alan izleme sistemleri su kalitesi ile ilgili veri toplayabilir. Ancak izleme sistemleri maliyetli olması nedeni ile istenilen ölçekte ve zamanda veriyi ortaya koyamamaktadır.

Bununla birlikte, mümkün oldukça birbirinden bağımsız ve hidrolojik açıdan bir bütünlük içinde olan sistemler temelinde yani havzalar bazında yönetim yaklaşımını öngören SÇD, Nehir Havzası Yönetim Planlarının hazırlanmasını istemektedir. Nehir Havza Yönetim Planlarının maksadı su kaynaklarının ve bunlarla ilintili diğer doğal kaynakların, yaşamsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğini gözeterek, sosyal ve ekonomik refahı arttıracak biçimde, hakça kullanımının koordinasyonu ve planlamasının sağlanmasıdır. Entegre Havza Yönetiminde, havzadaki sistemlerin bileşenleri, bu bileşenlerin davranışını belirleyen değişkenler ve bunlardaki değişimlere sistemin verdiği yanıtlar belirlenmektedir.

Nehir Havza Yönetim Planlarının etkin bir şekilde hazırlanabilmesi için ise su kütlelerinin kirliliğinde baskın olan faktörlerin zamansal ve mekânsal dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca gelecek için öngörüler yapılmakta ve havzayı karakterize eden sistemler arasındaki kavramsal ilişki ortaya konmaktadır.

Direktifin 5. maddesinde her bir nehir havzası için baskı ve etki analizinin yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Bu analiz kapsamında, havza karakteristiklerini ortaya koymakla beraber, yer üstü ve yer altı sularına antropojenik (noktasal yükler, yayılı yükler, akış rejimindeki değişiklikler, morfolojik değişiklikler) etkileri gözden geçirmeli ve su kullanımının ekonomik analizini içermelidir.

Direktifte yer alan bu maddeler sonucunda, su yönetiminde modellerin kullanılarak bazı kararların alınması gerektiği görülmektedir. Havzalardaki durumu ortaya koyan modellerin oluşturulması ile havza bazında bütüncül değerlendirme

yapılmakta ve baskıların sonucunda su kütlelerindeki etkinin ortaya konması için daha çok veri üretilmiş olmaktadır.

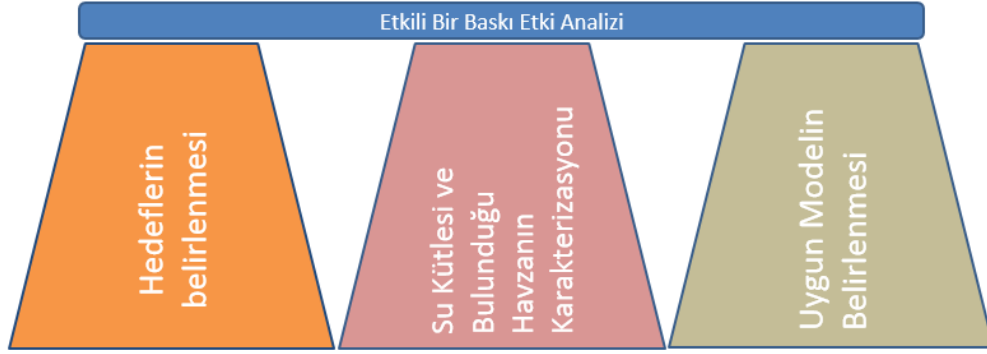
SÇD'nin yanı sıra, AB üye ülkeleri tarafından direktifin uygulanması amacıyla 'Ortak Uygulama Stratejisi' geliştirilmiştir. Bu strateji çerçevesinde direktifin tüm üye ülkelerde düzenli bir şekilde uygulanabilmesi için Rehber Dokümanlar yayınlanmıştır. Bu dokümanların pek çoğunda da SÇD'yi destekleyici nitelikte modellemenin bir araç olarak kullanılması önerilmektedir. Hatta bazı dokümanlarda örnek modelleme çalışmaları da yer almaktadır.

Bir Numaralı Rehber Doküman'da (Ekonomi ve Çevre) fayda maliyet analizinin desteklenmesi ve suyun boşluk analizinin yapılması için simülasyon modellerinin kullanımını önermektedir. Bununla birlikte, dokümanda modellerin dikkatli kullanılması konusunda uyarılar bulunmaktadır. Model varsayımlarının, model oluşturulurken ve kalibrasyonu yapılırken kullanılan bilgilerin ve model tahminindeki belirsizliklerin kullanıcı tarafından çok iyi anlaşılması gerektiğini belirtmektedir. Bununla birlikte, paydaşlarla etkileşim halinde geliştirilmiş bir model, yönetim kararını destekleme maksadıyla yapılan analiz, anlama ve tartışma için etkili platformlar sağlamaktadır. (European Commission, 2003)

Üç Numaralı Rehber Doküman (Baskı ve Etkilerin Analizi) kapsamında baskı-etki analizinin etkili bir şekilde yapılması amacıyla DPSIR (Sürücü Güç – Baskı – Durum – Etki- Tepki) Analitik Çerçevenin gerekliliğini öne çıkarılmaktadır. (Angel Borja, 2006) Avrupa Çevre Ajansı tarafından da önerilen DPSIR'da yer alan terimlerden; **Sürücü Güç** çevresel bir etkiye sebep olan aktiviteyi, **Baskı** sürücü gücün doğrudan etkisini, **Durum** su kütlesinin fiziksel kimyasal ve biyolojik durumunu, **Etki** baskının çevresel etmenlerini ve **Tepki** ise su kütlesinin durumunu iyileştirmek için alınması gereken önlemleri ifade etmektedir.

Üç Numaralı Rehber Dokümanda uygun ve başarılı bir etki analizi için vurgulanan üç önemli koşul Şekil 1'de verilmektedir. Modelleme, etkilerin tahmin edilmesinde kullanılması gereken bir araçtır. Rehber dokümana göre basit ve gerçekçi model yaklaşımları; nehir, göl, kıyı ve yeraltı suları olmak üzere farklı su kütle türleri için uygulanabilmektedir. Modellerin doğru uygulanması ile nehir boyunca su

kalitesinin ortaya konduğu ifade edilmektedir. Basit yaklaşımların yanı sıra karmaşık modellerin de kullanılabileceğini belirten doküman, karmaşık modellerin basit modellerden her zaman daha doğru sonuç vereceği anlamına gelmediğini vurgulamaktadır.



Şekil 1. Uygun Matematiksel Modelin Geliştirilmesi ve Uygulanması İçin Ön Koşullar
(Marcello Benedini, 2013)

Bunların yanı sıra, On Bir Numaralı Rehber Doküman'da (Planlama Süreci), bütün planlama döngüsüne genel bir değerlendirme yapılmakta ve başarılı bir uygulama için öneriler verilmektedir. Doküman, Direktifin model destekli uygulanmasını öne çıkarmaktadır. Özellikle de Entegre Nehir Havzası Yönetiminde ve iyileştirme önlemlerinin planlanmasında modellerin su yöneticilerine yol gösterdiğinden bahsetmektedir. Dokümana göre modeller, bir su kaynağı sisteminin çeşitli kontrol yapıları ile kullanıcıları arasındaki önemli bağımlılıkları ve etkileşimleri düzenli bir biçimde temsil etmektedir. Ayrıca modeller çelişkili gruplar, değerler ve yönetim hedefleri (mühendislik yapıları seçenekleri, işletme ve tahsis politikaları ve analizde yapılan farklı varsayımlar gibi) arasında çeşitli olası uzlaşmaları temsil eden sayısız alternatifin tanımlanması ve değerlendirilmesine fiziksel ve ekonomik bağlamlarda izin vermektedir. (European Commission, 2003)

2.3 Su Çerçeve Direktifinin Model Destekli Uygulaması

SÇD sucul ekosistemleri korumak ve iyi su durumuna ulaşmak için çevresel, ekolojik ve miktar hedeflerini kalite ile birlikte değerlendirmektedir. Su kaynaklarının (nehir su kütleleri, yer altı su kütleleri, göller vb.) bütüncül yönetimini benimsemektedir. Disiplinler, analizler ve uzmanlıkların (hidroloji, hidrolik, ekoloji,

kimya, toprak bilimleri, ormancılık, teknoloji, mühendislik ve ekonomi) bütünlleştirilmesi gerektiğine değinilmektedir.

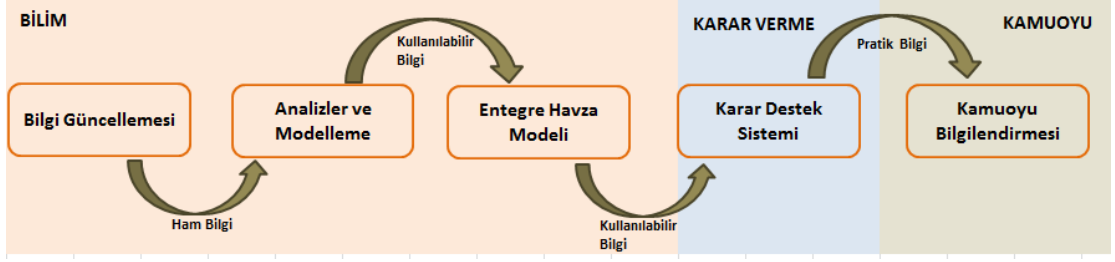
Su kaynakları modellerinin günümüzde en önemli kullanım amacı planlayıcılar ve yöneticilerin bilgi ihtiyaçlarını belirttikleri bir iletişim aracı olarak kullanımınıdır. Direktif, modelcilerin bu bilgileri alıp model senaryolarını ve model sonuçlarını paydaşlarla paylaşarak, bu süreci bir döngü şeklinde devam ettirmesini önermektedir. Su yöneticileri ve modelciler model çalışmasının henüz ilk aşamalarında işbirliğine başlaması daha verimli sonuçlar üretilmesini sağlamaktadır.

Paydaşların modelin kurulma aşamasına dâhil edilmeleri hem işbirliği hissi uyandırmakta hem de çalışmadan etkilenecek tarafların niyet, endişe ve önceliklerinin daha iyi anlaşılmasına imkân vermektedir. Karar verme aracı olarak kullanılan modellerin başarılı olarak nitelendirilmesi için su yöneticileri, modelciler ve paydaşlar arasında iyi bir iletişim olması büyük önem taşımaktadır. Bu işbirliği yöneticilerin paydaşların ve modelcilerin de su yöneticilerinin ihtiyaçlarına cevap vermelerini sağlayacaktır.

Nehir Havza Yönetim Planlaması sürecinde karar vericilerin iş akışına ve paydaşların sürece dâhil olmasına yardımcı olacak şekilde tasarlanmış; çevresel, sosyal ve ekonomik unsurların da entegre olduğu bir Karar Destek Sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Karar Destek Sistemi karar verici yazılımlar değildir. Yalnızca su ile ilgili karar vericilere destek olacak bir sistemdir. Karar Destek Sistemi iki önemli analizi yapmaktadır; (Doğa Koruma Merkezi)

- ✓ Uygulama kararlarının farklı sektör ve paydaşlar için ortaya çıkartacağı sonuçların öngörülmesi ve
- ✓ Farklı senaryolar kullanılarak, suyun verimli ve ekonomik kullanımı, çevresel ve ekolojik sürdürülebilirlik, suyun hakça paylaşımı ilkelerine uygun biçimde kullanım miktarları ve bunların sektörler arasında tahsisinin optimizasyonudur.



Şekil 2. Entegre Havza Yönetiminde Karar Destek Sistemlerinin Önemi

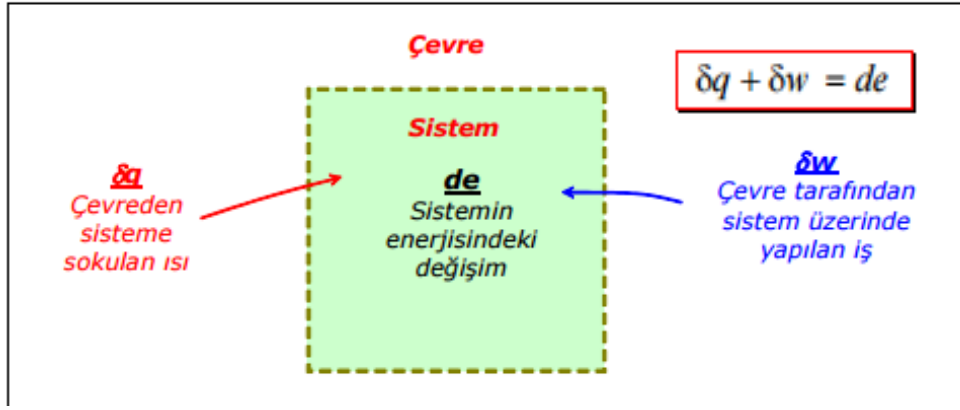
SÇD'nin temel hedefi kimyasal ve ekolojik açıdan iyi su durumuna ulaşmaktır. Yapılan modelleme çalışmaları ile ham bilgi (izleme sonuçları) kullanılabilir bilgi haline gelmektedir. Ancak modeller sonucunda bir karar verilmezse ve verilen bu karar ile ilgili kamuoyu bilgilendirilmez ise kullanılabilir bilgi pratik bilgiye dönüşmemekte ve kamuoyu bilgilendirilmediği için elde edilen matematiksel sonuçlardan bir yarar sağlanamamaktadır.

Su yönetiminde birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesini isteyen SÇD'nin uygulanması sürecini desteklemek için bilgisayar sistemleri de su yönetiminin bir parçası olmalıdır. Havza bazında bütüncül yönetim anlayışını benimseyen direktifin hedeflerinin sağlanabilmesi için bütüncül bir değerlendirme gerekmektedir. Bütüncül değerlendirmeler için de uygun olan modeller seçilmeli ve uygulanmalıdır.

3. AKARSU KALİTESİ

3.1 Akarsu Kalitesini Etkileyen Süreçler

Yerüstü su kalitesi modelleri, kirleticilere ilişkin denklemleri enerjinin korunumu, kütlelerin korunumu ve momentumun korunumu olmak üzere üç temel yaklaşımla çözüm yapmaktadır. Momentumun korunumu bir sistemdeki çarpışan parçacıkların kuvvetlerinin korunumudur. Yani sisteme etki eden net kuvvet sıfırdır ve böylece sistemin momentumu korunmuş olmaktadır. Enerjinin korunumu, enerjinin (ısı enerjisi cinsinden denkliği) yoktan var edilememesi üzerinedir enerji yalnızca form değiştirmektedir.



Şekil 3. Termodinamiğin Birinci Kanunu (Enerjinin Korunumu)

Kütlenin korunumu (konsantrasyon cinsinden) ise fiziğin temel kanunlarından biridir ve proses bazında herhangi bir prosese giren tüm maddelerin toplam girişi procesten çıkan, proste biriken ve dönüşen maddelerin toplamına eşit olduğunu tanımlar. Giriş ve çıkış terimleri taşınım terimleridir ve modellenen sistemin fiziksel karakteristiğine bağlıdır. Reaksiyon terimi ise modellemesi yapılacak sistemin sınır koşulları içerisinde gerçekleşen ve üretim veya tüketim ile sonuçlanan proseslerdir.

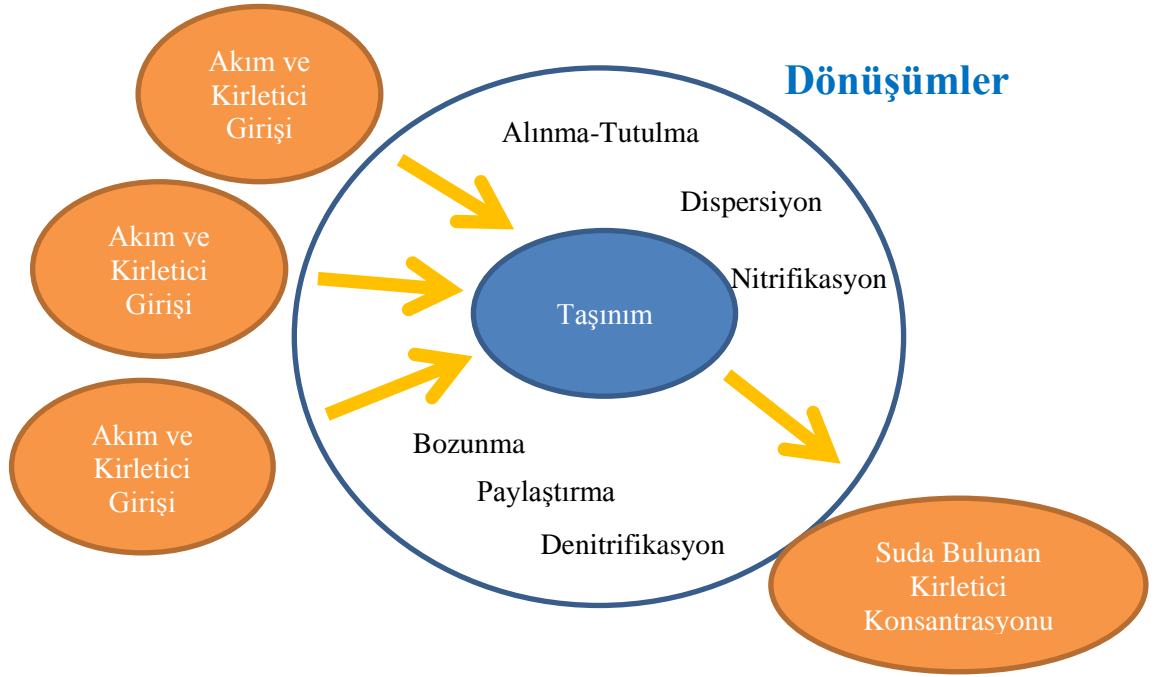
Korunum temelli yaklaşımlarda kirletici dağılımı ve seviyesini etkileyen süreçler de yer almaktadır. Su ortamına girmiş bir kirletici kütlelerin korunumu denkleminde de görüldüğü gibi taşınım, karışım ve reaksiyon (korunan bir kirletici değil ise) olmak üzere 3 dinamik olaya maruz kalmaktadır. Yerüstü su kalitesini etkileyen süreçler Çizelge 1’de verilmektedir. (Ballance, 1996)

Çizelge 1. Yerüstü Su Kalitesini Etkileyen Süreçler

Proses Türü	Su Kalitesini Etkileyen Temel Prosesler
Hidrolojik	Seyrelme
	Buharlaşma
	Askıda kalma/çökme
Fiziksel	Atmosferle gaz değişimi
	Uçuculuk
	Adsorpsiyon/desorpsiyon
	Isınma/Soğuma
Kimyasal	Difüzyon
	Işıl bozunma
	Asit baz reaksiyonları
	Redoks reaksiyonları
	Partiküllerin çözünmesi
	Minerallerin çökmesi
Biyolojik	İyon değişimi
	Birincil Üretim
	Mikrobik ölüm ve büyüme
	Organik madde ayrışması
	Biyobirikim

Matematiksel modellerde genellikle dikkate alınan süreçler ise;

- Adveksiyon, dispersiyon, çökme (madde taşınımı)
- Çözünme / çökme
- Kimyasal bozunma/dönüşüm, asit-baz tepkimeleri, redoks tepkimeleri (oksidasyon), kompleks oluşturma
- Fotokimyasal bozunma
- Biyolojik bozunma
- Adsorpsiyon / absorpsiyon (toprağa veya sedimana tutunma)
- Havalandırma
- Volatilizasyon (Uçma)
- Difüzyon

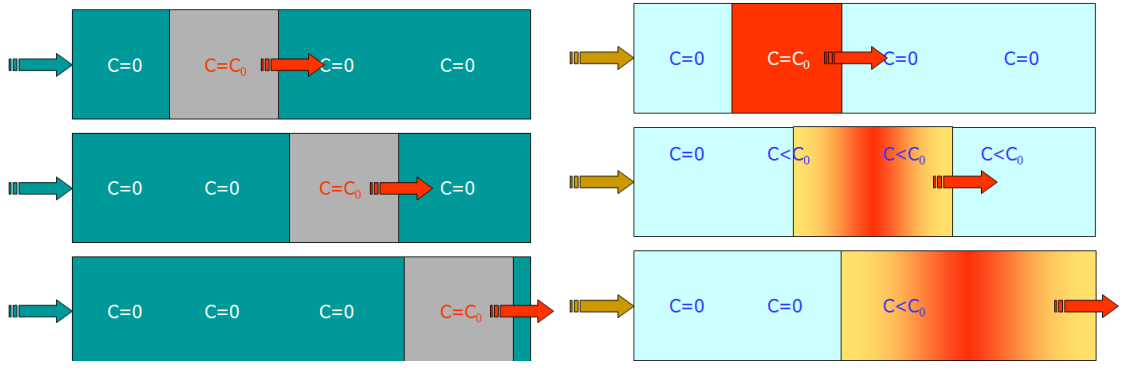


Şekil 4. Su Kaynaklarındaki Temel Prensipler (Çelik)

Biyolojik aktivite ve taşınım süreçleri matematiksel modellemelerde kullanılan süreçlerdir. Su sistemlerinde taşınım, adveksiyon, dispersiyon ve difüzyon şeklinde olmaktadır.

Adveksiyon (Öteleme), tek yönlü ve taşınan maddenin niteliğini değiştirmeyen akımdan kaynaklanmaktadır. Adveksiyon maddeyi akımla birlikte bozunmadan ve dağılmadan bir mesafeden diğer mesafeye taşımaktadır. (Elçi)

Difüzyon (Yayılma), durgun ve akıntı olmayan bir ortamda rastgele suyun hareketi veya karışımından dolayı kütlelerin taşınımıdır. Mikroskobik ölçekte *moleküler difüzyon* su moleküllerinin rastgele Brownian hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Rastgele hareketin benzer bir çeşidi daha büyük ölçekte girdaplardan oluşur ve *türbülans difüzyon* olarak adlandırılır. (Chapra, 1997) Yayılma (difüzyon) bir zaman aralığı içinde iki yöne birden olabilmektedir.



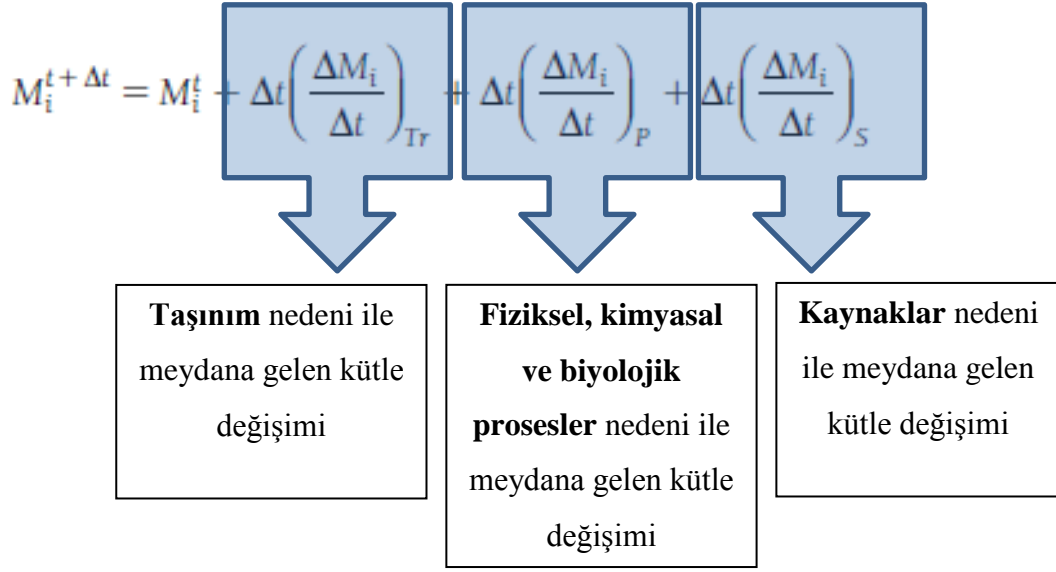
Şekil 5 a. Adveksiyon b. Dispersiyon (Tezcan, 2003-2004 Güz Dönemi)

Dispersiyon ise, birden fazla taşınım süreçlerinin kombinasyonudur. Moleküler difüzyon, türbülans, Eddy akımları ve hız gradyan etkilerinin bir araya gelmesi sonucu meydana gelen bir karışma ve seyrelme olayıdır. Genellikle nehirlerde türbülanslı akımlarda görülen Eddy akımları dikkate alınır. Dispersiyon; difüzyondan farklı süreçlerin sonucu olmakla birlikte, hem difüzyon hem de dispersiyon matematiksel olarak “difüzyon denklemleri” ile analiz edilmektedir. Bu denklemden, çift yönlü taşınımı temsil eden tek katsayı vardır ve bu katsayının sayısal büyüklüğü, fiziksel süreçlere göre değişkendir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} \quad q'_d = -D \cdot A \frac{dC}{dx}$$

Şekil 6. a. Adveksiyon Denklemi b. Difüzyon Denklemi (Elçi)

Tüm bu süreçler, bir kirleticinin su kaynağındaki miktarını ve hareketini etkilemektedir. Bu süreçlerin de dâhil olduğu su sistemindeki kirletici kütle denge denklemi Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 7. Kirlenici Kütle Dengesi

Bunlardan taşınım nedeni ile meydana gelen kütle değişikliği adveksiyon, dispersiyon ve difüzyonu kapsamaktadır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler ise, “su kalitesi kinetiği” ile ilgili olup nitrifikasyon, denitrifikasyon, bozunma, çökeltme, adsorpsiyon gibi reaksiyonlardır. Kaynaklar nedeni ile meydana gelen kütle değişimi ise evsel veya endüstriyel arıtma tesisi deşarjları veya arıtılmadan doğrudan yapılan deşarjları ile su çekimlerini kapsamaktadır. Yani modellenecek su kütlelerinin sınır koşulları içerisindeki kütle değişimlerini ifade etmektedir. (Loucks, van Beek, Stedinger, Dijkman, & Villars, 2005)

3.2 Akarsularda Kalitesini Etkileyen Parametreler

3.2.1 Doğal Süreçlerin Su Kalitesine Etkisi

Yağış, akış ve buharlaşma gibi temel unsurlar bir akarsuyun debisini etkilemesi nedeni ile akarsuyun kalitesini de doğrudan etkileyen faktörlerdir. Debinin yüksek olduğu dönemlerde kirlilik seyrelme nedeni ile azalmaktadır. Bazen de debinin çok yüksek olması dipte çökelmiş haldeki askıda katı maddelerin hareketlenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, sıcaklığın artması hem suda bulunan katı maddelerin çözünme hızını da etkilemekte hem de buharlaşmayı arttıracığından dip sedimentleri ve bulanıklaşmayı da artırmaktadır.

Su kaynaklarının hidrolojisi, aynı zamanda kirleticilerin suda yenilenme sürelerini de etkilemektedir. Dolayısı ile su kalitesinin değerlendirilmesinde hidrolojik veri önemlidir. Yenilenme süresi, bir su kütlelerinin kirleticiden arınma süresidir. Şekil 8’de farklı su kütleleri için değişiklik gösteren yenilenme süreleri verilmektedir. (Jamie Bartram, 1996)



Şekil 8. Doğal Sistemlerde Yenilenme Süreleri

3.2.2 Antropojenik Etkiler

İnsan etkili faktörler nehirlere doğrudan veya arıtıldıktan sonra deşarj edilen evsel ve endüstriyel atık sulardır. Bunların yanı sıra, tarımsal ve hayvancılık aktiviteleri de su kirliliğine sebep olmaktadır. Tarımda verimi arttırmak veya zararlı böcek ve mikroorganizmalardan kurtulmak için kullanılan gübre ve kimyasal ilaçlar (pestisit ve herbisit) suya karışarak kirlilik konsantrasyonlarını artırmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonucunda da yüzeysel akışla suya karışan kirleticiler su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Kirleticiler su ortamına giriş şekline göre noktasal ve yayılı olarak iki grupta incelenirler. Noktasal kaynaklı kirleticiler; evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları gibi alıcı ortama tek bir noktadan deşarj olan/edilen kirleticidir. Noktasal kirlilik kaynaklarına sanayiler, kanalizasyon sistemleri, madenler, katı atık düzenli depolama alanları, hayvansal gübre depolama alanları sayılabilir. Yayılı kaynaklar alıcı ortama

belli bir noktadan değil yayılı olarak giren kirleticilerdir. Yayılı kaynaklardan gelen kirleticiler;

- Yağış suları ve yıkama suları gibi yüzeysel akışı ile taşınanlar;
- Tarım ve orman alanlarından gelenler,
- Balık çiftlikleri ve balıkçılık faaliyetleri,
- Atmosferden su ve toprağa taşınan kirleticiler,
- Yerleşim alanlarından gelen kontrolsüz yağış suları,
- Düzensiz katı atık depolama alanları,
- Maden sahaları,
- Foseptiklerden yeraltı sularına karışan sızıntı suları sayılabilir.

3.2.3 Su Kalitesi Modellerinde Genellikle Kullanılan Değişkenler

Nehirlerde su kalitesinin ortaya konulması maksadıyla ortamdaki taşınımı temel olarak modellemesi yapılabilen değişkenler; (Elçi)

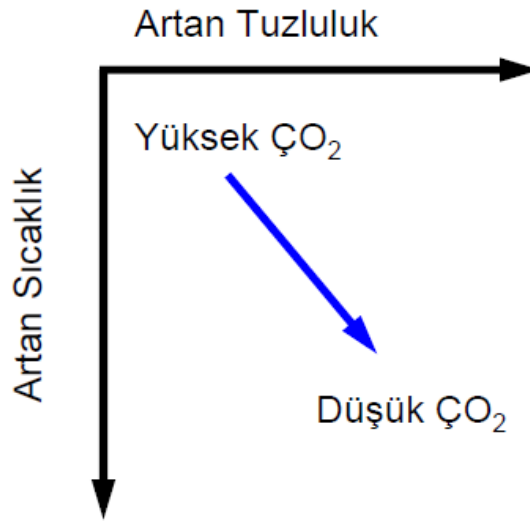
- Sıcaklık
- Çözünmüş oksijen
- Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
- Besin elemanları: azot ve fosfor bileşikleri
- Sedimanlar, askıda katı maddeler
- Patojenler; bakteri, protozoa ve virüsler
- Ağır metaller
- Pestisitler
- Uçucu organik bileşiklerdir.

Su kalitesinin belirlendiği modellerde, bunlardan en sık kullanılanları ÇO, BOİ ile azotlu ve fosforlu bileşiklerdir. Bunların yanı sıra sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değişkenleri de su içerisinde gerçekleşen olayları etkilemektedir. Dolayısı ile bu değişkenlerin doğru bir şekilde modellenebilmesi için sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değişkenlerinin de pek çok modelde girdi olarak girilmesi gerekmektedir.

3.2.3.1 Çözünmüş Oksijen

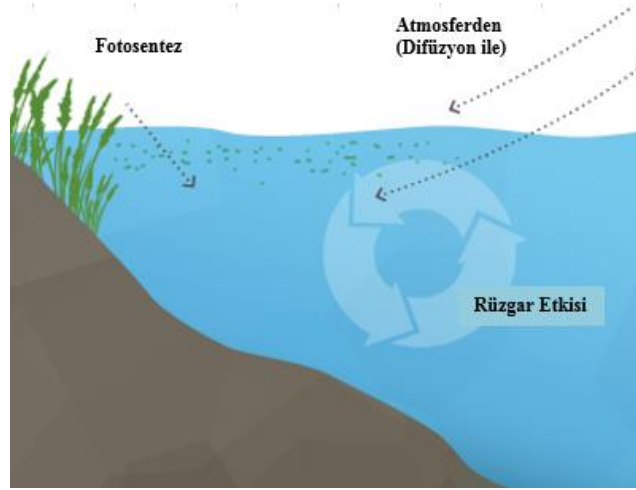
Çözünmüş oksijen, suda veya diğer sıvılarda bulunan serbest (bileşik yapıda olmayan) oksijen seviyesini belirtir. Bileşik olmayan oksijen veya serbest oksijen (O_2), başka herhangi bir elemente bağlı olmayan oksijendir. Çözünmüş oksijen su içindeki bu serbest O_2 moleküllerinin varlığıdır.

Su ortamlarında çözünmüş oksijen seviyesi, ortamın sıcaklığı ve tuzluluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcaklık, sucul ekosistemdeki canlı hayatı doğrudan etkilemektedir. Su ortamlarına yapılan deşarjlar sonucu suyun sıcaklığının artması, çözünmüş oksijen seviyesinin düşmesine ve buna bağlı olarak ekolojik yaşamın doğrudan etkilenmesine ve ötrofikasyon sorunun yaşanmasına neden olmaktadır. Su kütlesinin nehir olması durumunda ise suyun akım hızı da bu süreçleri doğrudan etkileyen bir parametre olmaktadır. (Zhen-Gang, 2008)



Şekil 9. Çözünmüş Oksijen Miktarının Sıcaklık ve Tuzluluk ile Değişimi

Su ortamında çözünmüş oksijen konsantrasyonunu etkileyen süreçler atmosferik havalanma, fotosentez ve solunum, organik maddenin oksidasyonu, inorganik maddenin oksidasyonu, sedimentin oksijen ihtiyacı ve nitrifikasyondur. (Çilek, 2005)



Şekil 10. Sudaki Çözünmüş Oksijen Kaynakları

Su içinde yaşayan organizmalar üzerindeki etkisi nedeniyle su kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir değişkendir. Çok yüksek veya çok düşük bir çözünmüş oksijen seviyesi, sudaki yaşama zarar vermekte ve su kalitesini etkilemektedir. Aşırı doymuş sucul ortamlarda, gaz kabarcıkları balıklarda ve makro-omurgasızlarda hastalıklara neden olmaktadır. Çözünmüş oksijen seviyesi %115-%120 doygunluğunu aşmaya başladığında ölüm oranları artmaktadır. Somon balığı ve alabalık için, %120 çözünmüş oksijen doygunluğu koşullarında yaklaşık üç gün içerisinde ölümlerine sebep olmaktadır. Makro-omurgasızlar balıklardan biraz daha dayanıklı olmasına karşın, gaz kabarcıkları nedeni ile hastalıklar onlarda da görülmektedir. (URL-1)

Sudaki çözünmüş oksijen seviyeleri 5 mg/L'nin altına düştüğü zaman sudaki yaşam stres altına girer. Derişim ne kadar düşük olursa stres de o kadar yüksek olur. Birkaç saat boyunca 1-2 mg/L'nin altında kalan oksijen seviyeleri, büyük balıkların ölmesine neden olabilmektedir. (URL-1)

3.2.3.2 Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

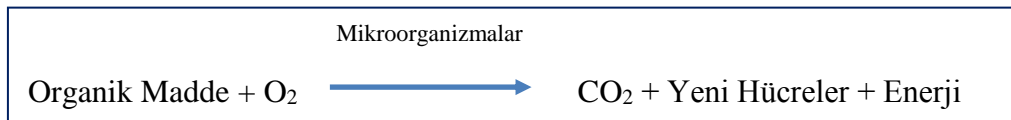
Organik maddeler suya deşarj edildikten sonra artık ortamdaki bakteriler için besin kaynağı olmaktadır. Bu organik maddeler zamanla daha az karışık organik maddelere parçalanırlar ve en sonunda karbondioksit ve su gibi basit bileşiklere dönüşürler. Eğer alıcı ortam deşarj öncesi kirlenmemişse, çözünmüş oksijen doygunluğu yüksek olur ve sudaki bakteriler aerobik türler olur. Yani bakterilerin

organik maddeleri parçalama süreci aerobik proses olarak gerçekleşmektedir. Aerobik koşullarda, bakteriler çoğalacak, atıkları ayrıştırarak ve bunu yaparken de çözünmüş oksijen kullanacaklardır. Eğer alıcı ortamda deşarj öncesi atık miktarı yeterince fazlaysa, bakteriyel oksijen kullanım hızı çözünmüş oksijenin atmosferden ve fotosentezden yenilenmesi hızından yüksek olacaktır ve sonunda suda anaerobik ortam oluşacaktır.

Anaerobik koşullarda da bakteriler organik maddeleri parçalamaya devam edeceklerdir. Ancak bu durumda ortaya çıkacak maddeler hidrojen sülfür gibi istenmeyen maddeler olacaktır. Çözünmüş oksijen seviyesi düştükçe balık ölümleri gibi diğler istenmeyen durumlara da sebep olacaktır.

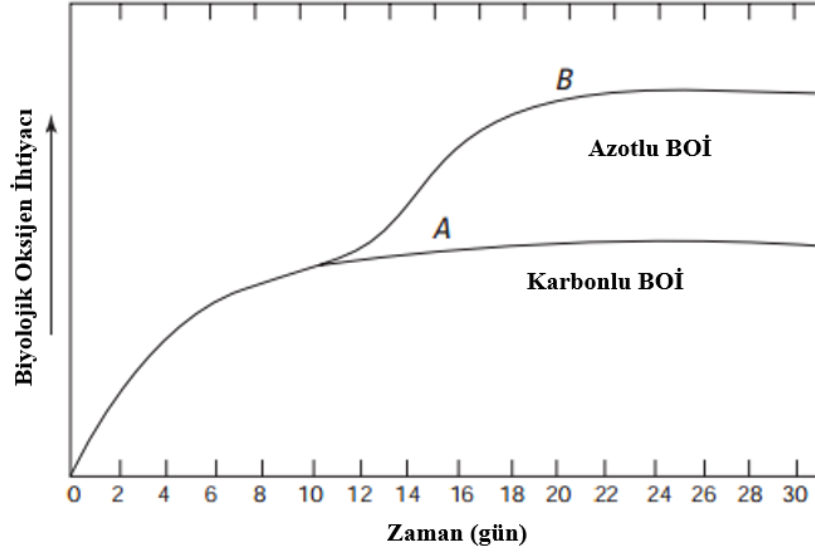
Alıcı ortamlardaki oksijen seviyesindeki değışimin potansiyel tehlike oluşturması nedeni ile biyokimyasal oksijen ihtiyacı yani biyolojik parçalanma için gerekli oksijen miktarı önemli bir değışkendir. (Environmental Protection Agency, 1992)

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, organik maddenin biyokimyasal oksidasyonu sırasında mikroorganizmalar tarafından tüketilen oksijen miktarıdır. Bu oksijen miktarı aynı zamanda heterotrofik organizmalardan oluşan karma mikroorganizma topluluğunun tükettiğı ve organik maddenin karbondioksite dönüşmesi için gerekli oksijen miktarını da göstermektedir.



BOİ testinde, karbonlu madde ve azotlu madde parçalanmalarından oluşan iki adımı vardır. Karbonlu madde parçalanması ilk adımdır ve organik karbonun karbondioksite dönüşmesi için ihtiyaç duyulan oksijen miktarını göstermektedir. İkinci adım ise azotlu maddelerin (organik azot, amonyum ve nitritin nitrate dönüşmesi) oksidasyonu için gerekli olan oksijen miktarıdır.

BOİ ölçümlerinde karbonlu madde ve azotlu madde oksijen ihtiyaçlarının bir arada ölçümü genellikle istenmez. Bu nedenle amonyak oksidasyonunu önlemek üzere inhibitör özelliğindeki kimyasal maddeler kullanılır. Bu teknik yardımı ile karbonlu ve azotlu madde ihtiyaçları ayrı olarak ölçülebilir.



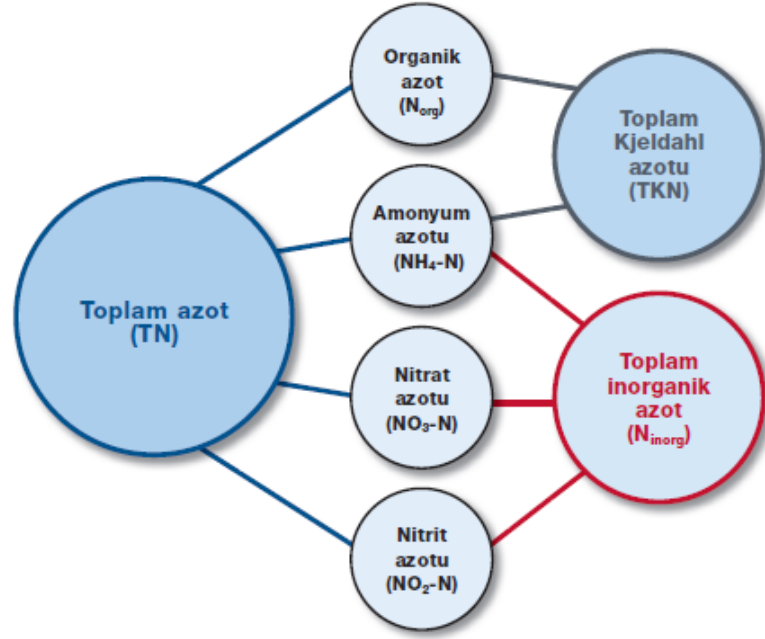
Şekil 11. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Eğrisi

BOİ deneyleri genellikle 20°C' de 5 gün süreli olarak inkübasyonlarda karanlık ortamda yapılır ve BOİ₅ olarak verilir. Beş gün içinde suyun ihtiva ettiği organik bileşikler biyokimyasal olarak parçalanma süreçlerini tamamlayamazlar. En basit organik bileşiklerin bile biyokimyasal olarak bakteriler yardımı ile parçalanması çok uzun zaman alır. Su içindeki tüm organik bileşiklerin mikroorganizmalar tarafından tamamen kullanılarak parçalanması için harcanan oksijen miktarı nihai BOİ olarak bilinir. Bu değer deneysel olarak değil ancak hesapla bulunabilir. (USGS Handbooks for Water-Resources Investigations, 2015)

BOİ değeri; suda parçalanabilecek organik maddelerin doğası ve konsantrasyonu, mikroorganizmaların doğası, sayısı ve adaptasyonu, mikroorganizmalar için besinlerin doğası ve miktarı, toksik etkilere sahip maddeler ile biyolojik ve/veya biyokimyasal proseslerin etkileri gibi faktörlerden etkilenmektedir.

3.2.3.3 Azotlu Bileşikler ve Azot Döngüsü

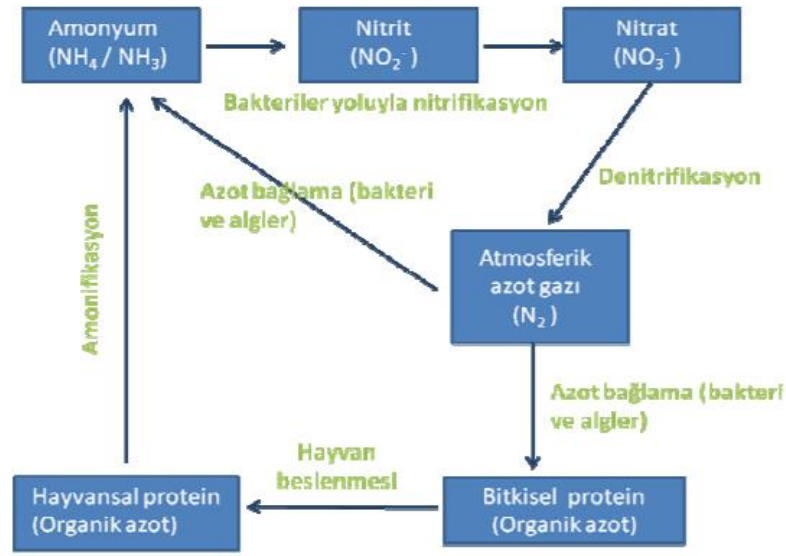
Sularda bulunan başlıca azot bileşikleri azalan oksidasyon kademesine göre nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) organik azot (Org-N) şeklinde sıralanmaktadır. Bu azot türlerinin yanı sıra azot gazı ($\text{N}_2\text{-N}$) da azot çevriminde yer almaktadır. Azot çevriminde bulunan türler, biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda birbirlerine dönüşebilmektedir. Toplam oksitlenmiş azot, nitrat ve nitritin toplamıdır.



Şekil 12. Azotlu Bileşik Grupları

Nitrat, azot bileşikleri ile daha önceden kirlenmemiş yüzey ve yeraltı sularında eser miktarlarda bulunmaktadır. Yüzeysel sularda nitratın belirgin biçimde görülmesi, o suyun daha önceden amonyum ve organik azot içeren evsel ve endüstriyel atıksularla kirlendiğini veya o suya henüz yeni biçimde doğrudan nitrat deşarjının yapıldığını ifade eder. Doğrudan nitrat deşarjları, ya nitratlı bileşiklerin kullanıldığı ya da üretildiği endüstrilere ait atıksular veya tarım alanlarında kullanılan nitratlı gübrelerin yağmur suları ile taşınmasından kaynaklanmaktadır. Nitrit bileşiği son derece kararsız bir azot formu olup, ortamda nitrifikasyon veya denitrifikasyon reaksiyonlarının gerçekleşmekte olduğunu gösterir.

Havada %78 oranında azot bulunmaktadır. Fakat sucul ortamlarda ve toprakta sınırlı olarak bulunabilen besin maddesidir. Azot gazı çoğu organizma tarafından direk olarak kullanılamamakta olup, azotun önce bazı bakteriler tarafından amonyağa dönüştürülmesi gerekmektedir. Mikroorganizmalar azot döngüsünde çok önemli bir rol oynar. Azot döngüsü beş adımdan meydana gelmektedir; azot bağlanması (azot fiksasyonu), asimilasyon, amonifikasyon (azot mineralizasyonu), nitrifikasyon ve denitrifikasyon.



Şekil 13. Azot Döngüsü

Sadece birkaç çeşit bakteri ve siyanobakter azot bağlayabilmekte ve azot gazını amonyuma dönüştürmektedir.

Heterotrofik ve ototrofik organizmalar NH₄⁺ ve NO₃⁻'i alarak asimilasyon (hücre sentezi) için kullanır. Mikroorganizmalar her ne kadar NO₃⁻'i asimilasyon için kullansa da, nitratı önce amonyuma dönüştürür ve daha sonra hücre sentezi (protein sentezi) için kullanır.

Amonifikasyon, organik azotun inorganik azota (amonyum, amonyak) dönüşümüdür. Bu işlem birçok mikroorganizma tarafından gerçekleştirilir (bakteri, aktinomiset, mantar). Proteinler, öncelikle aminoasitlere sonrasında ise amonyuma dönüştürülürler. (Şahinkaya)

Biyolojik nitrifikasyon, amonyum iyonunun oksidasyona uğrayarak nitrit ve nitrat iyonuna dönüşmesidir. Oksidasyon boyunca amonyum ve nitrit iyonuna nitrifikasyon bakterileri tarafından (Nitrosomonas ve Nitrobacter) oksijen bağlanır. Nitrifikasyonun gerçekleşmesi doğal denge için çok önemlidir. Özellikle bitkiler, azot ihtiyaçlarını nitrat iyonunu absorbe ederek karşılarlar.

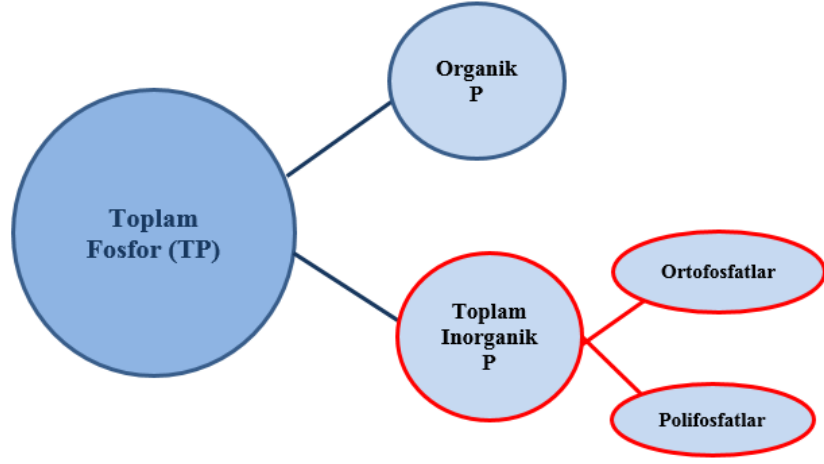
Denitrifikasyon ise organik maddenin parçalanması için fakültatif bakterilerin (denitrifikasyon bakterileri) nitrat ve nitrit iyonunu kullanması olarak tanımlanabilir. (Ortatepe, 2013) Genellikle, nitrat azotunun moleküler azota indirgenmesinde bazı bakteriler rol oynamaktadır. Denitrifikasyon, ara bileşiklerinin nitrik oksit gibi güneş ışığı ve ozonla reaksiyona girerek asit yağmurlarının bileşeni olan nitrik asitin oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısı ile denitrifikasyon yalnızca su kirliliği için değil aynı zamanda, çevre kirliliği açısından da önemlidir.

3.2.3.4 Fosforlu Bileşikler ve Fosfor Döngüsü

Yüksek konsantrasyonlarda fosfor içeren atıksuların kontrolsüz şekilde alıcı ortamlara deşarj edilmesi sonucunda su kalitesinde önemli ölçüde bozulmalar oluşabilmektedir. Bu nedenle fosfor kirliliği, çevresel açıdan gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Sucul ortamlarda fosfor, fosfat formunda bulunur. Özellikle inorganik fosfat bileşikleri veya bunların dehidrate şekilleri olan polifosfatlar çevre mühendisliği uygulamalarında önemli bir yere sahiptir.

Fosfor, bitki gelişiminde önemli bir besin maddesidir ve güneş ışığını kullanılabilir enerji formlarına dönüştürmede rol almaktadır. Fosfor, organizmalar tarafından, enerji transferlerinde (ATP, NAPD), nükleik asitlerin bir parçası (RNA, DNA) olarak ve zarların yapısal bir elementi (fosfolipidler) olarak kullanılır.

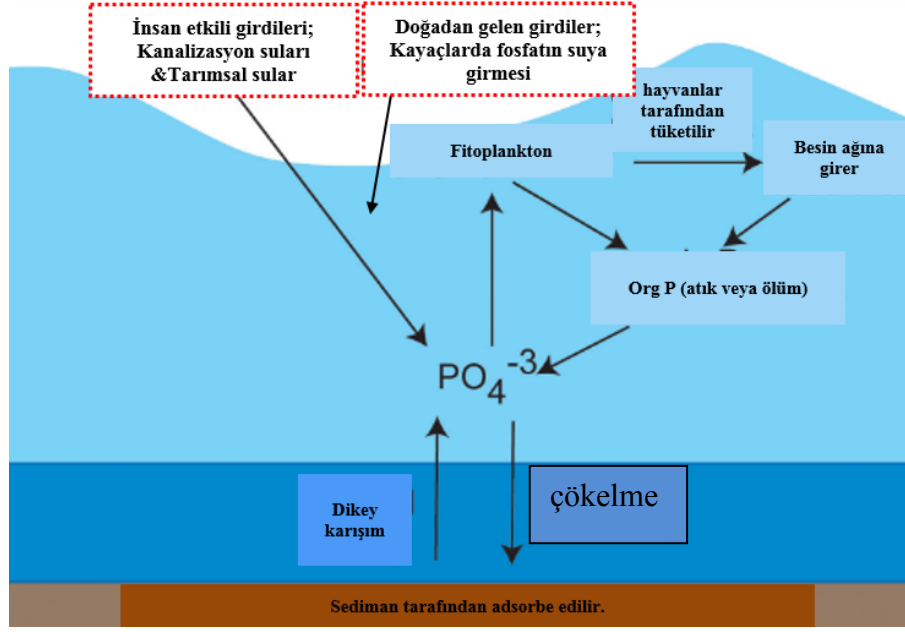
Fosforun gaz hali yoktur ve çok aktif bir elementtir. Toplam fosfor, partiküllü ve çözünmüş fosfor içermektedir. Fosfat (PO_4^{-3}), bitki alımında fosforun birincil formudur. Fosfatlar tabandaki sedimente yapışır. Bu nedenle dipteki sediment dış kaynaklardan almasa bile suyun fosfor kaynağı olabilir.



Şekil 14. Fosforlu Bileşikler Grupları

Fosfor döngüsü azot döngüsünden farklıdır. Çünkü fosfor döngüsünde atmosferden gaz formunda bir girdi yoktur. Fosfor döngüsü çözünürlüğü de az olması nedeni ile sedimana çöker. Sedimanın karışması ile fosfor yeniden döngüye katılır. Fosfor döngüsü sedimenter bir döngüdür.

Fosforun en büyük antropojenik girdileri, kanalizasyon ve tarım arazisi akışını (çoğunlukla PO_4^{-3} inorganik formunda) içermektedir. Çözünmüş fosfat, fitoplankton tarafından kullanılır ve gıda ağına dâhil edilir. Bitki veya hayvanların atıkları ve ölümleri organik fosforu suya geri döndürür. Fosfat dipteki sedimente adsorbe olur ve su yatağına yerleşir. Sediman üzerindeki adsorbe fosfatlar zamanla yükselen akım suları ile döngüye yeniden karışırlar.



Şekil 15. Fosfor Döngüsü (URL-2)

Fosfor ve azot gibi besin maddeleri, alglerin ve diğer bitkilerin büyümesi için gereklidir. Sudaki hayat, genellikle yer üstü sularında düşük seviyelerde bulunan bu fotosentezleyicilere bağlıdır. Ancak, fazla miktarda besleyici madde konsantrasyonları su bitkisini ve alg büyümesini aşırı uyarmaktadır. Bakteriyel solunum ve organik ayrışma için sudaki çözünmüş oksijen büyük oranlarda kullanılır. Buna bağlı olarak balıkların ve omurgasız hayvanlar yaşamlarına devam etmek için gerekli çözünmüş oksijeni bulamazlar ve ölürlür. Suda istenmeyen koku ve tat oluşur. Buna ötrofikasyon denmektedir. (Center, 2001)

3.3 Akarsu Kalitesi İzlemesi ve Modelleme

İzleme ve modelleme arasında oldukça güçlü bir ilişki vardır. İzleme verileri olmadan modeller tamamlanmamış araçlardır. Modellerin gerçekçi olması için yeterli sıklıkta ve periyotta su kalitesi izlemesinin yapılması önem arz etmektedir. Su kalitesi izleme verileri kullanılarak modellerin kurulması ile izleme programlarının ulaşamayacağı kadar çok noktada ve sık zaman serisinde veri sağlanmaktadır.

Modelleme, su kaynaklarının korunma ve iyileştirme önceliklendirmesinde, kirlilik kaynaklarının tespitinde ve daha etkili ve entegre izleme programlarının oluşturulmasında izleme maliyetlerine göre oldukça düşük maliyetli bir yaklaşımdır.

Su kalitesi modellerinin ortaya koyduğu tahminlerin gerçekçi ve başarılı olması için; su kalitesi izleme sonuçlarından güvenilir, kıyaslanabilir ve kapsamlı veri setlerine ihtiyaç vardır.

Akarsu sistemlerindeki koşulları, bu koşulların lokal, bölgesel ve ulusal ölçekte ve zamanla nasıl değiştiği, doğal özelliklerin ve insan faaliyetlerinin bu koşulları nasıl etkilediği ve bu etkilerin en çok görüldüğü su kütlelerinin tespit edilmesi için akarsularda kalite izlemesi büyük önem taşımaktadır. İzleme çalışmaları ile sağlanacak aşağıdaki maddelerde açıklanmaktadır. (World Meteorological Organization, 2013)

- ✓ Su kalitesindeki mevcut durumun zamansal ve mekânsal değişiminin değerlendirilmesini sağlar.
- ✓ Akarsuların kendi fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine göre sınıflandırılmasına olanak sağlar.
- ✓ Kritik kirleticilerin ve seviyelerinin tespit edilmesi ile erken uyarı sistemleri kurulabilir.
- ✓ Sucul çevrenin kalite trendleri oluşturulur ve kirleticilerden çevrenin nasıl etkilendiği ortaya konulur. Buna “etki izlemesi” denmektedir. Etki izlemesinin değerlendirilmesi için arka plan seviyesi izlemesi de yapılmalıdır.
- ✓ Kirliliği ve içme maksatlı kullanılmayan suların arıtılma teknolojilerine karar verilmesine imkân sağlar.
- ✓ Çevresel akım belirlenebilir.
- ✓ Su yönetiminde gerçekleştirilen iyileştirici önlemlerin etkinliği değerlendirilebilir.
- ✓ Düşük akım dönemlerinin belirlenmesini sağlar. Düşük akım dönemleri ile su kalitesini arasındaki kuvvetli ilişki bulunması nedeni ile düşük akım dönemleri belirlenmelidir.
- ✓ Bilim tabanlı çevre politikalarının temelini oluşturur. Ayrıca, bir politikanın istenen sonucu etkili ve düşük maliyetli vermesine dair değerlendirmeler yapılmasına imkân vermektedir.

- ✓ Kirlilik kontrol stratejilerinin akılcı planlanması ve önceliklendirilmesi için izleme verileri gereklidir.
- ✓ Farklı su kütlelerinde ihtiyaç duyulan kirlilik kontrolü niteliğini ve kapsamının belirlenmesini sağlar.
- ✓ Su kütlelerinin asimilasyon kapasitesi anlaşılabilir. Böylece kirlilik kontrolü için maliyetler azaltılabilir.
- ✓ Farklı kirleticilerin çevresel akıbetlerinin anlaşılmasını sağlar.
- ✓ Suyun farklı amaçlar için kullanıma uygunluğu değerlendirilebilir.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 11.02.2014 tarih ve 28910 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik kapsamında; miktar, kalite ve hidromorfolojik unsurlar bakımından mevcut durumunun ortaya konulması, suların ekosistem bütünlüğünü esas alan bir yaklaşımla izlenmesi, izlemede standardizasyonun ve izleme yapan kurum ve kuruluşlar arasında koordinasyonun sağlanması hedeflenmektedir.

Söz konusu yönetmelik maddelerine göre yer üstü sularında mevsimsel genel amaçlı izleme yapılmalıdır. İzlenmesi gereken fiziko-kimyasal ve kimyasal parametreler, diğer tehlikeli maddeler, öncelikli maddeler, bakteriyolojik parametreler, biyolojik parametreler ve hidromorfolojik parametreler de yönetmelik ekinde verilmektedir. Bunlara ek olarak havza bazında karar verilecek olan belirli kirletici maddelerin de izlenmesi gerektiği belirtilmektedir.

4. AKARSU KALİTESİ MODELLEMESİNE GENEL YAKLAŞIM

Yerüstü su kalitesi modelleri, bir su kütleindeki kirleticilerin konsantrasyonlarının dağılımlarını simüle etmek ve/veya tahmin etmek için kullanılan araçlardır. Farklı kirlilik senaryoları altında bu modellerden elde edilen modelleme sonuçları, çevresel etki değerlendirmesinin önemli bir bileşenidir ve çevre yönetimi konusunda doğru kararların alınması için temel ve teknik destek sağlamaktadır. Modellemelerin doğru olup olmadığı model geliştirilen projelerin mantığını ve bilimselliğini ve kirlilik kontrol önlemlerinin kullanılabilirliğini etkileyebilmektedir. (QinggaiWang, 2013)

Model, gerçek dünyadaki bir olayın veya sistemin soyutlanması, basitleştirilmesi ve kavramlaştırılmasıdır. Su kalitesi modellerinin kullanılması ile;

- Su kaynaklarının, havza bazında yönetiminde farklı senaryolar simüle edilerek, su kütlelerindeki etkiler ortaya konulur.
- Su kaynaklarında iyileştirme yapılması amacıyla planlanan yatırımlardan sağlanacak fayda su kalitesi modelleri ile öngörülür.
- Çalışma yapılan su kaynağı ile ilgili veriler elde edilmiş, analiz edilmiş ve uygun formata getirilmiş olur.
- İzleme ağının çözünürlüğü ne kadar yüksek olsa da bir sistemin her anını ve noktasını izlemek mümkün değildir. Bu nedenle modeller ile ölçüm olmayan yerler ve zamanlar için veri elde edilebilir.
- Akarsularda ihtiyaç duyulan veri eksiklikleri ortaya konulmuş olur ve böylelikle İzleme Programları (hem parametre hem de izleme sıklıkları) düzenlenebilir.
- Ekosistemdeki prosesler gerçeğe en yakın şekliyle tanımlanmış olurlar.
- Ekosistemi en çok etkileyen proses ve kirlilik parametresi belirlenmiş olur.
- Havzadaki faaliyetlerin birbirleri ile ilişkileri ortaya konulmuş olur. (Örneğin, akarsu kirliliği ve tarımsal gelişim arasındaki bağıntı gibi)
- Model sonuçları ile gelecekteki su ihtiyaçlarının planlanması ve projelendirilmesi için somut sayısal veriler sağlanabilir.

4.1 Yerüstü Su Kalitesi Modellerinin Tarihsel Gelişimi

Su kalitesi modellerinin gelişimi 20. Yüzyıl başlarındadır ve dört ana fazda incelenebilir. Bu fazlar hem sosyal ilgilere hem de sürecin dönemindeki hesaplanabilme kapasitelerine bağlıdır.

Birçok eski model çalışması atık yükü dağılımı problemine odaklanmıştır. Bu konuda bilinen ilk çalışma Ohio nehri için geliştirilen çözünmüş oksijen modelidir. (Streeter&Phelps,1925) Bunu takip eden araştırmalar, nehirler ve körfezlerde çözünmüş oksijen belirlemeyi sağlamıştır. İlaveten, bakteri modelleri de gelişmiştir.

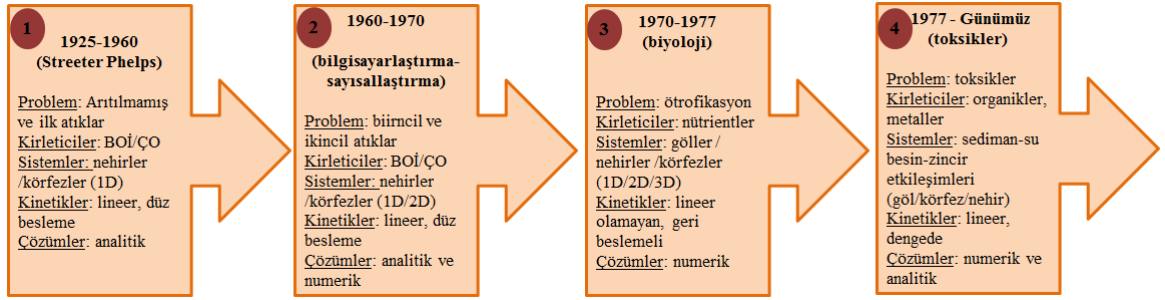
$D = \frac{k_D L_0}{k_R - k_D} (e^{-k_D t} - e^{-k_R t}) + D_0 e^{-k_R t}$	<p>L_0 : Sudaki Nihai BOİ değeri ($t=0$)</p> <p>D_0 : Çözünmüş Oksijen Eksikliği ($t=0$)</p>
----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Şekil 16. Streeter&Phelps Denklemi

O dönemlerde bilgisayarların olmaması nedeni ile ilk model çözümleri kısıtlı olmakla birlikte, 1960'lı yıllarda dijital bilgisayarların da kullanımı ile analitik çalışmaların sayısal ifadelerle dönüşümünü içeren ilk gelişmiş modeller kullanılmıştır. Bu dönemlerde noktasal yük ve oksijen odak noktası olmuştur. Bilgisayarlar sayesinde su kalite problemleri daha geniş yaklaşımlarla ele alınmış ve yerel etkilere odaklanma yerine bütün drenaj alanı incelenmiştir.

1970'li yıllarda sosyal farkındalık çözünmüş oksijenin önüne geçmiş ve bu süreçte temel su kalitesi problemi olan ötrofikasyon çözümü için besin zinciri modelleri geliştirilmiştir. Gelişen hesaplama kapasitelerinden dolayı geri beslemeli ve lineer olmayan kinetik yaklaşımlar bu tür çalışmalara uygulanabilmiştir.

Bu dönemde çalışmalar yine kentlerde noktasal kaynaklı problemlerin çözümüne odaklanmış olup, Amerika Birleşik Devletleri gibi gelişmiş ülkelerde belediyeler su kirliliğini kontrol altına almak için ikincil arıtıma geçmiştir. Bu çözüm, çözünmüş oksijen problemini birçok yerelde kontrol altına almanın yanında, noktasal kaynak kontrolünün yetersiz olduğu alanlarda da dikkatin atıklardaki oksijen ihtiyacının noktasal olmayan kaynaklara doğru kaymasına neden olmuştur.



Şekil 17. Su Kalitesi Modelinin Gelişimindeki Dört Süreç

1980’li yıllara doğru temel modelleme sürecinin ve modellerin gelişimi ile katı maddelerin ve toksik maddelerin taşınımı ve etkileşimi üzerindeki etkin rolünün farkına varılmıştır. Özellikle, toksik maddelerin çökelme ve tekrar askıda kalan parçacıklarla olan ilişkisi, bunların doğal sulardaki taşınım ve etkileşimini kontrol etmekte olan temel bir mekanizmayı tanımlamaktaydı. Ayrıca küçük parçacıkların (örneğin fitoplankton) daha büyük organizmalar tarafından sindirilmesi bilgisi elde edilmesiyle, bu tür besin zinciri reaksiyonları modelcilerin doğadaki organik karbon döngüsünü görmesini sağlamıştır.

Bugün ise su kalite modellerinin gelişimi ve uygulamasında güçlü bir akım oluşmaktadır. Yüksek kaliteli yaşamın sağlanabilmesi için çevresel korumanın kritik olduğu konusunda kuvvetli ve artan bir farkındalık vardır. (Chapra, 1997)

Günümüz uygulamalarında modellerin sadece mevcut durumu ortaya koymasının yanı sıra henüz gerçekleşmemiş durumları da tahmin etmesi beklenmektedir. Bu doğrultuda ülkeler kendi modelleme programlarını kendi önceliklerine göre oluşturmuş ve yaygınlaştırmışlardır.

4.2 Yerüstü Su Kalitesi Modellerinin Sınıflandırılması

Matematiksel modeller, modellenen gerçek sistemin parametre ve değişken girdilerini belirli varsayımlar ve sadeleştirmeler ile çıktılara dönüştüren denklem veya denklemler grubudur. Günümüzde su kalitesi yönetimi sürecinin ayrılmaz bir parçası haline gelen matematiksel modeller farklı kategoriler altında gruplanmaktadır.

4.2.1 Ampirik ve Matematiksel (Mekanik) Modeller

Ampirik modeller tümevarımlı ya da veri tabanlı yaklaşıma dayanır. Sorgulanan alıcı ortama benzer büyük sayıda sistemlerden kirlilik yükü ve konsantrasyon değerleri istatistiksel olarak hesaplanmakta ve regresyon teknikleri uygulanması şeklinde olmaktadır. Genellikle göl ötrofikasyonunda kullanılmaktadır. (Chapra, 1997)

Buna karşın mekanik modeller tümdengelinimli ya da teorik yaklaşıma dayanır. Bu da teorik ilişkilerin veya düzenleme prensiplerinin kullanımını içerir.

Mekanik modeller matematiksel tanımlardan oluşmaktadır. Su kalite modelleri bazında 'kütle korunumu' prensibine dayanmaktadır. Sonsuz bir hacimdeki suda, kütle ne yoktan var olur ne de tersi bir durum olur. Sayısal terimlerle, prensip kütle dengesi denklemi ile açıklanır ki bunda sistem sınırları boyunca maddenin transferi ve tüm transformasyonu sistem içinde gerçekleşir. (Chapra, 1997).

Matematiksel modeller de oluşturulan denklemlerin çözüm metotlarına göre analitik modeller ve nümerik (sayısal) modeller olmak üzere ikiye ayrılır. Analitik çözümlerle basit problemler için uygulanabilen %100 doğrulukta çözümler bulabilirken, nümerik çözümler gerçek hayatta karşılaşılabilen karmaşık problemleri ele alan ve belirli kabullerle çözüm yapan bir yöntemdir. Yani matematiksel modelin içerdiği denklem veya denklemlerin analitik çözümü varsa analitik çözüm yapılarak istenen değerler elde edilerek sonuçlar değerlendirilebilir. Ancak probleme bağlı oluşturulan denklemler analitik çözümlerle çözülemeyecek kadar karmaşık ise nümerik analiz yöntemi seçilebilir. Nümerik modeller daha çok bilgisayar kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Bir problemi çözmek için değişik yöntemler mevcut olabilir. Bunların içerisinde o andaki ihtiyaca göre en hızlı ve en hassas sonuç veren yöntem seçilmelidir.

Ampirik modellerin geliştirilmesi ve uygulaması daha kolay olmasına karşın sadece geçmiş dönem verileri ile istatistiksel yaklaşım sağlaması nedeni ile uygulamaları bazı su ortamlarıyla sınırlı kalmaktadır. Matematiksel modeller ise farklı su ortamlarına uygulanabilirliği açısından daha esnektir. (Ertürk, 2010)

Bazı su kalitesi modelleri ampirik ve mekanik modellerin her ikisini de kapsayabilmektedir. Bu noktada hangi model daha baskınsa isimlendirilmesi o modelin çeşidine göre yapılmaktadır. (Riecken, 1995)

4.2.2 Simülasyon ve Optimizasyon Modelleri

Optimizasyon, karar verme sürecinde bir amaca ulaşmak için bütün kısıtlayıcıların hepsini aynı anda tatmin eden optimal veya muhtemel en etkili yolu bulmada kullanılan bilimsel bir yaklaşımdır. Yani en iyi performans değerini veren faktör düzeylerinin bir kombinasyonudur. Genellikle amaç pek çok değişken içeren matematiksel bir ifadenin maksimizasyon veya minimizasyonudur. Amaç fonksiyonu genellikle maliyet fonksiyonu olmaktadır. Finansal, teknolojik, uygulanabilirlik gibi durum kısıtlayıcıları ise matematiksel ifadelerdir. Bu kısıtlayıcılar ve amaç göz önünde bulundurularak en yetkin sonuçları ortaya koymaktadır.

Simülasyon (Benzetim) ise bir sistemin fonksiyonlarını tanımlayan modellerdir. Yani bir sistemin modelini bilgisayar ortamında kurarak model üzerinde deneyler yapılmasını sağlar. Simülasyon ile modelleme;

- Sistemin davranışını tanımlama,
- Teori veya hipotez kurma,
- Kurulan teoriyi sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için kullanmak, şeklinde bir deneme ve uygulama metodolojisidir.

Simülasyon modelleri sistemi açıklayabilmekte ancak en iyi çözümün ne olduğu ile ilgili yorumu kullanıcıya bırakmaktadırlar. Optimizasyon modelleri ise en iyi çözümü belirlemek amaçlı algoritmalar içermektedirler. Günümüzde Dünyada ve Türkiye’de yapılan çalışmalarda kullanılan pek çok simülasyon modelleri bulunmaktadır.

4.2.3 Kararlı Durum (Statik) ve Dinamik Durum Modelleri

Modeller, zamana bağımlı veya zamandan bağımsız olmasına göre de gruplandırılmaktadır. Kararlı durum modelleri (statik) su kütlesinde kararlı duruma ulaşıldığı varsayımı ile çalışır ve zaman parametresinden bağımsızdır. Dinamik modeller ise kararsız durumu yansıtırlar ve zaman parametresine bağlıdır.

Bir su kütlesinin kararlı durum hali, o su kütlesinde zamana göre değişim olmaması durumudur. Değişim olmayan özellikler arasında sıcaklık, basınç, nehir enkesiti ve tuzluluk gibi parametreler vardır. Bunun yanı sıra kararlı durum ile su kalitesi parametreleri de su kütlesinde zamana göre değişim olmadığı varsayımı yapılmaktadır.

Dolayısı ile bu parametrelerin zamana göre değişimi ihmal edilebilir seviyede değil ise, kısa süreli olayların etkilerinin görüldüğü durumlarda (Ani yağış akımları gibi) dinamik modellerin kullanılması gerekmektedir.

Statik modellerin hesaplamaları daha basittir ve daha kısa sürede model sonuçları elde edilebilmektedir. Su kütlesinin değerlendirme verilerinin kararlı duruma gelebileceği kadar uzun dönemli olması durumunda statik modeller kullanılabilir. (Environmental Protection Agency, 1976)

4.2.4 Yuvarlanmış Parametrelili ve Dağınık Parametrelili Modeller

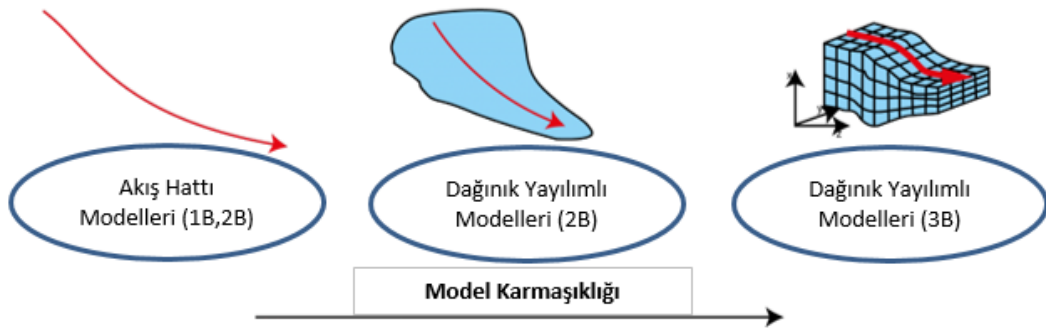
Yuvarlanmış parametrelili modellerde sistem bileşenleri tek bir noktada yoğunlaşmaktadır. Yani bileşenler zamana bağlı olarak değişiklik gösterir ancak mekândan bağımsızdır. Dolayısıyla fiziksel eşitliklerde sistem bileşenleri yalnızca zamana bağlı fonksiyonlardır. Genellikle daha küçük sistemlerde uygulanmaktadır ve denklemlerin çözümünde Adi Diferansiyel Denklemleri (tek bağımlı değişkeni bulunduran diferansiyel denklemler) kullanılmaktadır.

Sistem içerisinde bileşenlerin eşit oranda karışım sağlandığı varsayımı yapan yuvarlanmış parametrelili modeller mekândan bağımsız olmaları nedeni ile sıfır boyutlu modellerdir. Yani modellenmesi yapılan su sistemi homojen karışımıdır. Sıfır boyutlu modellere en güzel örnek Tam Karışım Tank Reaktörlerdir (CSTR). Bu reaktörler zamana bağlı kirlilik konsantrasyonu tahmininde kullanılmaktadır.

Bunun aksine Dağınık Parametrelili Modellerde, sistem bileşenleri boşlukta dağılmış halde bulunurlar ve fiziksel denklemler zamana ve mekâna bağlıdır. Yani sistem bileşenleri fonksiyonu hem zamana hem de mekâna bağlı fonksiyonlardır ve çözümü için Kısmi Diferansiyel Denklemleri (içerisinde iki veya daha fazla bağımsız değişkeni bulunduran diferansiyel denklemler) kullanılmaktadır.

Dağınık parametrelı modeller sistemi tanımlarken bir veya daha çok boyutlu koşulları göz önünde bulundurur. Buna örnek olarak tabakalarına ayrılmış bir göl su kütleindeki çözünmüş oksijen modellemesi düşünülebilir.

Dağınık parametre modelleri gerçek dünyayı hangi mekânsal çözünürlükte yansıttığına göre değişiklik göstermektedir. Yani modellemesi yapılan su sistemi heterojen karışımıdır ve sistem değişkenleri bir, iki veya üç boyutlu durumlarda değişiklik göstermektedir. Tek boyutlu modeller bir su kütleinin yalnızca dikey veya boylamdaki davranışını göstermektedir. 2 boyutlu modeller boyla birlikte en veya derinliği hesaba katan ve 3 boyutlu modeller bu üç kesiti de inceleyen modellerdir. Hangi boyutun kullanılması gerektiği ise modelleme çalışmasının amacına ve bulunan verilere bağlıdır. (Riecken, 1995)



Şekil 18. Su Kütleli Kesitlerine Göre Modelleme Boyutları

4.2.5 Deterministik (Belirlemci) ve Stokastik (Rastgele) Modeller

Deterministik modeller doğal süreçleri matematiksel tanımlamalara dayandıran modellerdir. Rassal değişken içermezler ve bir sistem için oluşturulmuş deterministik model aynı parametreler ve aynı özellikler için hep aynı sonucu verir.

Stokastik modeller ise doğal süreçlerin tanımlanmasında bir veya birden fazla rassal değişken içermektedir. Bu rastgelelik model girdilerinden, parametrelerinden veya sistem dinamiğinden kaynaklanmaktadır. Giriş ve sonuç verileri istatistiksel analizler ve zaman serilerinin sentezi ile oluşturulur. Dolayısıyla bu modellerde aynı şartlar altında tekrar çalıştırıldığında aynı sonuçlar elde edilmeyecektir. Sonuçların hangi aralıkta olduğu veya hangi dağılıma uygun olduğu hesaplanabilmektedir.

Deterministik modellerde model katsayıları kesin sayılar olarak verilmekte ve bu nedenle aynı zaman ve konumda model her çalıştırıldığında koşullara, zamana ve konuma göre değişken, ancak tekil sonuçlar elde edilmektedir. Stokastik modellerde ise model katsayıları olasılık yoğunluk fonksiyonları olarak verilmekte ve bu nedenle tekil sonuçlar yerine model değişkenlerinin olasılık dağılımları elde edilmektedir. (Çilek, 2005)

Her iki model türünün de önemli kısıtlamaları bulunmaktadır. Deterministik modeller değişken belirsizliğini hesaba katmamaktadır. Bazı karmaşık deterministik modeller, tek bir parametrenin tek bir çözüm olarak incelenemeyeceği durumlarda çoklu optimum parametre setlerinin oluşturulması gerekli olabilir. Buna karşın stokastik modeller değişken belirsizliğini de geliştirilen modele dâhil etmesi nedeni ile avantajlı olabilmektedir. (Zoppou, 2000)

Stokastik modeller sadece detaylı proses bilgisi olmayan mevcut veri ile çalıştırılmaktadır ve bu veri aralıklı ise tahmin için yetersiz kalabilmektedir. Ayrıca stokastik modeller yalnızca mevcut veri ile mevcut durumu ortaya koydukları için gelecekteki durumu görmeyi hedefleyen senaryo geliştirilmesi yapılamamaktadır. Deterministik modeller ile artan su kirliliğinin gelecekteki durumları da incelenebilmektedir. (Kardos, 2007)

Bu çerçevede; ampirik modeller mekanik modellerden, statik modeller dinamik modellerden, tek boyutlu modeller iki veya üç boyutlu modellerden ve pek çok durumda analitik çözümlü modeller nümerik çözümlü modellerden daha basittir.

4.3 Literatürde Yer Alan Akarsu Kalitesi Modelleri

Yapılan literatür araştırması sonucunda kullanılan mekanik (matematiksel) akarsu kalitesi modelleri ve kullanım amaçları bu bölümde detaylandırılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Louisiana'da Mill Deresi Havzası'nda "Noktasal ve Yayılı Kaynakların Entegrasyonu ile Bilimin Daha İyi Değerlendirilmesi" (BASINS; Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) ve "Toprak ve Su Değerlendirmesi Aracı" (SWAT; Soil and Water Assessment Tool) modelleri kullanılarak izleme noktalarının oluşturulması için havza sınırları

belirlenmiştir. Çalışmada, BASINS ve SWAT modellerinin entegre kullanımı, eğitim, akarsu bölümlerinin uzunlukları, arazi kullanımı ve toprak özellikleri gibi havza karakteristikleri hakkında bilgiler sağlamaktadır. Küçük ve düz topografyaya sahip arazilerde çalışmaların dikkatli yapılması gerektiğini vurgulayan çalışma ile arazi kullanım durumunun su kaynaklarına potansiyel etkilerinin tahmininde bu modellerin kullanılabilirliği. (Kansheng Wu)

Yine Amerika Birleşik Devletleri Georgia'da Fulton Eyaleti'nde Camp Deresi ve Little Nehir Havzaları Değerlendirilmesi Programı kapsamında, BASINS modeli kullanılmıştır. Fulton Eyaleti'nde havza bazında modelleme yapılmasındaki amaçlar; mevcut durumdaki su kalitesi durumunun ortaya konulması, kirlilik yüklerinin ve kaynaklarının miktarının belirlenmesi, yönetim alternatifleri için su kalitesindeki değişikliğinin değerlendirilmesi ile gelecekteki arazi kullanımındaki değişikliklerin su kalitesine etkisinin tahmin edilmesidir. Amacın ortaya konmasını akabinde amaca uygun modelleme programları incelenmiş ve sekiz program arasından eyalet içerisindeki diğer modellerle tutarlılık olması açısından BASINS programı seçilmiştir. (Patwardhan, 1999)

Tayvan'da önemli bir gelgit nehri olan, Keelung Nehir havzasında, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, amonyak azotu, toplam fosfor ve sediment oksijen ihtiyacı parametreleri Qual2K ve HEC-RAS modelleri kullanılarak modellenmiştir. İki milyondan fazla nüfusa sahip olması ve nehir suyunun evsel amaçlı kullanılıyor olması nedenleri ile çalışma alanı Keelung Nehir Havzası olarak seçilmiştir. Qual2K modeli ile kirlenici yüklerinin bahsedilen parametrelere etkisi modellenmiştir. Qual2K seçilmesinin nedeni geniş kullanımı ve kullanımının kolay olması olarak açıklanmaktadır. Qual2K'nın gelgit etkisini hesaplamaması nedeni ile HEC-RAS modeli de kullanılarak gelgit olayının su kalitesine etkisi incelenmiştir. Dinamik izleme verilerinin yetersiz olması durumunda bir alternatif oluşturması amacıyla Qual2K ve HEC-RAS modelleri birlikte kullanılmıştır. Ayrıca simülasyon sonuçlarının izleme verileri ile uyumlu olduğu belirtilmiştir. Havzadaki kirlenici parametreleri arasında en önemlisinin biyokimyasal oksijen ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. (Chihhao Fan, 2007)

Kenya’da Ndarugu Nehri tarımsal, evsel ve endüstriyel kirleticilere maruz kalması ve bu baskıları sonucunda etkilerin ortaya konulması amacı ile havza su kalitesi Qual2K kullanılarak modellenmiş ve 2013 yılı verileri ile debi, hız, sıcaklık, BOİ, ÇO ve NO₃-N parametreleri için kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonuçları, yüksek doğrulukta veri analizinin ve daha sık izleme çalışmaları için finansal kaynakların sınırlı olduğu gelişmekte olan ülke şartlarına göre uygun olduğu değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında Qual2K seçilmesinin nedenleri Qual2K’da su kütlesi bölümlerinin farklı uzunluklarda olabilmesi, her bir hesap elemanına yüklerin ve su çekimlerinin girilebilmesi ve küçük nehir havzalarında Qual2K kullanımının daha uygun olmasıdır. Model sonucuna göre havza genel olarak insan aktiviteleri nedeniyle kirlenmektedir. Atıksuların arıtılması için uygun kontrol uygulamalarına ihtiyaç bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca tarımsal aktivitelerin olası etkisinin önlenmesi için havza yönetim stratejisinin belirlenmesi gerektiği önerilmektedir. (Letensie Tseggai Hadgu, 2014)

Aşağı Seyhan Nehri Havzası’nın su kalitesi değişimi Qual2E modeli ile incelenmiştir. Çalışmanın amacı akarsuya yapılan evsel ve endüstriyel deşarjların sucul ortamda meydana getirebileceği organik kirlilik yükü ve nehir sisteminde oluşturabileceği etkileri belirlemektir. Nehir havzası kirliliği ÇO, BOİ, NH₃-N ve Çöz P parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Model sonuçları 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 2’de verilen su kalitesi sınıf kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Model 1999-2000 yılı verileri ile kalibre edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre su kalitesi debinin maksimum olduğu yağışlı dönemlerde noktasal kirlilikten fazla etkilenmemektedir ve I. veya II. sınıftır. Minimum debili dönemlerde ise noktasal kaynakların su kalitesini en çok ÇO ve BOİ₅ konsantrasyonları açısından etkilemektedir ve IV. sınıf kaliteye kadar düşmektedir. (Ahmet YÜCEER, 2004)

Amerika Birleşik Devletleri’nde Golden Gate Kanal Sistemi su kalitesi ötrofikasyon prosesinin anlaşılması için MIKE11/Ecolab ile modellenmiştir. MIKE11 modülü kanal sistemlerindeki hidrodinamik, adveksiyon dispersiyon taşınımı proseslerinin çözülmesi için kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında simülasyon periyodu Haziran 2003 ve Haziran 2004 yıllarını kapsamaktadır. Model sonuçları yine

bu tarihlerdeki izleme sonuçları ile karşılaştırılarak kalibrasyon tamamlanmıştır. Ayrıca kanal sistemindeki ÇO insan kaynaklı veya yağmur suları kaynaklı etkisinin değerlendirilmesi amacıyla iki ayrı hassaslık analizi de gerçekleştirilmiştir. Florida'nın 'Yerüstü Suyu Kalitesi Standardı'na göre III. sınıf sularda ÇO konsantrasyonu 5.0 mg/L'nin altında olmamalıdır. Ancak model sonuçlarına göre birkaç nokta dışında genellikle 5 mg/L'nin altına düşmektedir. Özellikle de yağışın çok olduğu aylarda ÇO çoğunlukla bu değerin altında kalmaktadır. (Marcelo E. Lago, 2012)

Çevresel hedeflerin belirlenmesi ve önlemler programının oluşturulması amacıyla Hollanda'da Waterboard Brabantse Deltası'nda yer alan Meuse havzasında "Su Çerçeve Direktifi Tarayıcısı" (WFD Explorer) modeli uygulanmıştır. WFD Explorer önlemlerin su kalitesi durumundaki etkilerini ortaya koymaktadır. WFD Explorer SÇD'nin uygulanması için kullanılan bir karar destek sistemidir. (IWRM-NET, 2009)

Georgia'da Altamaha Nehri'nde Çöz-N parametresinin modellenmesi için "Su Kalitesi Analiz Simülasyon Programı" (WASP v7.4; Water Quality Analysis Simulation Program) kullanılmıştır. USEPA'ya göre WASP besin elemanı dinamiklerinin simülasyonunun yapılması için en uygun modeldir. Model kalibrasyonu ve doğrulaması bölgede gerçekleştirilen bir projedeki izleme sonuçları ile yapılmıştır. Model tahminleri ile izleme verileri arasındaki ortalama hata NH₃ için %39,8, NO₃ için %23,6 ve Çöz N için %7,8 sonuçları elde edilmiştir. Yüksek debi ve düşük sıcaklığın olduğu dönemler Çöz N değerinin en yüksek olduğu dönemlerdir. (Kaufman, 2003)

İspanya'da Jucar Nehir Havzasında hidrolojik ve su kalitesi modeli olan Aquatool kullanılarak modellenmiştir. Havza yüksek derecede su çekimlerinin olduğu ve noktasal ile yayılı yükler nedeni ile kirliliğe maruz kalmış bir havzadır. Suyun miktarının ve kalitesinin ortaya konması için Aquatool Karar Destek Sisteminin bileşenleri olan SIMGES (su tahsisi) ve GESCAL (su kalitesi) modülleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında iletkenlik, AKM, cBOİ, ÇO, NH₄N ve NO₃N parametreleri modellenmiştir. Atıksuların arıtımı gibi su kalitesini iyileştirecek önlemlerden oluşan farklı senaryolara göre model çalıştırılmıştır. Her senaryo 1985-

2001 periyodundaki akım verileri için uygulanmıştır. Planlanmakta olan arıtma tesislerinin işletmeye başlatılması ile ÇO değeri 3,5 mg/L'den 7,6 mg/L seviyelerine ulaşmaktadır. AKM değeri 28 mg/L'den 9 mg/L seviyelerine ve NH₄N değeri ise 1,81 mg/L'den 0,12 mg/L seviyelerine düşmektedir. (Solera, 2010)

Minnesota'da Blue Earth ve Crow Wing havzaları olmak üzere iki büyük havzaya ekolojik etkinin ortaya konması amacıyla Aquatox modeli kullanılmıştır. Bu havzalar farklı besin elemanı eko-bölgelerinin temsilcileridir. Çalışma kapsamında HSPF sediman, besin elemanı, ÇO ve BOİ yükleri havza özelliklerine ve arazi kullanım durumuna göre modellenmiştir. Aquatox ise besin elemanı konsantrasyonunun ve bu konsantrasyonların tepki değişkenleri (klorofil-a gibi) ile ilişkilendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmanın diğer amacı ise model sonuçlarına göre besin elemanı kriterlerine bağlı standartların oluşturulabilirliğini değerlendirmektir. Bunun için önce HSPF ile arazi kullanım senaryolarına göre besin elemanı yükleri tahmin edilmiş, daha sonra Aquatox ile besin elemanı konsantrasyonlarının etkisi tahmin edilmiştir. Aquatox modeli, 1999-2000 yılları arasındaki besin elemanı ve biyolojik veriler ile kalibre edilmiştir. (Anthony S. Donigian, 2005)

Avusturya Akarsularındaki, Alp Dağlarından gelen besin elemanı (Azot ve Fosfor) girdileri 2005 yılında "Akarsularda Besin Elemanlarının Emisyonlarının Modellenmesi" (MONERIS; MOdelling Nutrient Emissions in RIVER Systems) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan yeni çalışma ile daha önce hesaplanan değerlerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan yeni çalışma ile karsuyu erimesi sabiti, nitrojen kütle dengesinin yenilenmesi ve alana bağlı askıda katı madde faktörlerinin girilmesi gibi kalibrasyon adımları uygulanarak çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu iyileştirme ülkedeki diğer MONERIS uygulamalarını da etkilemesi beklenmektedir. (Matthias Zessner, 2011)

Literatür taraması sonucunda yaygın olarak kullanılan akarsu kalitesi modelleme programları, özellikleri ve kapsamı Çizelge 2'de verilmektedir. Programlara ait bilgiler çoğunlukla programların kullanım kılavuzlarından ve bazı bilgiler ise literatür çalışmalarından alınmıştır.

Çizelge 2. Yaygın Olarak Kullanılan Akarsu Kalitesi Modelleme Programları

Model Adı	Organizasyon / Kuruluş	Boyutu	Hidrolojik Durum Kabulü	Kirletici Parametreleri	İşletme Sistemi	Lisansız Kullanım Durumu	Açıklamalar
BASINS	Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA)	Kullanılan alt modüle göre değişmektedir.	Kullanılan alt modüle göre değişmektedir.	Kullanılan alt modüle göre değişmektedir.	Windows XP, Vista, 7, 8	Ücretsiz Kullanım	1996 yılında geliştirildi. Çok amaçlı çevresel analiz sistemleridir ve noktasal ile yayılı yükü entegre edebilmektedir. Havza bazında su kalitesi analizinin yapılmasına uygundur. BASINS'de yer alan modeller HSPF*, SWAT, AQUATOX, WASP, SWMM*, PLOAD*, GWLF-E*
HEC-RAS	Hidrolojik Mühendisler Birliği Birleşik Devletler Askeri Mühendisler Birliği (United States Army Corps of Engineers)	1D, 2D	Kararlı Durum Kararsız Durum seçenekleri mevcuttur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ NO₃-N ➤ NO₂-N ➤ NH₄-N ➤ Org-N ➤ PO₄-P ➤ Org-P ➤ Alg ➤ ÇO ➤ cBOİ 	Windows XP, Vista, 7, 8, 8.1, ve 10	Ücretsiz Kullanım	Genellikle taşkın modellerinde kullanılıyor olmasına karşın su kalitesi analiz bölümü de bulunmaktadır. HEC-RAS'in bu versiyonunda, su sıcaklığını modelleme yeteneği eklenerek bir adveksiyon-dispersiyon modülü dahil edilmiştir. Bu yeni modül, tam olarak uygulanmış bir ısı enerjisi bütçesi ile bir kontrol hacmi yaklaşımı kullanarak tek boyutlu bir adveksiyon-dispersiyon denklemini çözmek için QUICKEST-ULTIMATE açık sayısal şemayı kullanmaktadır.
QUAL2E	Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA)	1D	Kararlı Durum Kararsız Durum seçenekleri mevcuttur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ÇO ➤ BOİ ➤ Sıcaklık ➤ Algler ➤ Org N ➤ NH₃-N ➤ NO₃-N ➤ NO₂-N ➤ Org P ➤ Çöz P 	Windows Version 3.1 (minimum gereklilik)	Ücretsiz Kullanım	QUAL2E yan kolları da kapsayacak şekilde akarsularda ve iyi karışımli göllerdeki klasik kirleticiler için bir kararlı hal modelidir. Su kalitesi yönetiminde planlama aracı olarak geliştirilen bu model, kararlı hal için olduğu gibi dinamik modellemede de kullanılabilir. Dünyada en sık kullanılan yüzeysel kalite modelidir.

Model Adı	Organizasyon / Kuruluş	Boyutu	Hidrolojik Durum Kabulü	Kirletici Parametreleri	İşletme Sistemi	Lisansız Kullanım Durumu	Açıklamalar
				<ul style="list-style-type: none"> ➤ Koliformlar ➤ Kararlı olmayan bileşikler (1 adet) ➤ Kararlık bileşikler (3 adet) 			
QUAL2K	Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA)	1D	Kararlı Durum	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Total N ➤ Total P ➤ DO ➤ BOD ➤ Sediman ➤ Oksijen İhtiyacı ➤ Alg ➤ pH ➤ Perifiton ➤ Patojenler 	Windows ME, 2000, XP MS Office 2000 veya daha yükseği	Ücretsiz Kullanım	Kararlı halde, hidrolik uniform olmayan sabit akışa göre günlük su kalitesi kinetiklerinin, ısı ve kütle girdileri, sıcaklık ve meteorolojik fonksiyonlarına göre noktasal ve noktasal olmayan kirletici kaynaklarını benzeştiren nehir ve ırmak su kalitesi modelidir.
MIKE-11	Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI)	1D	Kararsız Durum	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DO ➤ BOD ➤ NO₃⁻ ➤ NH₄⁺ ➤ Koliformlar ➤ P 	Windows 2000 / XP/Vista 7	Lisanslı Kullanım	Yerüstü suyu, akım modelleri, sediman taşınımı ve nehirlerde, kanallarda, haliçlerde ve taşkın yataklarında simülasyon yapan bir modelleme paket programıdır.

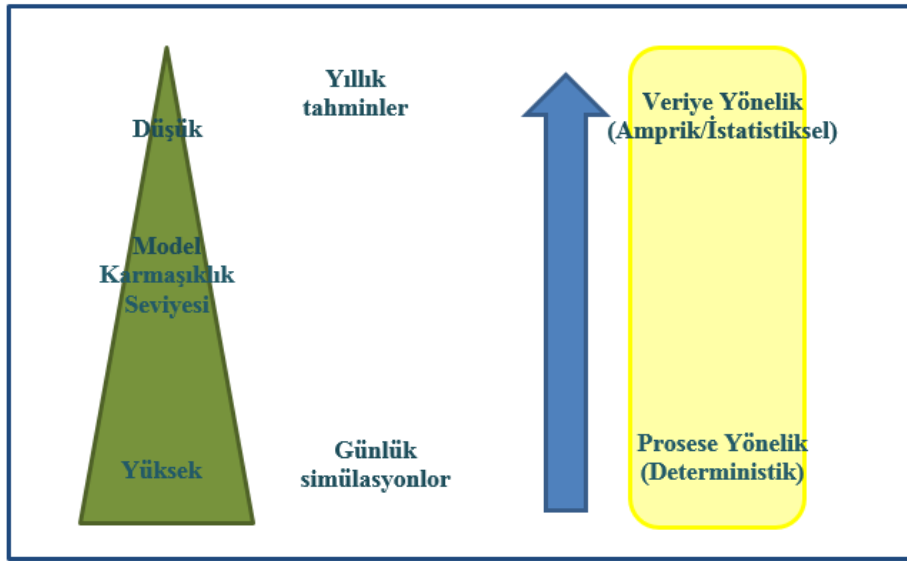
Model Adı	Organizasyon / Kuruluş	Boyutu	Hidrolojik Durum Kabulü	Kirletici Parametreleri	İşletme Sistemi	Lisansız Kullanım Durumu	Açıklamalar
WASP	Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA)	1D, 2D, 3D	Kararlı Durum Kararsız Durum seçenekleri mevcuttur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DO ➤ CBOD ➤ Amonyak ➤ Nitrat ➤ Organik N ➤ Organik P ➤ Ortho P ➤ Alglar ➤ Bentik Alglar ➤ Sediman ➤ Diagenesi 	Windows 95, 98, ME, 2000, XP	Ücretsiz Kullanım	<p>WASP, yüzey suyundaki kirleticilerin taşınımı ve transferini belirler. WASP, noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen yükleri ve sınır değerleri düşünerek adveksiyon ve dispersiyonun zamanla değişimini simule eder. Su kaynağı her bir kararlı değişken için başlangıç konsantrasyonları, sınır koşulları, yükler ve tam karışım olan kutulara bölünerek simule edilebilir.</p> <p>Alt Modülleri;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ EUTRO (temel su kalitesi değişkenleri ve basit besi maddesi döngüleri), ➤ İleri ötrofikasyon modülü, ➤ Sıcaklık simülasyonu modülü, ➤ TOXI (zehirli organik maddelerin davranışları) ➤ Cıva (TOXI'nin cıva için özelleştirilmiş sürümü)
AQUATOOL	Su ve Çevre Mühendislik Araştırma Enstitüsü (Universitat Politecnica De Valencia)	1D,2D	Kararlı Durum	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sıcaklık ➤ Çözünmüş Oksijen ➤ Karbonlu Organik Maddeler ➤ Org N ➤ NH₄ ➤ NNO₃ ➤ Phytoplankton ➤ Org P ➤ İnorg P 	Microsoft Windows NT, Vista	Ücretsiz Kullanım	<p>Program alt modüllerden oluşmaktadır. Su Kalitesi modülü GESCAL'dır. Kaliteyi etkileyen fizikokimyasal ve biyolojik prosesleri nehir bölümlerindeki elementlerde hesaplanmaktadır.</p>

Model Adı	Organizasyon / Kuruluş	Boyutu	Hidrolojik Durum Kabulü	Kirletici Parametreleri	İşletme Sistemi	Lisansız Kullanım Durumu	Açıklamalar
AQUATOX	Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA)	1D, 2D, 3D	Kararlı Durum Kararsız Durum seçenekleri mevcuttur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Besin Elemanları ➤ Organik Kimyasallar ➤ Askıda Katı Maddeler 	Windows XP, Vista, 7	Ücretsiz Kullanım	Sucul ekosistem için tasarlanmıştır. Çeşitli kirleticiler için hesap yapabilmektedir. Kirletici parametrelerinin balıklar ve omurgasızlar üzerindeki etkiyi ortaya koymaktadır.
WFD EXPLORER	Deltares Enstitüsü (Bağımsız Kuruluş / Hollanda)	Kararlı durum	Kararsız durum				WFD Explorer ŞÇD'nin uygulanmasının desteklenmesi için oluşturulmuş bir analiz aracıdır. Yerüstü sularının ekolojik ve kimyasal kalitesiyle ilgili belirlenen önlemlerin etkilerini de hesaplayabilmektedir. Önlemler noktasal ve yayılı yükler için belirlenebilmektedir. Hidromorfolojik değişikliklerin de etkisini ve maliyetini hesaplamak mümkündür.
MONERIS	Leibniz Tatlısu Ekolojisi ve İçsu Balıkçılık Enstitüsü (Leibniz Institute for Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB))	Yarı Statik Yöntem		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toplam N ➤ Toplam P ➤ Ağır Metaller ➤ Bazı Öncelikli Maddeler 	Windows 2000 / XP/Vista 7	Lisanslı Kullanım	Kavramsal olarak, MONERIS yerüstü suyu emisyonlarını, ağaç yapısı gibi topolojik olarak birbirine bağlı ama havzalarda birbirinden bağımsız yollardan gelen emisyonlar şeklinde hesaplamaktadır. Girdi verisi çeşitli kaynaklardan alınmaktadır. (Örn: istatistiksel yıllık kitaplar, emisyon envanterleri, dijital haritalar). Bu veriler her bir havzaya özgün değerlerinin oluşturulması için işleminden geçmektedir.

*HSPF : Hydrological Simulation Program
SWMM : Storm Water Management Model
PLOAD : The Pollutant Loading Estimator
GWLF-E : Generalized Watershed Loading Function model extension

4.4 Akarsu Kalitesi Model Seçimi

Modeller karmaşıklıkça sistemi ve kalite durumunu tanımlayan daha çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Veri toplaması ve değerlendirmesi zaman alan ve maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle suyu yönetenler tarafından seçilen modelin detay seviyesi ile model kapasitesinin tamamının kullanılması için gerekli verinin maliyeti arasındaki denge iyi kurulmalıdır. Bir modele fazla veri girilmesi onun en doğru sonucu vereceği anlamına gelmemektedir. En iyi modeller en düşük miktarda karmaşıklıkla en doğru sonuçlara ulaşabilen modellerdir. Dolayısı ile en düşük karmaşıklıkla su kalitesi sorunlarının çözümlenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 19. Model Karmaşıklık Seviyesi

Çalışma alanındaki sorunlar ortaya konup, modelleme yapılması gerektiğine karar verildikten sonra aşağıdaki sorulara cevap verilmelidir:

- ✓ Modelin boyutu ne olmalıdır?
- ✓ Modelin periyodu ne olmalıdır?
- ✓ Birden fazla model kullanılmasına gerek var mıdır?
- ✓ Modelleme sisteminin uygun karmaşıklık seviyesi ne olmalıdır?

Bu soruların içinde 'Uygun Karmaşıklık Seviyesi' kavramı bazında değerlendirme yapılırken kullanılan ve pek çok etmene bağlı olan önemli bir unsurdur. Öncelikle çözümlenmesi gereken sorunun karmaşıklığı ile ilgili teknik bilgiye ihtiyaç

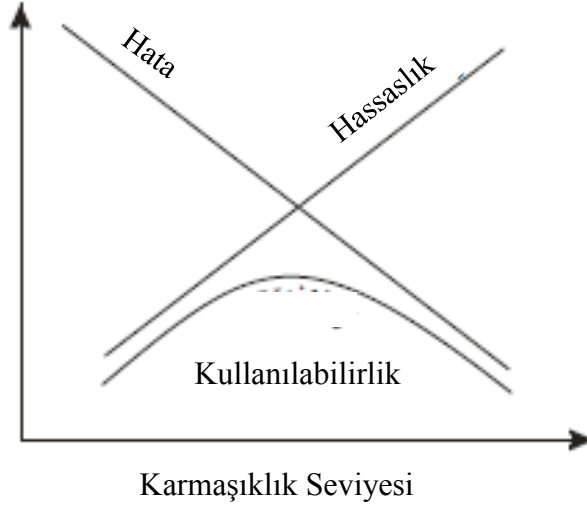
vardır. Örneğin karışım bölgesindeki Çevresel Kalite Standardının sağlanıp sağlanmadığı sorunu, ekolojik risklerin değerlendirilmesi sorunu ile karşılaştırıldığında doğası gereği daha basittir. Havza genelindeki sorunlar bölgesel sorunlara göre daha karmaşıktır. Çoklu kirletici kaynaklar tek kaynaklı kirleticilerden ve yayılı yükler noktasal yüklerden daha karmaşıktır. Karmaşıklık seviyesinin belirlenmesinde kirleticilerin özellikleri de önemlidir. Örneğin bozunan, faz değiştiren ve ortamda biyo-birikime uğrayan maddelerin kontrolü daha komplekstir. Bunlara ek olarak uygun karmaşıklık seviyesi, sosyolojik durumlardan da etkilenmektedir. Genellikle model sonuçlarına ilişkin paydaşların talepleri de model seçiminde önemlidir. Özellikle de model sonuçları maliyet getirecek bir yönetim planını destekliyor ise model paydaşları memnun edecek düzeyde yeterli detay ve bilimsel gerçekliğe sahip olmalıdır.

Modelleme çalışmalarında seçilecek modelleme programının ‘Uygun Karmaşıklık Seviyesi’ genel olarak;

- Su kaynağındaki problem (Modeller problem odaklı çalışılmalıdır ve problemin belirlenmesi amacı da ortaya koyacaktır.)
- Çalışmada istenilen güvenilirlik
- Çalışmada istenilen hassasiyet
- Su kaynağı ile ilgili temin edilebilecek veriler (hidrolojik, hidromorfolojik, su kalitesi verileri vb.)
- Problemin ortaya konulması için verilen zaman kısıtlaması
- Çalışma için belirlenen maliyete
- Çalışma için belirlenen personel kapasitesine
- Sahip olunan teknik donanıma
- Kullanıcının tecrübesine bağlıdır.

Snowling ve Kramer (2001) tarafından bir simülasyon modelinin belirsizliğinin, model karmaşıklığına, hassasiyete ve hataya göre ilişkilendiren bir hipotez önerilmektedir. (Şekil 19) Model hassasiyeti, serbestlik derecelerinin sayısının artması ve parametreler ile durum değişkenleri arasındaki etkileşimlerin yapısı nedeniyle model karmaşıklığı ile artmaktadır. Model hatası artan model karmaşıklığı ile birlikte daha fazla prosesi dahil ederek gerçek duruma daha yakın simülasyonlar

yapması ve basitleştirme varsayımlarının daha az kullanılması sebepleri ile azalmaktadır. (K.-E. Lindenschmidt, 2005)



Şekil 20. Belirsizlik (model hatası ve hassaslık) ve Model Kullanımının Model Karmaşıklığına göre Değişimi

Grafikte de görüldüğü gibi modellerin karmaşıklık seviyesi arttıkça, hatanın azalmasına karşın, kullanılabilirlik azalmaktadır. Çünkü karmaşıklık seviyesi veri ihtiyacını ve buna bağlı olarak da maliyeti artırmaktadır.

4.5 Akarsu Kalitesi İyi Model Uygulaması

Modeller modern dünyada su yönetimde vazgeçilmez bir araç olmaktadır. Politika hazırlanması, izleme verilerinin toplanması gibi su yönetiminin kritik ihtiyaçlarının karşılanması durumunda önemli yardımcı rolü oynamaktadır. Modellerin su yönetimde yaygın kullanımının sonucunda modelleme alanındaki işbirliğinin artırılması da önem verilmesi gereken bir konu haline gelmiştir.

Modeller böylesine esnek bir şekilde konuşlandırıldığında, uzman olmayanlar tarafından kullanım riskini de arttırmaktadır. Giriş verilerinin dikkatsiz kullanımı, yetersiz kalibrasyon ve validasyon, modelin kapsamı dışında çalışması, doğru olmayan model hipotezleri gibi sebepler de modeldeki hesaplamaların gerçekçi olmayan sonuçlar vermesine ve bu sonuçlarla su kaynaklarına ilişkin yanlış yönetimsel kararların alınmasına neden olmaktadır.

Dünya’da ve Türkiye’de su kaynaklarına ilişkin yapılan modelleme çalışmaları; modellemenin amacının açık bir şekilde ortaya konması, model varsayımlarının gerçeğe en yakın olacak şekilde ayarlanması, modellerin sonuçlarının paydaşlarla paylaşılması ve sonuçların raporlanması gibi iyi modelleme uygulamalarından uzak kalmaktadır. Etkili bir yönetim için disiplinler arası modeller; amaca uygunluğu, değişen yönetim ihtiyaçlarına göre esnekliği ve paydaşların da sonuçlara nasıl varıldığını görmesi için şeffaflığı gibi ek ölçütlerle de test edilmelidir.

Hollanda Hükümeti tarafından iyi modelleme uygulamalarının sağlanması amacıyla İyi Modelleme Uygulaması El Kitabı hazırlanmıştır. (Wageningen Üniversitesi, 1999) Söz konusu el kitabı modelleme prosedürünün bütün adımları ile ilgilidir. Modelleme adımlarının kontrol listesi olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır.

El kitabının genel amaçları;

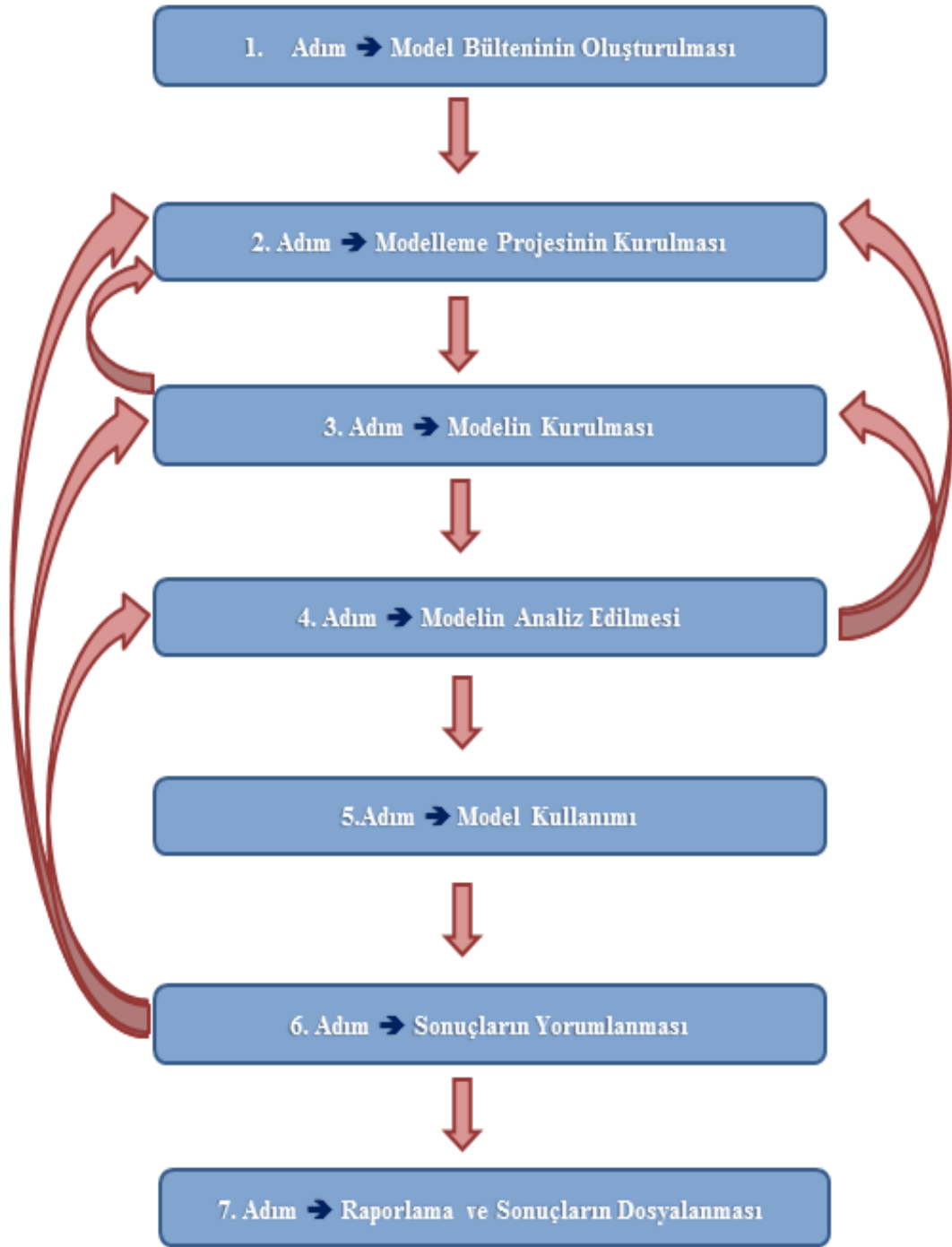
- ✓ Su yönetiminde tüm taraflarca desteklenen model kullanımı ile ilgili standardizasyonun sağlanması,
- ✓ Su yönetiminde modellerin daha dikkatli kullanılmasını teşvik etmek,
- ✓ Model çalışmalarının tekrarlanabilirliğini ve aktarılabilirliğini geliştirmektir.

El kitabının ana hedef grubu modelleme projeleri yürüten modelcilerdir. El Kitabı deneyimsiz bir modelciye bir modelleme projesinin dikkatli, tekrarlanabilir ve aktarılabilir bir şekilde yürütülmesi için açık ve adım adım bir plan ortaya koymaktadır. Daha deneyimli modelcilerin de modelleme sürecindeki tüm adımların yeterince dikkat edilerek yerine getirilip getirilmediğini kontrol etmek için oluşturulan kontrol listesini kullanmaları beklenmektedir.

El kitabı iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde su yönetimindeki modelleme çalışmalarındaki sorundan yorumlamaya ve dokümantasyona kadar bütün faaliyetlerin adım adım planı ve ikinci bölümde ise yeraltı suyu modellerinden su kalitesi modellerine kadar 13 farklı model uygulamasındaki tuzakların ve hassaslıkların özeti açıklanmaktadır.

Modelleme tekrar edilmesi gereken bir süreç olmaktadır ve bazı adımlardan sonra geri besleme yapılmalıdır. Dokümana göre modelleme temel olarak yedi

adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar ve geri besleme adımları Şekil 21’de gösterilmektedir.



Şekil 21. İyi Modelleme Uygulaması El Kitabı'na Göre Modelleme Aşamaları

Modelin kurulması öncesinde el kitabı veri analizinin, hem modelin kurulması için , hem de model çalıştırıldıktan sonra modelin doğrulanması ve kalibrasyonu için ihtiyaç duyulan veriler bazında yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Veri analizi kapsamında verilerin kalitesi, verilerin istatistiksel değerlendirmesi (uç değerler, eksik verilerin tamamlanması, yaklaşık değerler vb.), mevcutta bulunmayan verilerin temin edilebileceği kurumların belirlenmesi gibi çalışmalar yer almaktadır. Bunun yanı sıra el kitabı, verilerin, ölçümlerin hangi yöntemlerle yapıldığı, kimin tarafından ölçüldüğü, hangi doğrulukta ölçümlerin yapıldığı gibi bilgilerin yer aldığı meta verisinin de temin edilmesine dikkat çekmektedir.

Model analizi adımında kalibrasyon, belirsizlik analizi ve geçerlilik kontrolünün yapılması önerilmektedir. Kalibre edilen modelin tesadüfen sistemin özel bir anını temsil eden bir veri seti ile yapılmadığından emin olunması için de geçerlilik kontrolü (validasyon) yapılmalıdır. Kalibrasyon adımında kullanılmayan bir veri seti ile model çalıştırılmalı ve sonuçlar değerlendirilmelidir.

5. BASİT AKARSU MODELLEME PROGRAMI (SİSMOD)

BaSİt AkarSu MODELi (SİSMOD); akım yönünde tek boyutta basit hidrolik ve su kalitesi hesapları yapabilen, kullanımı kolay ve diğer yazılımlarla birlikte tümleşik olarak çalışabilecek şekilde tasarlanmış bir su kalitesi modelleme yazılımıdır. Türkiye’de geliştirilen model (Sürümü 0.9.5) açık kaynak kodludur ve Fortran yazılım dilinde oluşturulmuştur (Ertürk A., 2010).

SİSMOD modelinin arayüzü bulunmamakta olup sadece konsol uygulaması ile kullanıma sahiptir. Veri dosyalarını ‘.txt’ formatında kabul etmektedir. Program detaylı bir kullanım kılavuzuna sahiptir. Bu bölümdeki bilgiler programın kullanım kılavuzundan yararlanılarak yazılmıştır.

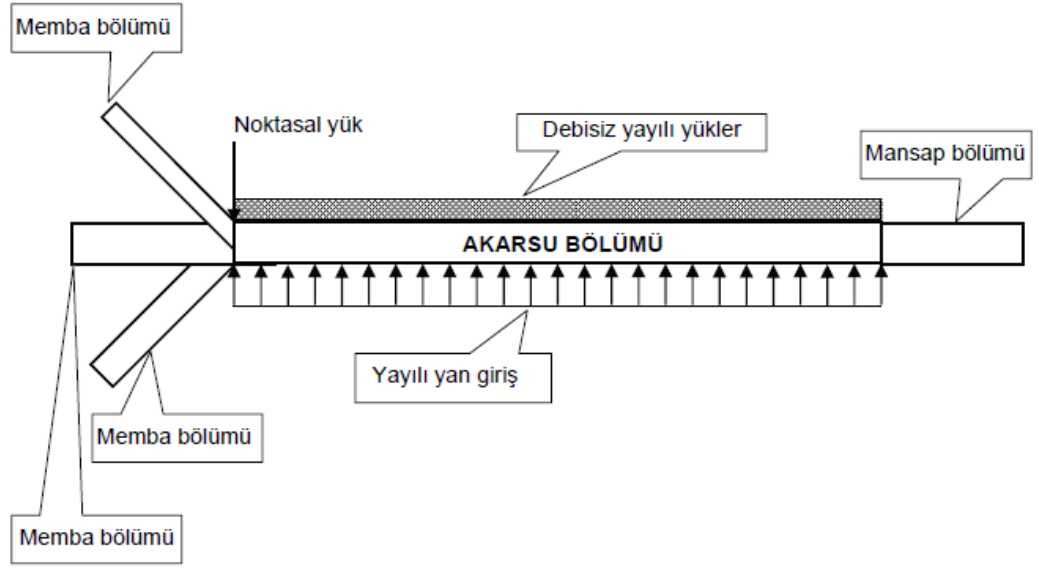
Çizelge 3. SİSMOD Programının Özellikleri ve Sınıflandırılması

Model Sınıflaması	Açıklamalar	Açıklama
Matematiksel	Denklemlerin çözümünde genellikle analitik çözüm yöntemini kullanmaktadır. Bazı ara hesaplarda sayısal algoritma uygulanmaktadır.	Daha hızlı sonuçlar üretmesine imkân sağlar.
Simülasyon	Program sistem fonksiyonlarını tanımlar ve bunları bilgisayar ortamında benzetim yoluyla modeller.	En iyi çözümün ne olduğu ile ilgili yorumu kullanıcıya bırakılmaktadır.
Kararlı Durum (statik)	Kararlı durum varsayımı ile çalışır ve zaman parametresinden bağımsızdır. Bir akarsu bölümü boyunca <ul style="list-style-type: none">➤ Akarsu yatağının geometrisinin (enkesit, taban eğimi, vb)➤ Suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve su yüzeyinin deniz seviyesine göre ortalama kotunun➤ Su kalitesi modeli ile ilgili kinetik özelliklerin değişmediklerini kabul edilmektedir.	Bu parametrelerin zamana göre değişimi ihmal edilebilir seviyede olmadığı durumlar için kullanımı önerilmemektedir.

Model Sınıflaması	Açıklamalar	Açıklama
Dağınık Parametrelili	Akım yönünde tek boyutta mekânsal modelleme yapmaktadır.	Piston Akım Reaktör (PFR) varsayımı ile çalışmaktadır. Arka arkaya sıralanmış reaktörler şeklinde tasarlanmıştır. Bunlar adveksiyonun baskın olduğu reaktörlerdir. Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktörlere (SKTR) göre daha kısa bekleme süresinde istenilen verime ulaşabilmektedir. (Chapra, 1997) Akarsu için PFR uzun ve ince olmaları nedeni ile daha gerçekçidir.
Deterministik	Modelde, model katsayıları için kesin sayılar olarak verilmektedir.	Aynı verilerle modelin her çalıştırıldığında zamana ve konuma göre değişken ama tekil veriler üretilmektedir. Deterministik model olması nedeni ile değişken belirsizliğini hesaba katması için ayrı bir program oluşturularak farklı katsayılar ile yapılan simülasyon sonuçları istatistiksel olarak analiz edilebilir.

5.1 Model Ağı

SİSMOD, bir akarsuyun bölümlerden oluştuğunu kabulü ile hesap yapmaktadır. Her bir noktasal yük için yeni bir bölüm oluşturulmalıdır. Bir akarsu bölümünün tüm bileşenleri Şekil 22’de gösterilmektedir.



Şekil 22. Akarsu Bölümü ve Bileşenleri

SİSMOD model ağında üç tür akarsu bölümü vardır. Bunlar, başlangıç bölümü, standart bölüm ve akarsu bitişi bölümü olarak tanımlanmıştır. Başlangıç bölümü, fiziksel anlamda akarsuyun, model ağında ise model ağının başladığı bölümlerdir. Bir model ağında birçok başlangıç bölümü tanımlanabilmektedir. Standart bölüm, herhangi bir özelliği olmayan akarsu bölümüdür. Akarsu bitişi bölümü ise model ağının bittiği ve tüm debinin sistemden çıktığı akarsu bölümüdür. Bir model ağında yalnızca bir akarsu bitişi bölümü bulunabilir.

5.2 Hidrolik Hesaplar

Hidrolik hesaplar akarsudaki akımın kararlı ve yerel olarak üniform olduğu kabulüne göre yapılmaktadır. SİSMOD, kararlı (permanan) akımlar için yerel üniform akım kabulüne göre hesap yapan bir hidrolik modül içermektedir.

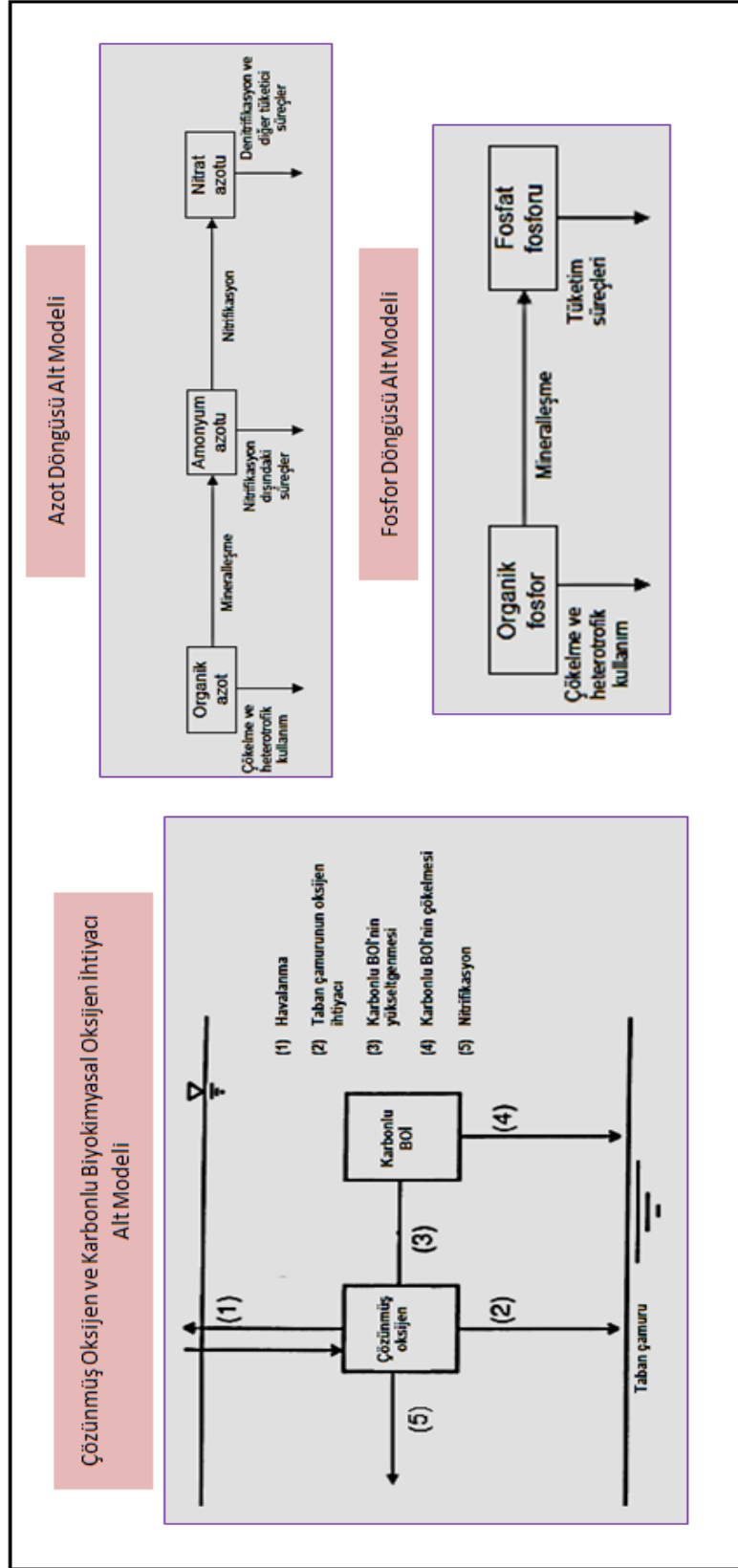
5.3 Su Kalitesi Hesapları

Su kalitesi hesapları, hidrolik hesaplarla adım adım ve seri olarak yürütülmektedir. Model; çözülmüş oksijen, karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı, organik azot, amonyum azotu, nitrat azotu organik fosfor ve fosfat fosforu olmak üzere

yedi su kalitesi değişkeninin benzetimini aerobik ve anaerobik koşullar için yapabilmektedir.

İçerdiği algoritmalar ile program;

- Akarsu bölümlerinin memba ve mansap bağlantılarına göre hangi bölümün önce hesaplanması gerektiğini belirleyebilir,
- İkizkenar üçgen, dikdörtgen, ikizkenar yamuk ve düzensiz enkesitlerde hidrolik hesaplar yapabilir,
- Noktasal ve yayılı kirletici kaynakların etkilerini kütle dengesine dâhil edebilir,
- Aerobik ve anaerobik koşulların başladığı ve sona erdiği konumların belirlenerek koşullara göre geçerli olan denklemlerin kullanılmasını sağlayabilir.



Şekil 23. SİSMOD Su Kalitesi Parametreleri Alt Modelleri

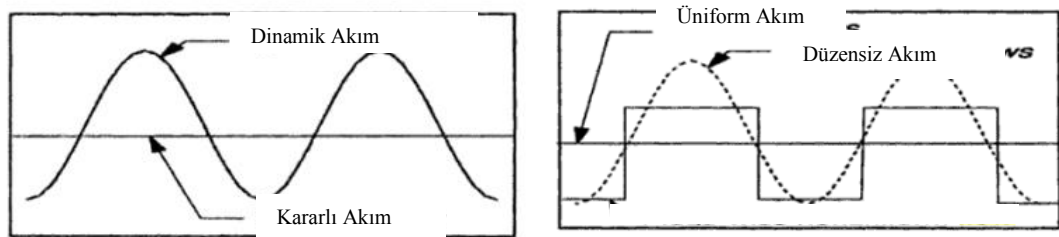
Şekil 23’de verilen alt modele göre su kalitesi hesabı yapan SİSMOD aerobik ve anaerobik koşullar için hesap yapabilmektedir. Çözünmüş oksijen seviyesi 0.5 mg/L’nin altına düşmesi durumunda anaerobik denklemlerle hesap yapılmaktadır. Program tarafından su kalitesi hesabı yapılırken kullanılan denklemler ekte verilmektedir.

5.4 Modelin Yetenekleri ve Sınırları

5.4.1 Su Kalitesi Modelinin Yetenekleri ve Sınırları

SİSMOD hidrolik hesapları, kararlı durum altında üniform akım kabulü ile yapmaktadır. Yani akımın aynı hesap noktasında zamana ve mekana bağlı değişmediğini varsayımı ile debi hesabını yapmaktadır. Farklı hesap elemanları için o noktadaki en kesit özelliklerine göre üniform akım kabulü yapılmasına rağmen farklı hız ve derinlik hesabı yapmaktadır. Bu şekilde hesap elemanlarının arka arakaya dizildiği düşünüldüğünde sanki üniform olmayan akım koşulunu temel olarak modelleniyormuş gibi olmaktadır.

Akım, akarsuyun dengeye ulaşması için yeterince uzun sabit kaldığında kararlı olmaktadır. Dengeye ulaşması için gereken zaman, akımın hızına ve akarsuyun uzunluğuna bağlıdır. Eğer akarsudaki sabit akım süresi (akımın sabit kaldığı zaman periyodu) seyahat süresinden kısa ise, sistemin sabit akıma ve kararlı durum koşullarına ulaşması kısa bölümlerle sınırlı kalmaktadır.



Şekil 24. Akım Rejimi Karşılaştırması (James L. Martin, 1999)

Akarsuyun en kesiti boyunca homojenliği kullanılacak modelin karmaşıklığını da belirlemektedir. Eğer akarsu en kesiti önemli ölçüde değişiklik göstermiyorsa üniform akım varsayımı yapılması hatayı arttırmayacaktır. (James L. Martin, 1999)

Pek çok su kalitesi modelinde üniform akım kabulü ile hız ve derinlik hesabı yapılmaktadır. Ancak, örneğin akarsuda engel var ise model suyu geri kabartmayacak veya ani değişken akım modeli yapmayacaktır. Akarsu boyunca karşılaşılan ani değişken ve yavaş akım koşullarında konumsal değişimin önemli olduğu akarsularda hata oranı artacaktır.

SİSMOD yalnızca adveksiyon ile madde taşınımının benzetimini yapmakta, dispersiyonun etkisini göz ardı etmektedir. Akarsularda dispersiyon prosesinin kirletici taşınımı açısından önemi adveksiyona oranla daha düşüktür. Dispersiyon etkisi kirlilik yükünün sürekli olduğu nehirlerde ihmal edilebilmektedir. Ancak bazı büyük nehirlerde hızın azaldığı ve kirletici taşınımında dispersiyonun öne çıktığı bazı bölgesel koşullar oluşabilmektedir. Bu genellikle nehirlerin mansabında denize veya halice yaklaştığı yerlerde olmaktadır. Bu bölgelerde su hızı sıfırlara kadar düşebilmektedir. Bu nedenle; dispersiyonun önemli olduğu, akarsuların denize ulaştığı geçiş suları gibi su ortamlarında yalnızca adveksiyon ile taşınımına göre modelleme yapmak doğru sonuçlar vermeyebilir. (Chaiwiwatworakul P, 2005)

Modelin bir diğer sınırlandırıcı özelliği ise azot ve fosfor döngülerinin gerçek sistemlerde olduğu gibi birbirlerine birincil üretim üzerinden bağlanmamasıdır. Birincil üreticiler (ototroflar) enerjilerini güneş ışığından (fotosentez) ve cansız kaynaklardan sağlayan organizmalardır. Akarsularda; algler, yüksek bitkiler (makrofitler) ve bazı bakteriler ile tek hücreli canlılar birincil üreticilerdir. Su kolonunda asılı yaşayan algler fitoplankton ve substratlara yapışık yaşayanlar ise bentik algler ya da perifitonlardır. (Castillo, 2007) Perifiton ve fitoplankton su ekosistemlerinde baskın organik madde üreticileridir. Ayrıca su ekosistemlerinde karbon fiksasyonu ile azot, fosfor gibi besin elementlerinin ayrıştırılmasından sorumludurlar. (Chang Hyuk Ahn, 2013)



Şekil 25. Sabit Taşlara Yapışık Yaşayan Algler

Akarsularda birincil üreticilerin varlığı, o akarsuyun hızına yani hidrolik bekleme süresine bağlıdır. Hızlı akan ve hidrolik bekleme süresi 3-7 günden daha az olan nehir suları için birincil üretim azot ve fosfor konsantrasyonuna etkisi ihmal edilebilir seviyede olacaktır. Alglerin büyüme hızı 3 ve siyanobakterilerinin büyüme hızı ise 21 günden fazla sürmektedir. Algler çok hızlı üremedikleri için sistemdeki güneş ışığı bitkiler ve fitobentoz için uygun olmaktadır ve kararlı bir ekosistem oluşmaktadır. Akarsularda besin maddelerinin birikmesi durumu, göle veya denize ulaştığı mansap noktalarında olmaktadır.

Yapılan bir deneyde sabit debili bir kanalda, perifiton biyokütlesi 3-6 haftalık bekleme süresinde hızla artış göstermiştir. (SHonnnrn, 1978) Orinoco Akarsuyunda yapılan bir çalışmada ise; bulanıklık, derinlik ve hızlı bir akım sonucu ile uygun olmayan çevresel koşullara sahip olması nedeni ile çok düşük fitoplankton üretimi ($4-43 \text{ mg C m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) olduğu sonucuna varılmıştır. (Lewis, 1988)

Literatürde yer alan çalışmalar sonucuna göre perifiton biyokütlesi su hızının artmasıyla kritik hız sınırına ulaşana kadar artmaktadır. Kritik hız ise 20 cm/s ile 50 cm/s arasında olmaktadır. Kritik hız seviyesine ulaştıktan sonra fiziksel parçalanma ve perifitonun yer değiştirmesi gibi olaylar sonucunda perifiton biyokütlesi azalmaya başlamaktadır. (Chang Hyuk Ahn, 2013)

Türkiye akarsuları genel olarak eğimin ve rakımın yüksek olması nedeni ile yüksek hızda akmaktadır ve hidrolik bekleme süresi kısalmaktadır. Bu süre ise birincil üreticilerin büyüme hızından düşük olması nedeni ile birincil üretim ihmal edilebilir seviyede olmaktadır.

5.4.2 Su Kalitesi Modeli Yazılımının Yetenekleri ve Sınırları

SİSMOD, kullanıcılara ücretsiz ve kaynak kodu ile birlikte verilen bir yazılımdır. Fortran 90&95 ile dinamik bellek yönetimi kullanılarak tasarlanıp geliştirilmiş olduğu için model ağının oluşturulması ile ilgili kurallara uyulduğu ve kullanılan bilgisayarın belleği yeterli olduğu sürece herhangi büyüklükte ve karmaşıklıkta bir akarsu sisteminin benzetimini yapabilmektedir.

Program basit bir hata kontrolü algoritması içermektedir. Model girdilerini oluştururken programın kurallarına uyulmadığında, hatanın satır adımını belirtmektedir. Ancak fiziksel olarak mümkün olmayan büyüklükler girilmesi durumunda program kullanıcıyı uyarmadan benzetime başlar ve bu durumda beklenmedik sonuçlar üretebilir ya da bir çalışma zamanı hatası vererek sonlanabilir.

Yazılım sisteminin sınırlamaları;

- SİSMOD herhangi bir ön işlemci ya da son işlemci yazılımı içermemektedir. Model girdileri ASCII tabanlı bir metin dosyası ile modele girilmekte ve model ASCII tabanlı metin dosyaları ile çıktılar ve benzetim sonuçları üretmektedir.
- SİSMOD arayüze sahip değildir. Yalnızca konsol uygulaması ile kullanılabilir.
- Benzetim sonuçları text formatında vermektedir ve sonuçları görselleştirme işlemi kullanıcı tarafından ayrıca yapılmalıdır.
- Kalibrasyon elle deneme yanılma yöntemiyle yapılmalıdır, bu uzun zaman almaktadır.

6. ALAŞEHİR ÇAYI ALT HAVZASI SU KALİTESİNİN BASİT AKARSU MODELİ (SİSMOD) İLE MODELLENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde Basit Akarsu Modellemesi Programı (SİSMOD) kullanılarak Gediz Havzasında bulunan Alaşehir Çayı alt havzası nehir sularının kalite modellemesi yapılmıştır. Havzadaki problem ve modelleme yapılmasındaki amacın ortaya konmasından model sonuçlarına kadar süreç ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır.

6.1 Havzadaki Su Kalitesi Problemi ve Modellemenin Amacı

Havzalardaki su kirliliği, havzadaki ekolojik hayatı doğrudan etkilemektedir. Gediz Havzası'nda da küresel iklim değişikliği sonucu olarak yerüstü sularında debilerin azalmasının da etkisiyle, su kaynaklarında düşük çözünmüş oksijen seviyesi önemli bir sorun haline gelmiştir. Çözünmüş oksijen, sudaki canlı hayatın sürdürülmesi için en önemli parametredir. Çözünmüş oksijen seviyesinin düşük olması Gediz Nehri'nde sucul ekosistemi olumsuz etkilemektedir. Gediz Nehrinin en uzun bölümü Manisa ilinden geçmektedir ve Alaşehir Çayı da geniş su toplama havzasına sahip bir yan koludur. Gediz Nehrindeki kirliliğin araştırılması kapsamında Alaşehir Çayının da yer aldığı Alaşehir Çayı Alt Havzası da incelenmelidir.

Bu soruna çözüm önerisi getirilmesi için Alaşehir Çayı Alt Havzasında su kütlelerinde çözünmüş oksijen seviyesini etkileyen baskılar ortaya konmalıdır. Ayrıca, havzada planlanan arıtma tesisi yatırımlarının hangi seviyelerde iyileşme sağlayacağı da değerlendirilmelidir. Bu maksatla, Alaşehir Çayı Alt Havzası su kalite modeli kurulmalı ve Gediz Havzası Koruma Eylem Planı kapsamında planlanan atıksu arıtma tesisi yatırımlarının su kalitesindeki etkisi incelenmelidir.

6.2 Modelin Kurulması

6.2.1 Alaşehir Çayı Alt Havzası Genel Özellikleri

6.2.1.1 Alaşehir Çayı Alt Havzasının Genel Durumu

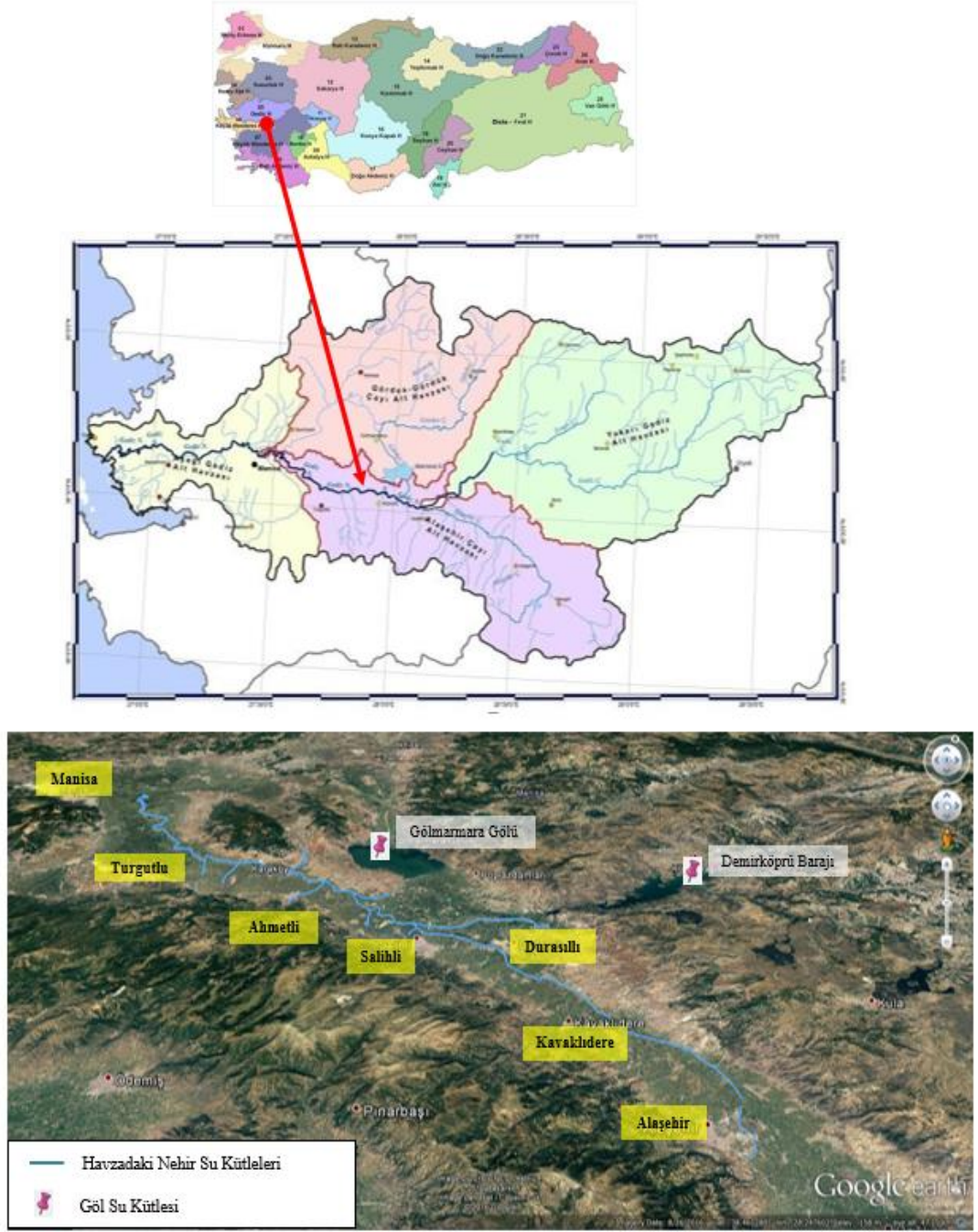
Alaşehir Çayı Alt Havzası ise Gediz Havzasının güney-güneydoğu uzantısında yer almaktadır. Havza sınırları içerisinde; Sarıgöl, Alaşehir, Salihli, Ahmetli ve Turgutlu ilçeleri bulunmaktadır.

Çizelge 4. Alaşehir Çayı Alt Havzası Model Sınır Koşullarında Yer Alan Yerleşim Yerleri Nüfus Bilgileri

Yerleşim Yerleri (Manisa İli)	2014	2015	2016
Alaşehir İlçesi	99.962	100.254	101.313
Kavaklıdere Mahallesi	4851	4774	4765
Kemaliye Mahallesi	1537	1501	1474
Piyadeler Mahallesi	1477	1439	1454
Salihli İlçesi	156.861	158.568	159.951
Durasıllı Mahallesi	5178	5903	5983
Sart Mahallesi	5113	5115	5131
Taytan Mahallesi	2549	2421	2622
Yılmaz Mahallesi	5984	6009	6017
Ahmetli İlçesi	16.104	16.46	16.314
Turgutlu İlçesi	150.46	153.687	156.567
Avşar Mahallesi	2490	2578	2590
Derbent Mahallesi	2022	1962	1914
Urganlı Mahallesi	4695	4547	4522
Saruhanlı İlçesi*	53684	53692	53921
Büyükbelen Mahallesi	2729	2611	2556
Gümülceli Mahallesi	1276	1203	1192
Koldere Mahallesi	3310	3231	3189
Selendi İlçesi*	21437	20976	20718
Hacıhalliler Mahallesi	130	121	117
Sarıgöl İlçesi	36.206	35.966	35.987

* İlçe merkezleri havzada yer almamaktadır.

Havzanın arazi kullanım durumuna bakıldığında çoğunlukla tarımsal alanlar ile orman ve yarı doğal alanlardan oluştuğu görülmektedir. Şekil 26'da havzanın konumu ve havzadaki su kütleleri verilmektedir.



Şekil 26. Alaşehir Çayı Alt Havzası Yer Bulduru Haritası

6.2.1.2 Alaşehir Çayı Alt Havzasında Yer Alan Su Kaynakları ve Hidrolojik Yapılar

Alaşehir Çayı güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda akarak Salihli yakınlığında Gediz Çayı ile birleşmekte ve Gediz Nehri ana kolunu oluşturmaktadır. Alaşehir Çayı, havzanın güney aksından kaynaklanan en yüksek debili hidrolojik bileşendir.

Havzada Gölarmara doğal gölü ve Demirköprü Barajı bulunmaktadır. Gölarmara 320 milyon m³ su depolama hacmi ile Gediz Havza'sında tarımsal sulama amacıyla kullanılan ikinci büyük su depolama yapısıdır. Demirköprü Barajı ise sulama, taşkın koruma ve enerji üretimi amaçlı olarak 1960 yılında devreye alınmıştır. Toplam 99.220 hektar sulama alanına hizmet vermek üzere kurulmuş olan barajın 3x23 MW kapasiteli hidroelektrik santralinde sulama suyu bırakılan aylarda enerji üretimi de yapılmaktadır.

6.2.1.3 Alaşehir Çayı Alt Havzasının Meteorolojik Bilgisi

Havza Akdeniz iklim tipi özelliklerine sahiptir. Yazlar kurak, kışlar bol yağışlı olmaktadır. Yıllık yağışın %44'ü kış mevsiminde, %36'sı sonbaharda, %16'sı ilkbaharda ve %3,5'i de yaz mevsiminde gerçekleşmektedir.

Havzada Turgutlu, Ahmetli, Salihli ve Alaşehir İstasyonları olmak üzere 4 adet Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) bulunmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 2014, 2015 ve 2016 yılı istasyon verilerine göre aylık ortalama sıcaklık (°C) ve yağış değerleri (mm) Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmektedir. Buna göre alt havzadaki en yüksek sıcaklık ağustos ayında ölçülen 28,78 °C değeri ve en düşük sıcaklık ise aralık ayında ölçülen 3,11 °C değeridir. Yağış verilerine bakıldığında ise aralık ayında ölçülen 5,44 mm en yüksek yağış miktarıdır.

Çizelge 5. Alaşehir Çayı Alt Havzası Aylık Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)

İstasyon Adı	Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ahmetli İstasyonu	2014	8,43	8,44	10,96	15,77	19,76	23,29	27,15	28,14	22,37	16,98	11,45	9,55
	2015	6,00	7,49	10,31	13,09	20,92	22,72	27,12	27,20	24,37	17,49	11,84	3,85
	2016	6,01	11,29	11,88	17,81	19,34	26,08	27,50	27,83	22,59	16,59	10,49	3,38
Alaşehir İstasyonu	2014	9,04	8,99	11,49	16,30	20,09	23,60	27,63	27,99	22,37	16,98	11,44	9,97
	2015	6,24	7,82	10,23	13,28	21,13	22,19	27,38	27,30	24,27	17,27	11,91	3,94
	2016	6,05	11,73	11,93	18,45	19,22	26,32	27,65	26,70	22,08	16,38	10,48	3,11
Turgutlu İstasyonu	2014	8,38	8,46	10,97	15,54	19,63	22,89	26,13	26,57	21,93	17,06	11,21	9,60
	2015	3,89	6,93	10,25	13,15	20,39	22,41	25,98	26,51	23,87	17,20	11,96	3,94
	2016	6,15	11,49	11,01	17,75	19,62	25,98	27,15	27,89	22,43	16,52	10,79	3,63

İstasyon Adı	Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Salihli İstasyonu	2014	9,46	9,47	11,77	16,58	20,54	24,51	28,33	28,78	23,24	17,87	12,10	10,22
	2015	6,45	7,96	10,70	13,95	21,37	23,17	28,37	28,52	25,75	18,65	13,50	5,53
	2016	6,65	12,34	12,41	19,09	20,28	27,53	28,66	28,42	23,74	17,99	11,80	4,34

Çizelge 6. Alaşehir Çayı Alt Havzası Yağış Değerleri (mm)

İstasyon Adı	Yıllar	Aylık Ortalama Yağış Değerleri (mm)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Salihli İstasyonu	2014	0,94	0,66	0,94	1,69	0,64	1,99	0,00	0,07	1,01	0,62	0,85	4,79
	2015	3,79	2,79	1,53	1,38	1,35	1,44	0,14	0,60	0,39	0,79	1,50	0,03
	2016	4,07	0,99	3,20	0,03	0,78	0,00	0,00	0,64	0,89	0,20	3,08	0,70
Ahmetli İstasyonu	2014	0,02	0,00	0,94	2,39	0,91	1,33	0,00	0,00	0,35	0,68	0,79	5,44
	2015	3,40	2,44	1,69	1,08	1,33	2,62	0,01	0,34	0,40	0,81	1,48	0,02
	2016	4,48	1,40	3,17	0,11	0,95	0,22	0,05	0,58	0,41	0,05	2,58	0,68

6.2.1.4 Alaşehir Çayı Alt Havzası Su Kaynaklarına Baskılar

Havzada katı atıklar düzensiz depolama sahalarında depolanmakta olup, dere ve çay kenarlarına, terk edilmiş maden ocaklarına ve orman vasfını yitirmiş arazilere kontrolsüz bir şekilde dökülmektedir. Depolama alanlarından da sızıntı suları yerüstü ve yeraltı sularına karışmaktadır. Düzenli katı atık depolama alanı bulunmamaktadır.

Havzada yer alan yerleşimlerden Alaşehir, Ahmetli, Durasılı ve Salihli'de Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi bulunmaktadır. Ancak Alaşehir'deki tesisin kapasitesi ve teknolojisi yetersiz kalmaktadır. Turgutlu ilçe merkezi atıksuları doğrudan deşarj edilmekte olup, havzadaki en önemli noktasal baskıdır. Bunların dışında kalan yerleşimler atıksuları Alaşehir Çayına ve kollarına doğrudan deşarj etmektedir. Alaşehir Kemaliye beldesinde belediyenin kapanması sonrasında atıksu arıtma tesisi inşaatı yarım kalmış olup ödenek beklenmektedir.

Çizelge 7. Alaşehir Çayı Alt Havzası Model Sınırlarında Yer Alan Yerleşim Yerleri ve Deşarj Türleri

Yerleşim Yerleri	Deşarj Türü
Alaşehir İlçesi	Kentsel AAT
Kavaklıdere Mahallesi	Doğrudan Deşarj
Kemaliye Mahallesi	Doğrudan Deşarj
Piyadeler Mahallesi	Doğrudan Deşarj
Salihli İlçesi	Kentsel AAT
Durasılı Mahallesi	Kentsel AAT
Sart Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Taytan Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Yılmaz Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Ahmetli İlçesi	Kentsel AAT
Turgutlu İlçesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Avşar Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Derbent Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Urganlı Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Saruhanlı İlçesi*	-
Büyükbelen Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Gümülceli Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Koldere Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Selendi İlçesi*	-
Hacıhalliler Mahallesi	Kentsel Doğrudan Deşarj
Sarıgöl İlçesi	Kentsel Doğrudan Deşarj

* İlçe merkezleri havzada yer almamaktadır.

Çizelge 8. Alaşehir Çayı Alt Havzası İşletmedeki Atıksu Arıtma Tesis Bilgisi

No	Arıtma Tesisi	Bağlı Yerleşim	Arıtma Türü	Kapasitesi (m ³ /gün)	Mertebe	Değerlendirme
1	Alaşehir AAT	Alaşehir	Damlatmalı Filtre	16.000	İkincil	Eski Teknoloji Yetersiz
2	Salihli AAT	Salihli	Aktif Çamur	20.350	İleri	Yeterli
3	Durasıllı KAAT	Salihli	Aktif Çamur	650	İkincil	Yeterli
4	Ahmetli AAT	Ahmetli	Aktif Çamur	1.992	İkincil	Yeterli

Çizelge 9. Alaşehir Çayı Alt Havzası İnşaat Halinde Olan Arıtma Tesis Bilgileri

No	Arıtma Tesisi	Bağlı Yerleşim	Arıtma Türü	Mertebe
1	Alaşehir AAT	Alaşehir	Aktif Çamur	İleri
2	Turgutlu AAT	Turgutlu	Aktif Çamur	İleri
3	Kemaliye AAT	Alaşehir	Aktif Çamur	İkincil

Çizelge 10. Alaşehir Çayı Alt Havzası Planlanan Arıtma Tesis Bilgileri

No	Arıtma Tesisi	Bağlı Yerleşim	Arıtma Türü	Mertebe
1	Kavaklıdere & Piyadeler AAT	Alaşehir	Aktif Çamur	İkincil
2	Avşar & Derbent AAT	Turgutlu	Aktif Çamur	İkincil
3	Urganlı AAT	Turgutlu	Aktif Çamur	İkincil
4	Büyükbelen AAT	Saruhanlı	Aktif Çamur	İkincil

Havzadaki diğer önemli noktasal kirletici problemi ise endüstriyel deşarjlardır. Özellikle de Salihli ve Alaşehir ilçelerinde endüstriyel faaliyetler yoğun olarak görülmektedir. Salihli’de Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. Havzada zeytinyağı üretim tesisleri ve kuru üzüm işletmeleri de bulunmaktadır.

Zeytinyağı üretim tesislerinde, yağın santrifüjlenerek ayrılması esasına dayanan sürekli üretim prosesi iki fazlı ve üç fazlı üretim olmak üzere ikiye ayrılır. Üç

fazlı üretim sisteminde, proses suyu kullanılmakta olup proses sonunda yağ atıksu (karasu) ve katı kısım (pirina) oluşmaktadır. Bu proseste önemli miktarlarda su eklenmesi nedeni ile atıksu oluşumu da fazladır. İki fazlı üretim sisteminde ise proses suyu ilave edilmez ve proses sonucunda sadece yağ ve pirina oluşmaktadır. İki fazlı sistemler daha ekolojiktir. (Fusun Şengül, 2003)

Havzada yer alan zeytinyağı üretim tesislerinin tamamı üç fazlıdır ve atıksularını lagünlerde yeterince beklettikten sonra deşarj etmektedirler.

Zeytinyağı tesisleri havzada Kasım, Aralık ve Ocak aylarında faaliyet göstermektedir. Tesislerin tamamı üç fazlı üretim yapmaktadır. Üç fazlı üretim sisteminde, proses suyu kullanılmaktadır ve proses sonucunda yağ, atıksu (karasu) ve katı kısım (pirina) açığa çıkmaktadır. İçerdiği yüksek organik kirlilik ve fitotoksik ve antibakteriyel polifenollerin varlığından dolayı karasuyun araziye veya sucul bir ortama kontrolsüz şekilde deşarj edilmesi önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar, 1 m³ karasuyun içerdiği organik kirliliğin 1000 kişi nüfus eşdeğeri bir tesisin 1 günlük organik kirliliğiyle eşdeğer düzeyde olduğunu göstermektedir. (OSİB, 2013)

Çizelge 11. Alaşehir Çayı Alt Havzası Model Sınır Koşullarında Yer Alan Endüstriyel Tesisler

NO	DEŞARJ NOKTALARI	Su Kütleli	AAT Durumu	DEŞARJ DÖNEMİ			
				KASIM	ŞUBAT	MAYIS	AĞUSTOS
1	Eda Turizm Otelcilik	GEN_038	-	√	√	√	√
2	Global Üzüm	GEN_033	√	√	-	√	√
3	Grappe Gıda Sanayi Tic.	GEN_035	√	√	-	√	√
4	Karpet Gıda Maddeleri Ve Petrol Ürünleri Nak. İnş. Malz. Kömür Tic. Oto Ltd. Şti.	GEN_038	√	√	-	√	√
5	Kavaklıdere Şarapları	GEN_033	√	√	√	√	√
6	Mey Alkollü İçkiler San. Tic. A.Ş.	GEN_032	√	√	√	√	√

NO	DEŞARJ NOKTALARI	Su Kütlesi	AAT Durumu	DEŞARJ DÖNEMİ			
				KASIM	ŞUBAT	MAYIS	AĞUSTOS
7	Orka Kuru Üzüm İşletme	GEN_038	√	√	-	√	√
8	Parmaksız Gıda	GEN_033	√	√	-	√	√
9	Salihli Belediyesi Mezbahası	GEN_036	√	√	√	√	√
10	Salihli Dericiler Sanayi Sitesi	GEN_036	√	√	-	-	√
11	Salihli Org. Sanayi Bölgesi	GEN_034	√	√	√	√	√
12	Salsa Tarım ürünleri salça ve salamura	GEN_043	√	√	-	√	√
13	Tamek Gıda ve Konsantre A.Ş.	GEN_022	√	√	-	-	√
14	Tuğrul Tarım Ticaret A.Ş.	GEN_022	√	√	-	-	√
15	Acar Petrol Ürünleri	GEN_038	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
16	Adala Zeytincilik	GEN_036	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
17	Bintepeler San. Tic. Ltd. Şti.	GEN_041	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
18	Çimpa Gıda Tarım Ürünleri San.A.Ş.	GEN_041	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
19	Demirkapı Petrol Zeytinyağı Üretim	GEN_033	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
20	Gömülceli Gıda Zeytincilik	GEN_044	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
21	Halilbeyli tuz imalatı	GEN_038	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
22	Halis zeytinyağı	GEN_038	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-

NO	DEŞARJ NOKTALARI	Su Kütlesi	AAT Durumu	DEŞARJ DÖNEMİ			
				KASIM	ŞUBAT	MAYIS	AĞUSTOS
23	Müjgan Şemşirin Zeytinyağı	GEN_033	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
24	Nur Gıda zeytinyağı üretim	GEN_033	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
25	Özarıklar kontinü sistem zeytinyağı yunus arık	GEN_038	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
26	Ozyuksel Tarım	GEN_074	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
27	Saygınlar Tarım San. Ve Tic. Ltd. Şti.	GEN_041	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
28	Tuncay Pınarcı	GEN_038	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-
29	Yıldırım Zeytinyağı	GEN_043	LAGÜN (Üç fazlı tesis)	√	-	-	-

Jeotermal su kaynakları, havza bütününde önemli ölçüde Salihli ilçesi civarında toplanmıştır. Alaşehir ilçesinde, Çağlayan Zorlu Jeotermal Enerji Santrali Üretim Tesisi yer almaktadır. Ancak tesisten herhangi bir deşarj olmamaktadır.

Havzanın genelinde verimli topraklar olması nedeni ile tarımsal faaliyetler yoğun olarak gerçekleştirilmektedir. Tarım aktiviteleri nedeni ile de bilinçsiz gübre ve zirai ilaç kullanımından kirlenmeler olabilmektedir. Orman ve su İşleri Bakanlığı tarafından tamamlanan Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların Ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi’ne göre Alaşehir Çayı Alt havzası büyük oranda Kentsel Açıdan Hassastır.

Bunların yanı sıra kurak dönemlerde yaşanan su sıkıntısı, alt havzadaki önemli sorunlar arasında sıralanmaktadır.

6.2.2 Modelde İhtiyaç Duyulan Veriler

Bu tez çalışması kapsamında su kalitesi modellenmesi yapılacaktır. Modelin kurulması ve model sonuçlarının analiz edilmesi aşamasında ihtiyaç duyulacak veriler Çizelge 12’de verilmektedir.

Çizelge 12. Su Kalitesi Modeli İhtiyaç Duyulan Veri Listesi

İhtiyaç Duyulan Veriler	İlgili Kurum/Kuruluş	Kullanılan Veriler
Akarsu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)	DSİ’den veriler temin edilmiştir. Ayrıca Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen ‘Gediz Havzası’nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi’ kapsamında da debi verileri bulunmaktadır.
Akarsu Kalitesi Gözlem İstasyonu verileri	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)	DSİ’den veriler temin edilmiştir.
Havzada su kütlelerinde yapılan su kalitesi analiz sonuçları	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen ‘Gediz Havzası’nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi’ çalışmalarından temin edilmiştir.
AGİ Eşel Enkesit verisi	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)	Alaşehir Çayı Alt Havzası için en kesit çalışması bulunmamaktadır. ‘Havza İzleme ve Referans Noktalarının Belirlenmesi Projesi’ hidromorfolojik izleme verilerinden ve Google Earth uydu görüntülerinden faydalanılmıştır.
Havzaya ait Sayısal Veriler ♦ Havza sınırları ♦ Yerleşim yerleri	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen ‘Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi’ çalışmalarından alınmıştır.

İhtiyaç Duyulan Veriler	İlgili Kurum/Kuruluş	Kullanılan Veriler
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Belirlenen su kütleleri (nehir, göl, baraj vb.) ◆ Su Kütlesi Tipolojileri 		
Her bir su kütlesi için belirlenmiş noktasal baskılar ve etkileri	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen; - Gediz Havzası'nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi - Gediz Havzası Nehir Havza Yönetim Planı Hazırlanması Projesi çalışmalarından temin edilmiştir.
Altyapı ve arıtma tesislerine ait veriler <ul style="list-style-type: none"> ◆ Tesis kapasitesi, ◆ Koordinatları, ◆ Mevcut atıksu miktarı, ◆ Mevcut evsel atıksu oluşum miktarları, ◆ Tüm yerleşimler için mevcut arıtım durumları 	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen 'Gediz Havzası'nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi' çalışmalarından alınmıştır.
Havza genelinde planlanan veya inşaat halindeki arıtma tesis bilgileri <ul style="list-style-type: none"> ◆ Tesis kapasitesi, ◆ Planlanan tesis yeri seçimi, ◆ Planlanan arıtma kademesi, ◆ Planlanan arıtma prosesleri 	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü) Manisa Büyükşehir Belediyesi (Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü)	Manisa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilmiştir.
Fabrika, Petrol İşleme, Depolama vb. Tesis,	Orman ve Su İşleri Bakanlığı	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen 'Gediz

İhtiyaç Duyulan Veriler	İlgili Kurum/Kuruluş	Kullanılan Veriler
Organize Sanayi bilgileri <ul style="list-style-type: none"> ◆ Koordinatları, ◆ Sektörü, ◆ Mevcut arıtım deşarj izin ve kanalizasyon bağlantı durumları, ◆ Atıksu karakterizasyonları veya tesis çıkışındaki ölçümler 	(Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)	Havzası'nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi' çalışmalarından alınmıştır.
Yayıllı kaynaklardan gelen yükler	Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen 'Türkiye'de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi' çalışmalarından alınmıştır.

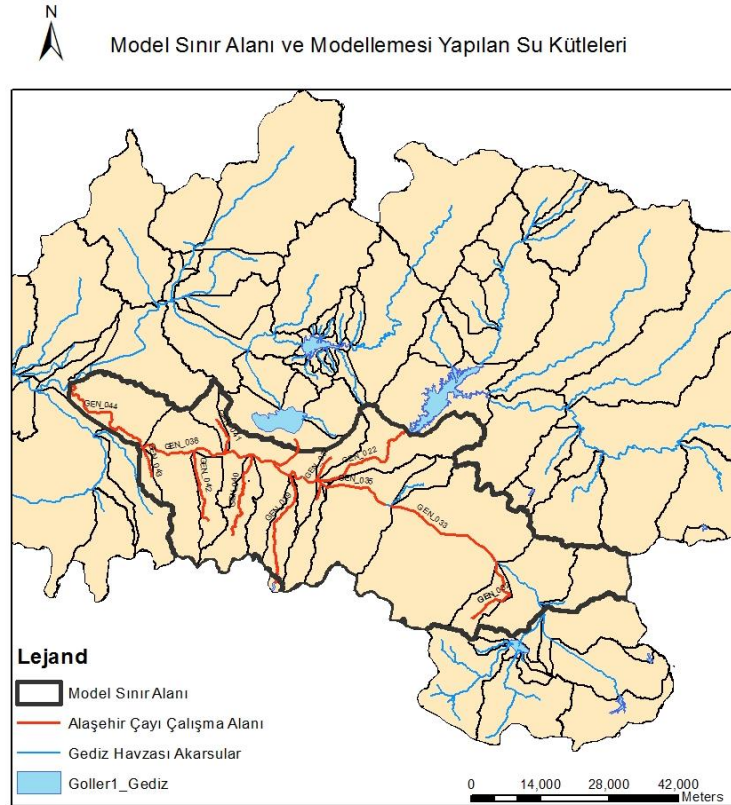
Havzadaki su kütlelerine ait debi verileri, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen 'Gediz Havzası'nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi' kapsamında yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Su kalitesi verileri olarak ise en kapsamlı ve eksiksiz veri setine sahip olması nedeni ile bahse konu proje kapsamında yapılan izlemelere ait veriler kullanılmıştır. Debi değerlerinin eksik olduğu su kütlelerinde ise (bazı yan kollarda) debi verisi için havza drenaj alanlarına göre temin edilen verinin drenaj alanına oranlanarak hesaplanması ile veriler tamamlanmıştır. Su kalitesi verilerinin eksik olduğu yerler için, Gediz Havzası'nda tipoloji ve havza özellikleri benzerlik gösteren su kütleleri belirlenmiş ve o su kütlelerindeki veri seti kullanılmıştır. Evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisleri ve doğrudan deşarj girdileri olarak ise anılan proje kapsamında yapılan ölçümler ve ölçüm yapılmayan tesislerdeki kirlilik yükleri için ise havza içinde belirlenen temsili tesis verileri kullanılmıştır.

Yayıllı yükler için ise ‘Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi’ kapsamında uygulanan yaklaşımla hesaplanan yükler kullanılmıştır.

6.2.3 Kavramsal Modelin Oluşturulması

Alaşehir çayı alt havzasının su kalitesini özellikle de ÇO temelinde ortaya koymak amacı ile oluşturulacak modelde, modellenecek parametreler, ÇO ve oksijen değerini etkileyebilecek BOİ, Org N, NH₄N ve NO₃N parametreleri seçilmiştir.

Çalışma kapsamında akarsu kütleleri baz alınacak olması nedeniyle havzadaki göl su kütleleri dikkate alınmamıştır. Modellemesi yapılan veri setleri Kasım, Şubat, Mayıs ve Ağustos ayları olmak üzere 4 dönemlik verilerdir. Veriler incelendiğinde Kasım döneminde havzanın mansabının ve Ağustos döneminde ise havzanın membasının kuruduğu görülmüştür. Kuruyan su kütlesi durumu ve veri temin edilebilirliği dikkate alınarak Model Sınır Koşulu Şekil 27’de gösterildiği gibi belirlenmiştir. Bu sınırlardaki akarsu kütleleri için belirlenen akarsu başlangıç değerlerine ait veriler Ek-2’de verilmektedir.



Şekil 27. Çalışma Kapsamında Belirlenen Model Sınır Alanı

6.2.4 Modelleme Yazılımının Seçilmesi

Söz konusu çalışmanın amacı havza bazında su kalitesi dinamiklerini ortaya koymak değildir. Çalışmanın amacı Gediz Nehri'nin önemli bir kolunu kapsayan Alaşehir Çayı Alt Havzası'nda mevsimsel değişimleri de dikkate alınarak kirliliğin nehir boyunca değişiminin incelenmesi ve oluşturulacak senaryolarla planlanan su kalitesini iyileştirme çalışmasının etkisini ortaya konmasıdır.

Kullanılacak modelin, nehir ana kolu ve yan kollarında da hesaplamalar yapabilmesi, yayılı yük ve noktasal yükleri de kütle dengesi hesabına dâhil edebilmesi gerekmektedir.

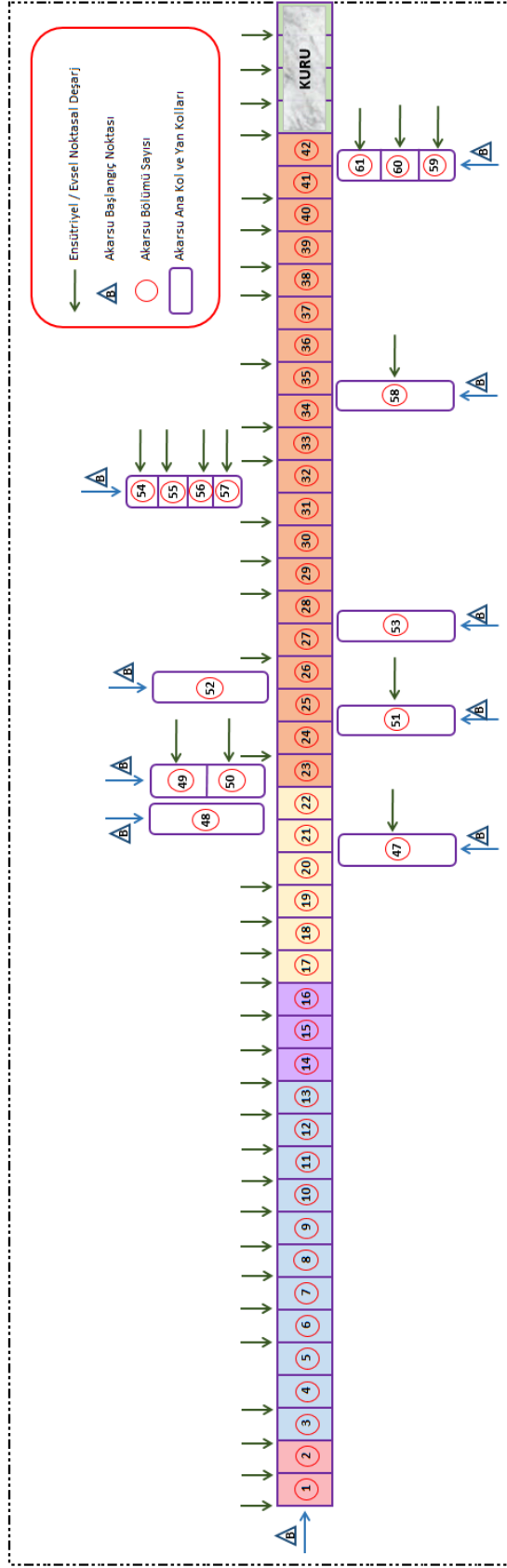
Model sınır koşullarında göl su kütlesi bulunmamaktadır ve denizel ortamlarla karışım söz konusu değildir. Bu kapsamda, dispersiyonun önemli olduğu akarsuyun denizel ortamlara karışımı gibi bir ortam olmaması nedeni ile yalnızca adveksiyonu hesaba katan bir model yeterli olacaktır.

Su kütlelerine ait debi ve akarsu yataklarının en kesit bilgilerinden hesaplanan su kütlelerindeki hızlara göre birincil üretimin ihmal edildiği bir yazılımın kullanılması uygun olacaktır.

Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda, çalışma kapsamında kararlı durum modelinin kullanılması uygun olmaktadır. Bölüm 5'de de açıklandığı gibi SİSMOD çalışmanın amacına uygun sonuçları ortaya koyabilecektir. Ayrıca program açık kaynak kodlu olup lisansız olarak kullanılmaktadır.

6.2.5 Modelin Ön Uygulaması ve Doğrulaması (Verifikasyon)

Su kütlelerine noktasal kaynak girdisi ve su kütlelerinin tipoloji özellikleri dikkate alınarak akarsu ağı bölümlere ayrılmıştır. Model sınır koşullarında yer alan akarsu ağı için oluşturulan Kasım dönemine ait model ağı Şekil 28'de verilmektedir. Model ağında akarsu için gösterilen renk değişimleri farklı tipoloji gruplarını göstermektedir. Diğer dönemler için oluşturulan model ağı da Kasım dönemindekine benzemektedir olup, yalnızca noktasal deşarjlar farklılık göstermektedir.



Şekil 28. Kasım Dönemi için Oluşturulan Model Ağı

Model yazılımı seçimi ile birlikte, SİSMOD'a girdi oluşturacak veri dosyaları hazırlanmıştır. SİSMOD girdi verilerini '.txt' formatında kabul etmektedir. Model sınır koşulunda yer alan su kütleleri bölümlere ayrılmıştır. Kasım döneminde akarsuyun mansabı olan Bölüm 45 - Bölüm 46 ve Ağustos döneminde ise membası olan Bölüm 1-Bölüm 15 havzadaki su çekimleri nedeni ile kuru olduğu gözlemlenmektedir. Her bir su bölümü için yapılacak hesap noktası sayısı beş olarak seçilmiştir.

Çizelge 13. Model için Oluşturulan Bölümlere İlişkin Bilgiler

Bölüm No	Su Kütleli	Uzunluk (km)	Rakım (m)	Kanal Taban Eğimi	Şev Eğimi	Taban Genişliği (m)	Manning Katsayısı
1	GEN_032	3.0	146	2,5000	0,7	5	0,03
2	GEN_032	4.0	146	2,5000	0,7	5	0,03
3	GEN_033	0,5	124	0,0500	1	10	0,03
4	GEN_033	0,5	124	0,0500	1	10	0,03
5	GEN_033	1.0	124	0,0500	1	10	0,03
6	GEN_033	2.0	124	0,0500	1	10	0,03
7	GEN_033	3.0	124	0,0500	1	10	0,03
8	GEN_033	1.0	124	0,0500	1	10	0,03
9	GEN_033	2.0	124	0,0500	1	10	0,03
10	GEN_033	5.0	124	0,0500	1	10	0,03
11	GEN_033	5.0	124	0,0500	1	10	0,03
12	GEN_033	2,5	124	0,0500	1	10	0,03
13	GEN_033	2,5	124	0,0500	1	10	0,03
14	GEN_035	8.0	96	0,0500	1	10	0,05
15	GEN_035	5.0	96	0,0500	1	10	0,05
16	GEN_035	1,9	96	0,0500	1	10	0,05
17	GEN_036	0,3	85	0,1385	1	10	0,05
18	GEN_036	0,3	85	0,1385	1	10	0,05
19	GEN_036	0,3	85	0,1385	1	10	0,05
20	GEN_036	0,3	85	0,1385	1	10	0,05
21	GEN_036	0,8	85	0,1385	1	10	0,05

Bölüm No	Su Kütleli	Uzunluk (km)	Rakım (m)	Kanal Taban Eğimi	Şev Eğimi	Taban Genişliği (m)	Manning Katsayısı
22	GEN_036	0,4	85	0,1385	1	10	0,05
23	GEN_038	2.0	66	0,0500	1	8	0,05
24	GEN_038	3.0	66	0,0500	1	8	0,05
25	GEN_038	2.0	66	0,0500	1	8	0,05
26	GEN_038	1.0	66	0,0500	1	8	0,05
27	GEN_038	5.0	66	0,0500	1	8	0,05
28	GEN_038	5.0	66	0,0500	1	8	0,05
29	GEN_038	4.0	66	0,0500	1	8	0,05
30	GEN_038	2.0	66	0,0846	1	8	0,05
31	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
32	GEN_038	2.0	66	0,0846	1	8	0,05
33	GEN_038	3.0	66	0,0846	1	8	0,05
34	GEN_038	5.0	66	0,0846	1	8	0,05
35	GEN_038	2.0	66	0,0846	1	8	0,05
36	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
37	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
38	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
39	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
40	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
41	GEN_038	1.0	66	0,0846	1	8	0,05
42	GEN_038	0,5	66	0,5000	1,5	8	0,03
43	GEN_044	13.0	39	0,5000	1,5	8	0,03
44	GEN_044	6.0	39	0,5000	1,5	8	0,03
45	GEN_044	5.0	39	0,5000	1,5	8	0,03
46	GEN_044	2,9	39	0,5000	1,5	8	0,03
47	GEN_074	3,7	87	0,9587	0,7	3,5	0,03
48	GEN_037	5,5	83	0,0498	0,7	3	0,03
49	GEN_022	13.0	95	0,5407	0,7	5	0,03
50	GEN_022	13.0	95	3,6954	0,7	2,5	0,03

Bölüm No	Su Kütleli	Uzunluk (km)	Rakım (m)	Kanal Taban Eğimi	Şev Eğimi	Taban Genişliği (m)	Manning Katsayısı
51	GEN_039	26,5	84	0,5407	0,5	5	0,03
52	GEN_038'	10.0	73	0,5407	0,5	5	0,03
53	GEN_040	22,5	84	3,1209	0,5	5	0,03
54	GEN_041	2.0	92	0,9943	0,5	3	0,05
55	GEN_041	2.0	92	0,9943	0,5	3	0,05
56	GEN_041	2.0	92	0,9943	0,5	3	0,05
57	GEN_041	2,6	92	0,9943	0,5	3	0,05
58	GEN_042	16,7	64	3,1924	0,5	3	0,03
59	GEN_043	2.0	55	0,5964	0,5	3,5	0,03
60	GEN_043	2.0	55	0,5964	0,5	3,5	0,03
61	GEN_043	2,7	55	0,5964	0,5	3,5	0,03

Akarsu kütlelerine ait rakım, kanal taban eğimi, şev eğimi ve taban genişliği gibi özellikler, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 2013 yılında tamamlanan ‘Havza İzleme ve Referans Noktalarının Belirlenmesi Projesi’nde yer alan hidromorfolojik izleme verilerinden kullanılmıştır. Bu verilerin güncel olmaması nedeni ile su kütlelerinde ait Google Earth uydu görüntülerinden de faydalanılmıştır.

Modele havzada baskı unsuru oluşturan yayılı ve noktasal yükler de girilmiştir. ‘Gediz Havzası’nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi’ kapsamında ölçüm olmayan tesislerde de aynı havzada yer alan benzer özelliklere sahip tesis verileri kullanılmıştır. Proje kapsamında, noktasal kaynaklara ait deşarj debi verileri ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İl Müdürlüklerinden temin edilen tesislere ait Çevre İzin Lisans belgelerinden alınmıştır.

‘Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi’ kapsamında uygulanan yaklaşımla yayılı kaynaklardan gelen yıllık toplam yükler hesaplanmıştır. Proje kapsamında yapılan yayılı yük hesaplamasında arazi kullanımından, fosseptiklerden, gübre kullanımından, hayvancılık faaliyetlerinden ve düzensiz katı atık depolama tesislerinden gelen yayılı yükler değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında model dört dönem için çalıştırılacak

olması nedeni ile yıllık toplam veriler, aylık ortalama akım verilerinden elde edilen dolaysız akımları ile orantılı olacak şekilde aylara dağıtılmıştır. Bu maksatla havzada yer alan AGİ günlük verileri (D05A031, D05A048, D05A021, D05A039, D05A055) kullanılmıştır. Havzada yer alan AGİ'lerden günlük debi verisi en çok olan veri seti 2013 yılı verileri olması nedeni ile 2013 yılı verileri kullanılarak dolaysız akım hesaplanmış ve günlük değerler aylık ortalama yüzey akımına dönüştürülerek modelde kullanılacak aylara göre bir oran elde edilmiştir. Dolaysız akım hesaplanması maksadıyla, SWAT Baseflow Programı kullanılarak taban akımları hesaplanmış ve yüzey akımından çıkartılarak su kütlelerindeki dolaysız akım bulunmuştur. (Arnold, Allen, R.Muttiah, & G.Bernhardt, 1995)Yıllık toplam yayılı yükler için, bu oranlar kullanılarak aylık ortalama değerler (Kasım, Şubat, Mayıs ve Ağustos ayları) hesaplanmıştır.

Modelin doğrulanması için ilk sonuçlar gözden geçirilmiş ve SİSMOD'un simüle etme doğruluğu test edilmiştir. Deşarj noktalarında kirletici yüklerinin artması, kirletici yükleri artarken çözünmüş oksijenin azalması gibi kontroller yapılmıştır.

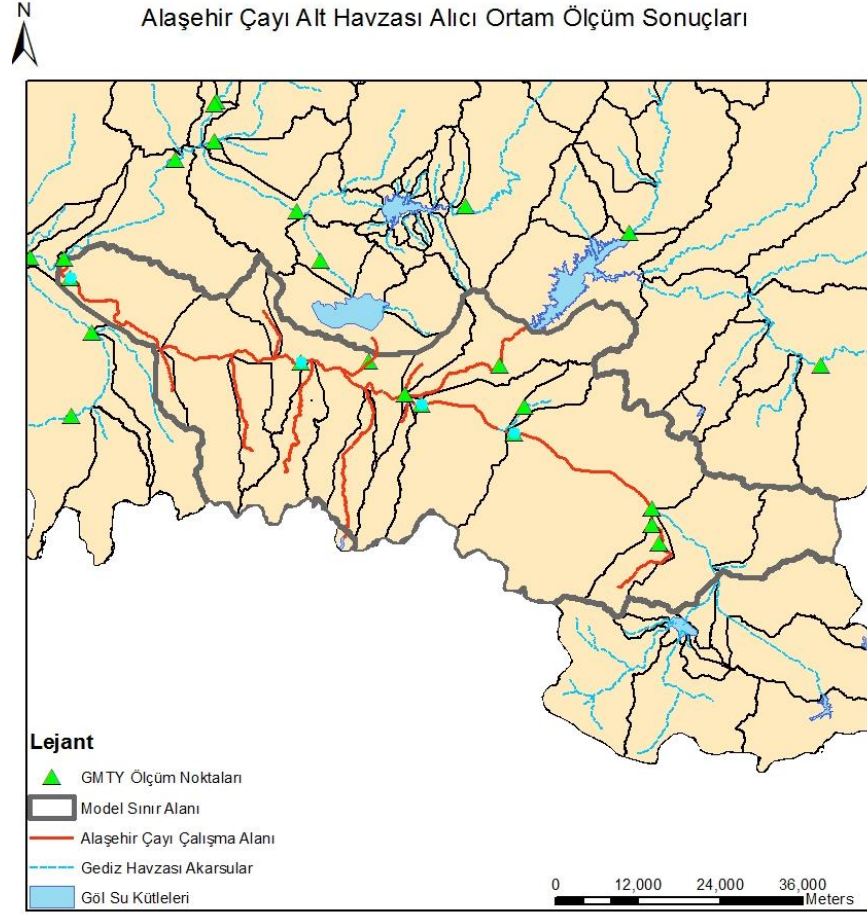
6.3 Model Doğruluk Analizi

6.3.1 Model Kalibrasyonu

Modelin kalibrasyonu manuel ve sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. Dört dönemin verileri incelendiğinde, Mayıs dönemi akımın ortalama değerlerde olduğu bir dönem olduğu görülmektedir. Bu nedenle kalibrasyon için Mayıs Dönemi verileri kullanılmıştır. Havzada 'Gediz Havzası'nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi' kapsamında ölçüm yapılan ve modele girdi olarak kullanılmayan 4 nokta kullanılmıştır.

Çizelge 14. Kalibrasyon Noktalarının Özellikleri

Kalibrasyon Bölümleri	Ölçüm Noktaları	Ölçüm Noktası Koordinat Bilgisi	
		Enlem	Boylam
Bölüm 13	GMTY40	N38°28'37.7"	E28°18'06.5"
Bölüm 16	GMTY12	N38°30'24.4"	E28°08'41.1"
Bölüm 29	GMTY13	N38°33'03.6"	E27°56'18.9"
Bölüm 45	GMTY15	N38°38'21.9"	E27°32'37.0"



Şekil 29. Model Sınır Alanındaki Ölçüm Noktaları

Kalibrasyon çalışmalarına öncelikle su kütlelerindeki debi değerlerinin ölçüm değerleriyle uyumlu hale getirilmesiyle başlanmıştır. SİSMOD, hidrolojik modelleme yapmamaktadır. Debi değerlerini kütle dengesini sağlayacak şekilde, mambadan mansaba doğru girdileri toplayarak hesaplamaktadır. Ancak ölçüm sonuçlarına

bakıldığında, havzada ciddi bir su çekimi olduğu görülmüş olup, su çekim miktarları debi verileri üzerinden kütle dengesi ile hesaplanmıştır.

Su çekim verilerinde olduğu gibi, havzada yer alan su kütlelerine ait enkesit verileri de bulunmaması nedeni ile enkesit genişliği ve enkesit türü havzadaki su kütlelerini temsil edecek enkesit türleri modele tanımlanmıştır.

Hidrolojik girdilerin düzenlenmesinin ardından, su kalitesi modelinin kalibrasyon çalışmalarına başlanmıştır. Modelin öncelikli kalibrasyon parametresi olarak belli ölçüde belirsizlik içeren ve tahmin yoluyla bulunan noktasal ve yayılı kaynak yükleri kullanılmıştır. Dört dönemde de yayılı yüke ait debi değerleri kalibrasyon parametresi olarak düşünülmüştür. Öncelikle bu parametrelere ait değerler sistematik olarak değiştirilerek model ile hesaplanan derişimler gözlem verileri ile aynı mertebeye getirilmiştir.

Model girdisi olarak kullanılan değerlerin düzenlenmesinin ardından su kalitesi proses hesaplarında kullanılan kinetik katsayılar belirli aralıklarda değiştirilerek gerçek durumu en çok yansıtan değerler bulunmaya çalışılmıştır. Bu katsayıların olası aralıkları için literatür araştırması sonucunda kullanılan kinetik katsayıların derlendiği bir çalışmadan faydalanılmıştır. (Çilek, 2005) Kalibrasyon çalışmaları sonucu seçilen katsayı aralıkları Çizelge 15’de verilmektedir.

Çizelge 15. Kinetik Katsayıların Kalibrasyon Değerleri

Kinetik Katsayılar	Açıklama	Birim	Kalibrasyon Aralıkları/Değerleri
K_d (20°C)	Karbonlu BOİ yükseltgenme hızı	/gün	0,25
K_d Düzeltme Sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,047
K_a (20°C)	Havalanma hızı	/gün	1-3
K_a Düzeltme Sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,047
K_r (20°C)	Karbonlu BOİ toplam tükenme hızı (yükseltgenme + çökelme)	/gün	0,1-0,8

Kinetik Katsayılar	Açıklama	Birim	Kalibrasyon Aralıkları/Değerleri
K_r Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,047
P_a (20°C)	Fotosentez Hızı	mg O ₂ /L/gün	1
P_a Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,066
R_a (20°C)	Solunum Hızı	mg O ₂ /L/gün	0,5
R_a Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,08
S_b (20°C)	Sediman O ₂ İhtiyacı	mg O ₂ /L/gün	0,07-4
S_b Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,065
$n_{1,1}$ (20°C)	Organik azotun toplam tüketim hızı (partiküler kısmın çökmesi + hidroliz + bakteriler ile amonyuma dönüşmesi)	/gün	0,25
$n_{1,1}$ Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,047
$n_{1,2}$ (20°C)	Organik azotun amonyum azotuna dönüşme hızı	/gün	0,08-0,2
$n_{1,2}$ Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		
$n_{2,2}$ (20°C)	Amonyum azotunun toplam tüketim hızı (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım + nitrifikasyon)	/gün	0,5-6,1
$n_{2,2}$ Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,07
$n_{2,3}$ (20°C)	Nitrifikasyon hızı	/gün	0,1-5
$n_{2,3}$ Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,05
$n_{3,3}$ (20°C)	Nitrat azotunun toplam tüketim hızı (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım + denitrifikasyon)	/gün	7
$n_{3,3}$ Düzeltme sabiti	Sıcaklık düzeltme sabiti		1,045

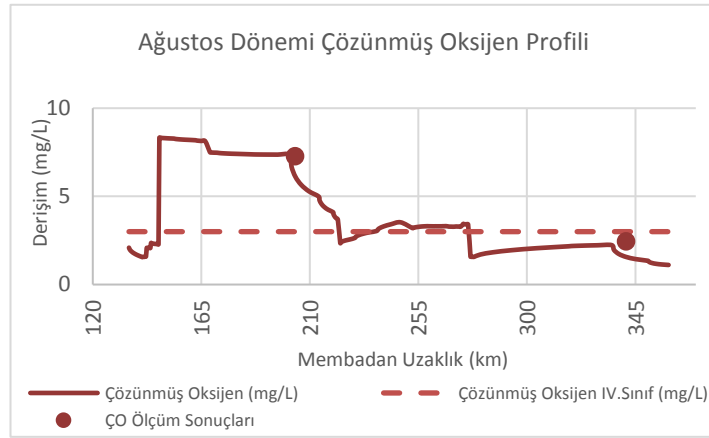
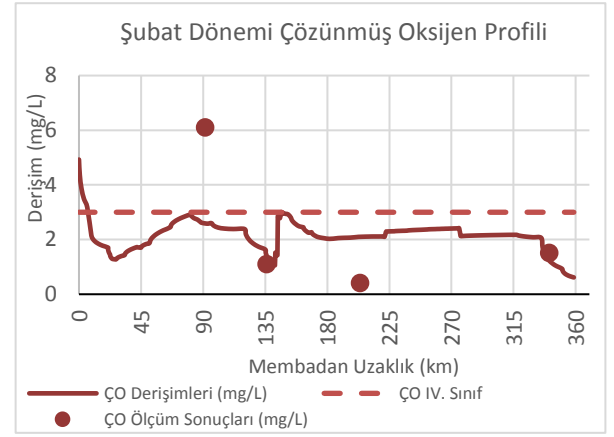
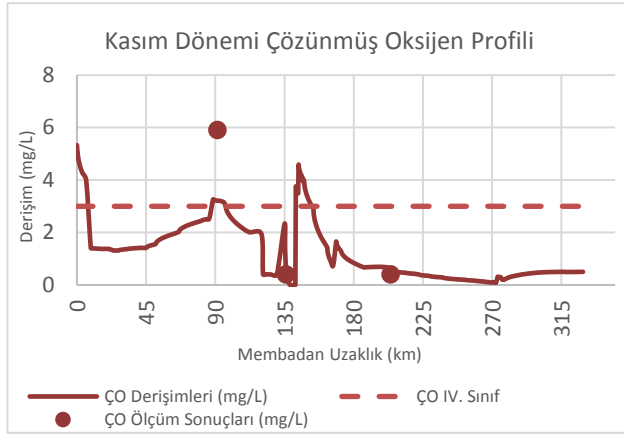
Bu unsurlar göz önünde bulundurularak yapılan kalibrasyon çalışmasının sonucunda Mayıs dönemine ait simülasyon sonuçlarının dört ölçüm noktası için ortalaması, bağıl hata ve hata kareleri ortalamasının karekökü Çizelge 16'da verilmektedir.

Çizelge 16. Kalibrasyon Dönemi Ortalama Model Performans Göstergeleri

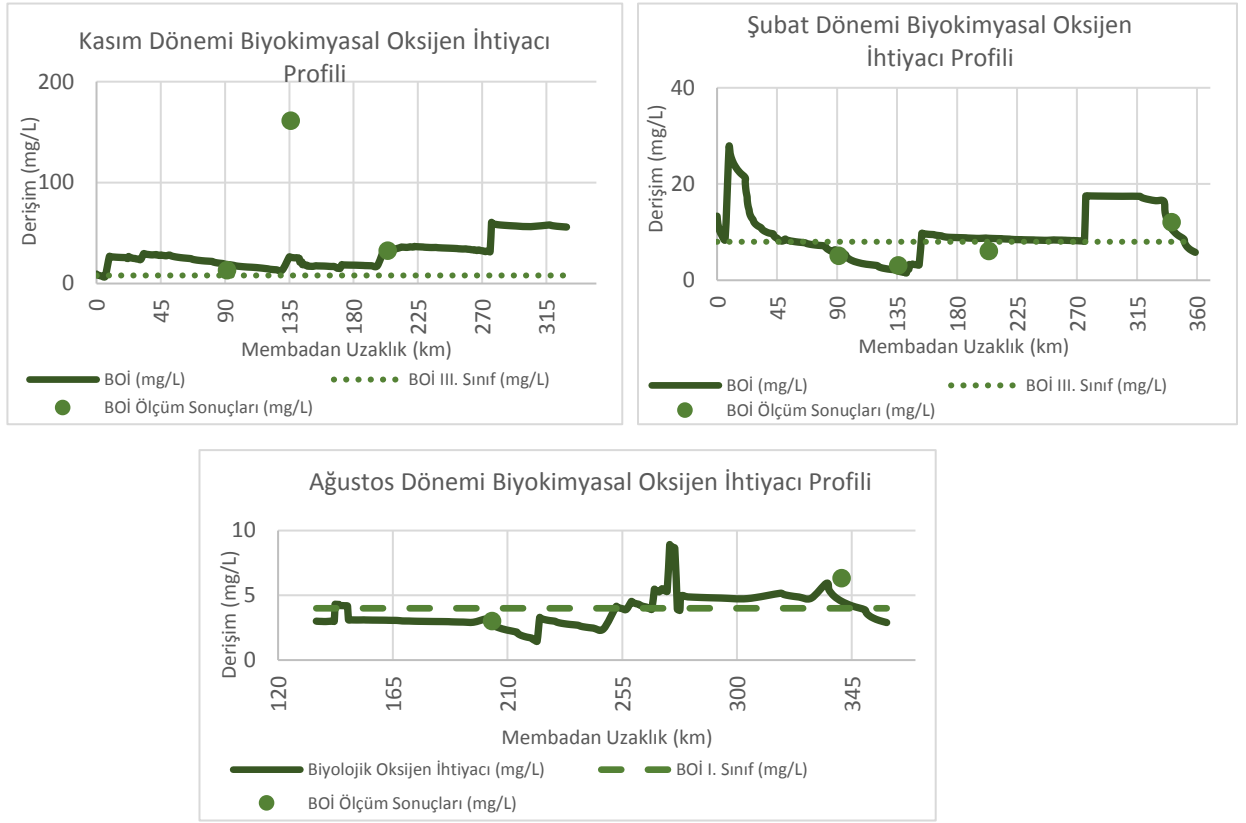
Değişken	Model Sonucu (mg/L)	Ölçüm Sonucu (mg/L)	HKOK (mg/L)	Bağıl Hata
BOİ	23,02	26,73	11,24	13,88%
ÇO	2,97	2,41	2,22	-23,24%
Org N	4,09	4,95	6,45	17,50%
NH ₄ N	5,68	3,13	6,55	-81,33%
NO ₃ N	1,05	0,31	1,77	hesaplanmadı

6.3.2 Model Validasyonu (Geçerlilik Kontrolü)

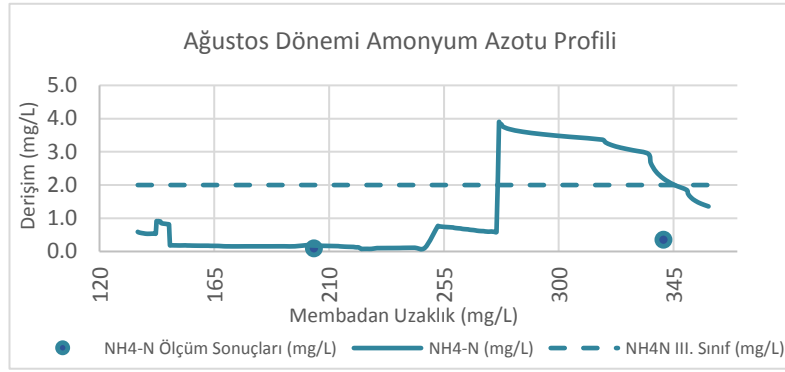
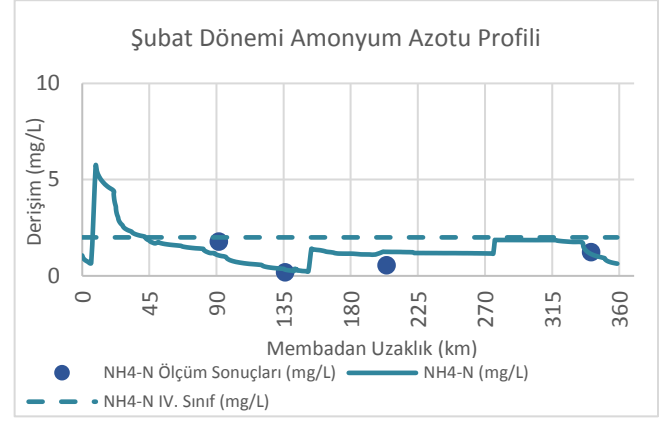
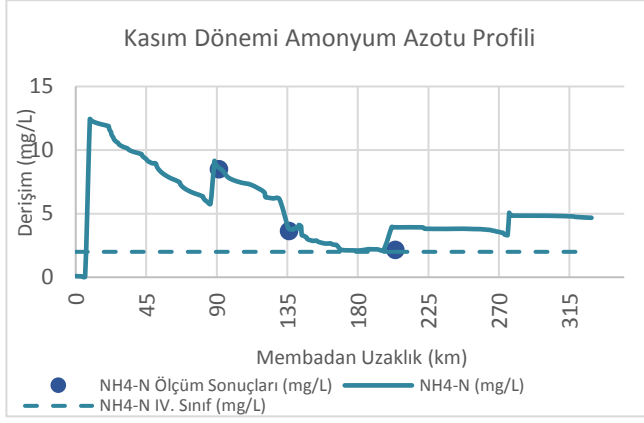
Kalibrasyonu tamamlanan model, farklı veri setleriyle de çalıştırılarak geçerliliğinin kontrolü yapılmalıdır. Bu kapsamda, kalibre edilen model aynı kalibrasyon parametreleri kullanılarak Kasım, Şubat ve Ağustos dönemleri için de çalıştırılarak validasyonu yapılmıştır. Model sonucu elde edilen sonuçlar Alaşehir Çayı (0-150 km) ve Gediz Nehrinin model sınır koşullarında kalan kısmı (150-360 km) için 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 2'de verilen su kalitesi sınıf kriterleri ile kıyaslanarak derişim grafikleri oluşturulmuştur.



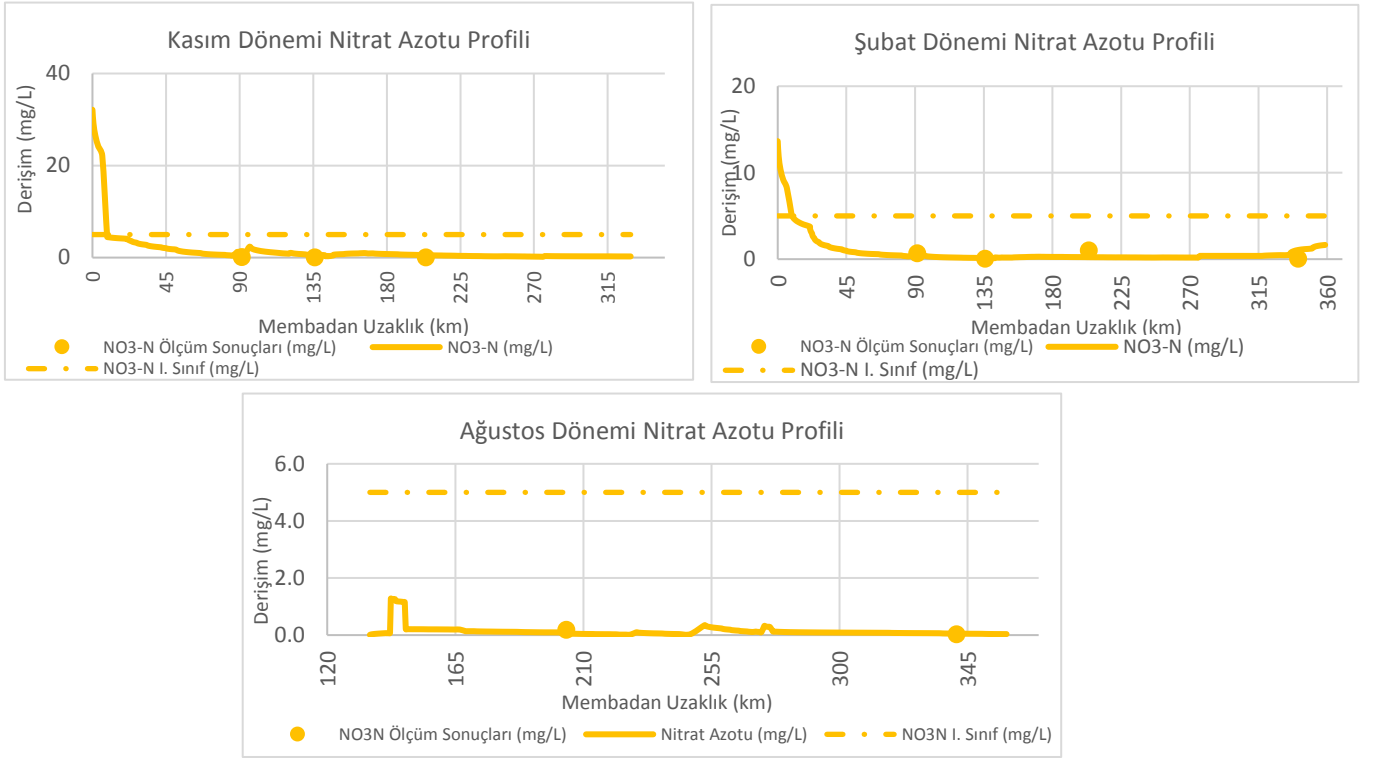
Şekil 30. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Çözünmüş Oksijen Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)



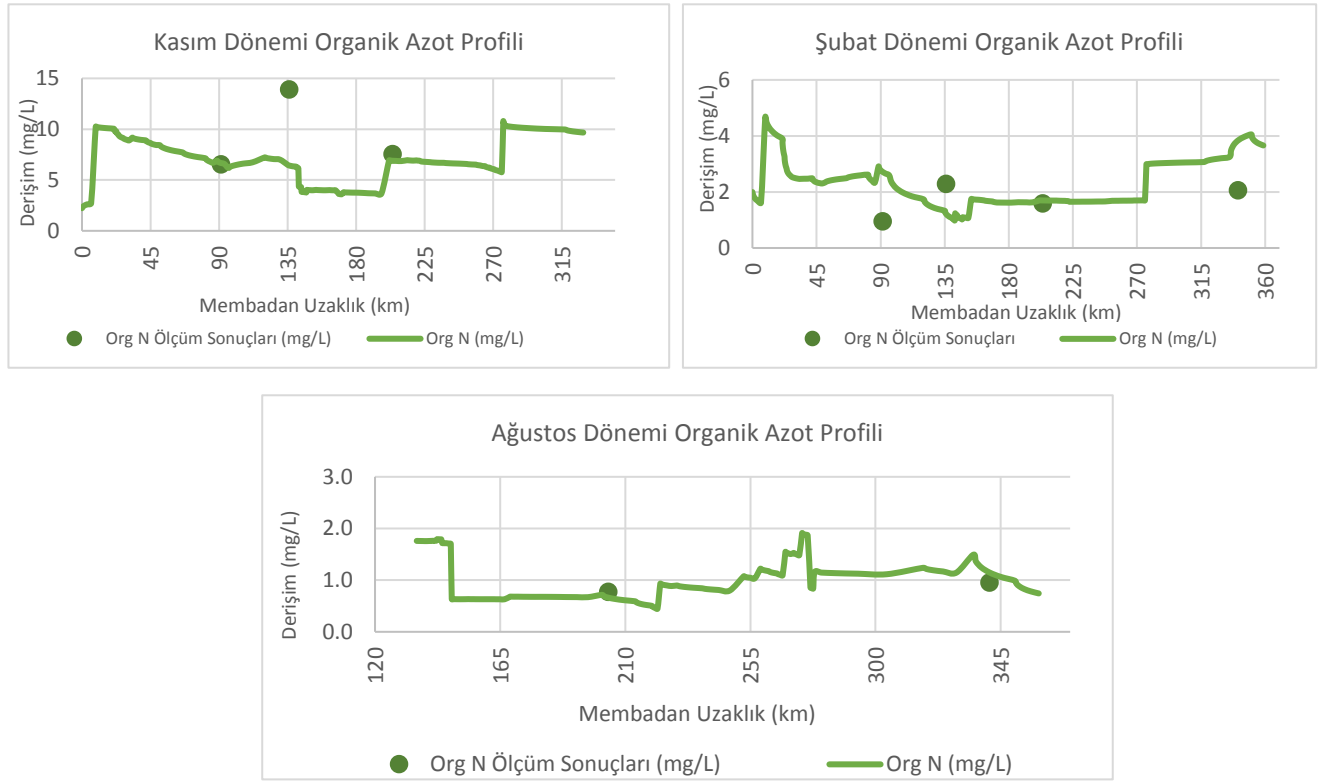
Şekil 30. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)



Şekil 31. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Amonyum Azotu Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)

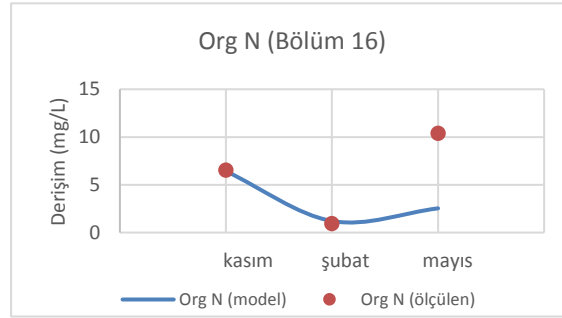
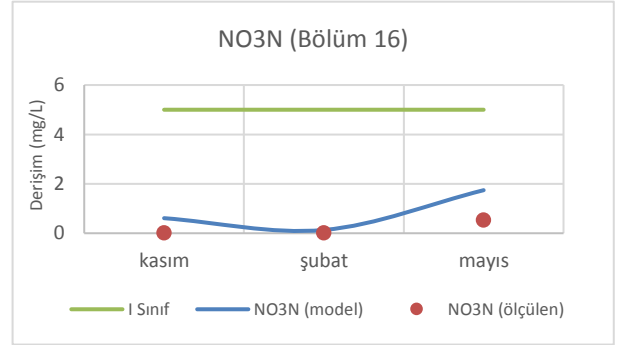
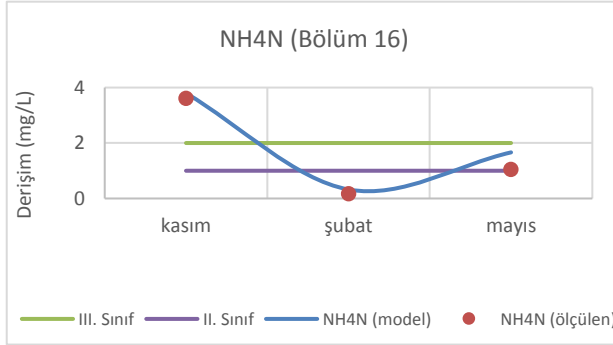
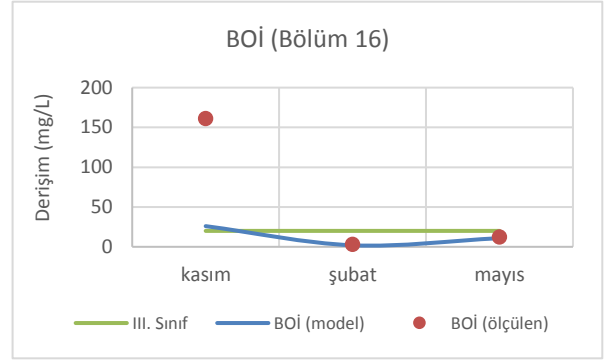
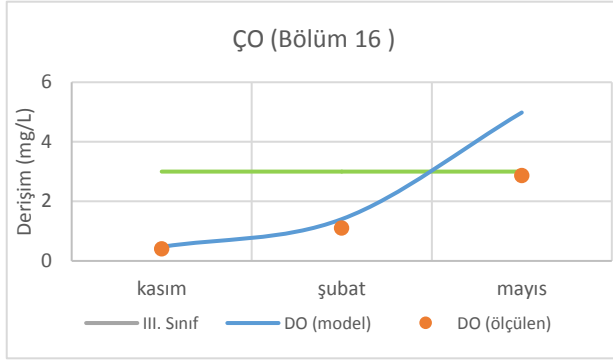


Şekil 32. Alaçehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Nitrat Azotu Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)

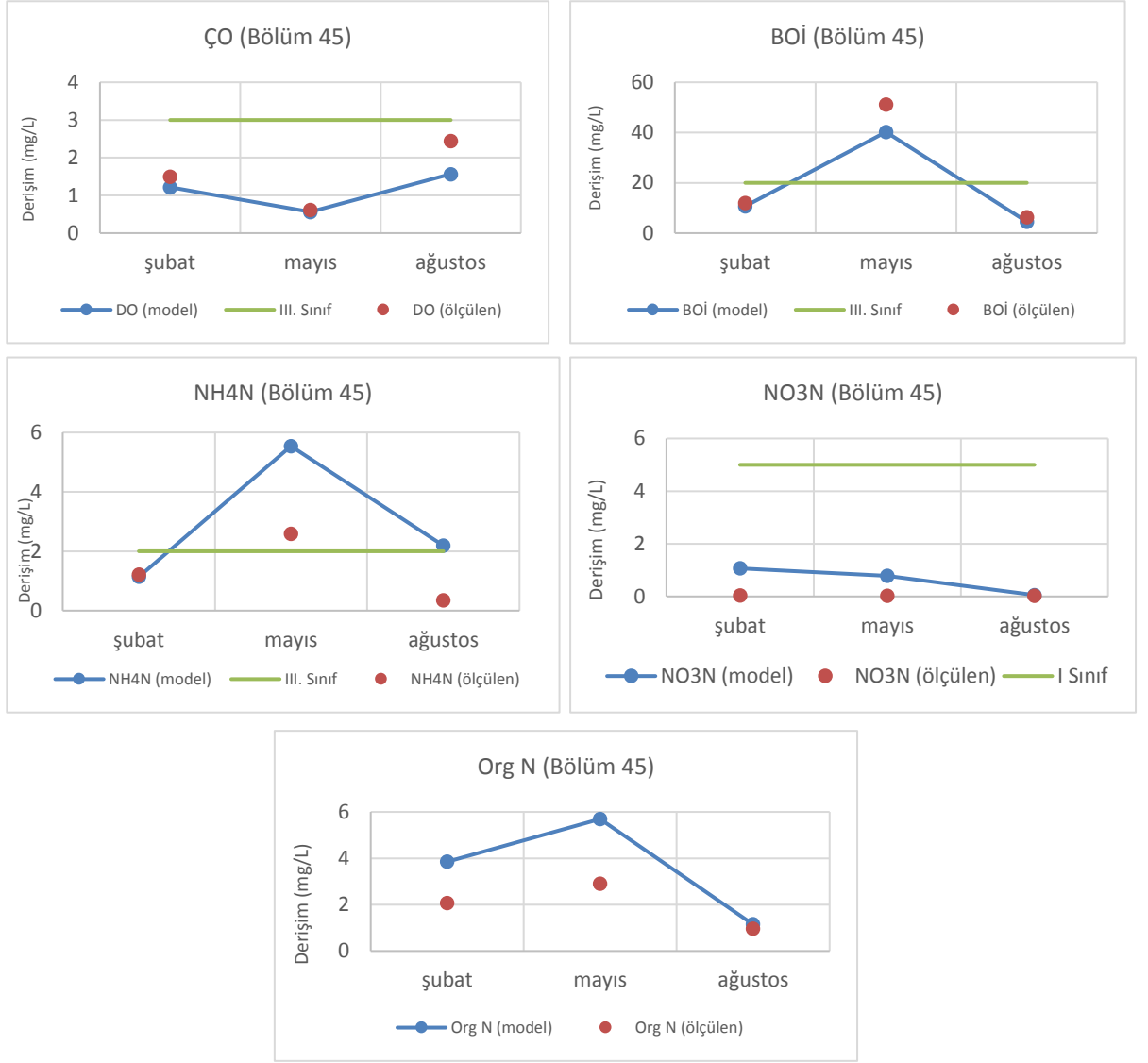


Şekil 33. Alaşehir Çayı Alt Havzası Ana Kol Organik Azot Profili (Kasım, Şubat ve Ağustos Dönemleri)

Model sonucunda elde edilen dört dönemlik veriler, aynı zamanda kalibrasyon noktaları da olan bölümler bazında da incelenmiştir. Buna göre Alaşehir Çayı Alt Havzasında Alaşehir çayının mansabı olan Gediz Nehri'yle birleşmeden hemen önceki noktanın kalite değerleri Şekil 35'de ve Gediz Nehrinin havzanın sınırlarından çıktığı noktanın kalite değerleri de Şekil 36'da yine yönetmelik sınıf değerleri ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 34. Alaşehir Çayı (Gediz Nehri'ne Karışımı Öncesi) Mansabı Derişimlerin Aylık Değişimi



Şekil 35. Alaşehir Çayı Alt Havzası Çıkışı Derişimlerin Aylık Değişimi

6.4 Sonuçların Yorumlanması

SİSMOD ile elde edilen model sonuçları incelendiğinde, Alaşehir Çayı Alt Havzası nehir ana kolunun (Alaşehir Çayı ve Gediz Nehri'nin havza sınırlarındaki bölümü) genellikle III. veya IV. sınıf olduğu görülmektedir. Sonuçlar yorumlanırken verilen yüzdeler model sınırlarında yer alan su kütleleri arasındaki oranlamalardır. Bunun yanı sıra kurak dönem Ağustos dönemini, yağışlı dönem ise Şubat dönemi verilerini temsil etmektedir.

Yağışlı dönemde, ÇO parametresi bazında havzadaki su kütlelerinin %72'si IV. sınıf özelliği göstermektedir. Yağışlı dönem verilerine göre BOİ parametresi bazında su kütlelerinin %61'i ve NH₄N parametresine göre de %62'si III. sınıf su kütlesi grubundadır.

Kurak dönemde su kalitesinde büyük oranda iyileşme olmaktadır. Bunun nedeni ise kurak dönem olması nedeni ile Demirköprü Barajı'ndan (4 Numaralı Başlangıç) ve Marmara Gölü'nden (6 Numaralı Başlangıç) yüksek konsantrasyonda ÇO ve düşük konsantrasyonda BOİ'ye sahip yüksek debili suların havzaya bırakılmasıdır. Kurak dönemde nehirde akan su debisinin de düşük olması nedeni ile gelen yüksek debili temiz su kirliliği büyük oranda azaltmaktadır. Kurak dönemde hesaplanan çözülmüş oksijen seviyesi 8 mg/L seviyelerine yükselmektedir.

Kümülatif değerlendirmeye bakıldığında, su kütlelerinin ÇO, BOİ ve TKN parametreleri bazında havza sınırlarında yer alan su kütlelerinin sırası ile %64, %38 ve %58 oranında IV. sınıf olduğu görülmektedir. BOİ parametresi bazında su kütlelerinin %48'i III. sınıf olmaktadır.

Kasım döneminde model sınırlarında kalan su kütlelerinin ÇO parametresi bazında %74'ü IV. sınıf su ve BOİ bazında ise %70 oranında IV. sınıf su kütlesi özelliği göstermektedir. Kasım dönemi grafiklerine de bakıldığında diğer aylara göre BOİ değerleri yüksek kalmaktadır. Kasım döneminde BOİ değeri ana kolda 60 mg/L seviyelerine çıkmaktadır. Azotlu bileşiklerden NH₄N ve Org N de incelendiğinde diğer dönemlere göre yükselme olduğu görülmektedir. Bunun nedeni de kasım döneminde zeytin ve zeytinyağı üretim tesislerinden gelen yüksek organik kirlilik olarak açıklanabilir.

Havza genelinde nitrat azotu parametresi ölçüm sonuçlarına göre su kütleleri I. sınıftır. Sisteme giren noktasal deşarjlar ve yayılı yük girdilerine göre alıcı ortamdaki ölçüm sonuçları oldukça iyi sonuçlar vermektedir. SİSMOD'un NO₃N sonuçları da ölçüm değerlerinin bir miktar üstünde olmasına karşın, I. Sınıf sınır değeri olan 5 mg/L'nin altında kalmaktadır.

6.5 Kirlilik Yükü Azalım Senaryolarının Uygulanması

Kalibrasyon ve validasyon çalışmaları tamamlanan model ile ortaya konan havzadaki kirlilik durumunun iyileştirilmesi amacıyla senaryo oluşturulmuştur. Senaryo oluşturulurken diğer tüm girdiler (model sınır koşulu ve akarsu başlangıç değerleri) sabit kalmak koşulu ile sadece senaryo koşulları değiştirilerek model çalıştırılmış ve iyileşme oranları incelenmiştir. Senaryo koşulları ise noktasal yükler ve yayılı yükler için önlemler alınmasına yönelik oluşturulmuştur.

Noktasal kirlilik yükleri için, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 2013 yılında tamamlanan Gediz Havzası Havza Koruma Eylem Planı'nda belirlenmiş olan planlanan evsel atıksu arıtma tesislerinin tamamlanarak işletmeye geçtiği varsayımı ile azalım öngörülmüştür. Azalım öngörülen tesisler Çizelge 17'de verilmektedir. Bunlardan inşaat halinde olanlar hakkında bilgi edinmek için Manisa Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü ile görüşülmüş ve Alaşehir ile Turgutlu tesislerinin inşaatlarının devam ettiği bilgisi alınmıştır. Kemaliye'de ise mevcut durumda devam eden atıksu arıtma tesisi çalışmasının bulunmadığı da bildirilmiştir. Ancak planlarda yer alması nedeni ile senaryo koşuluna bu tesis de dâhil edilmiştir.

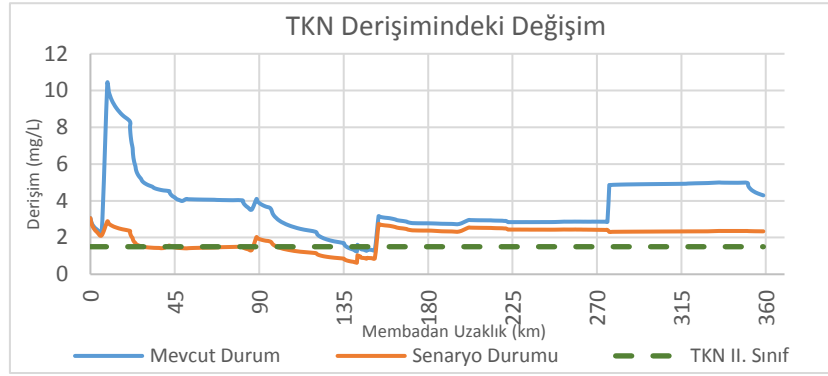
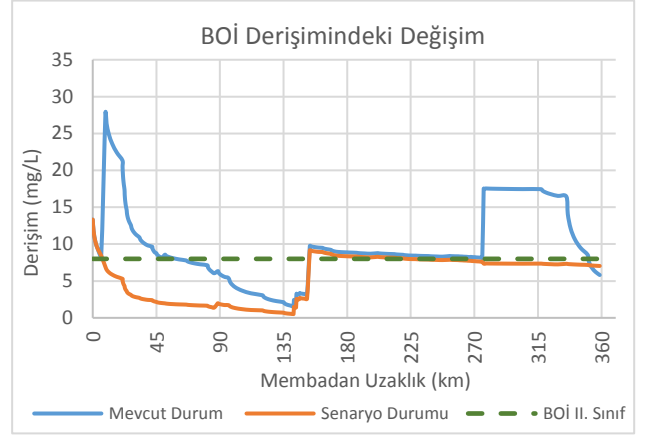
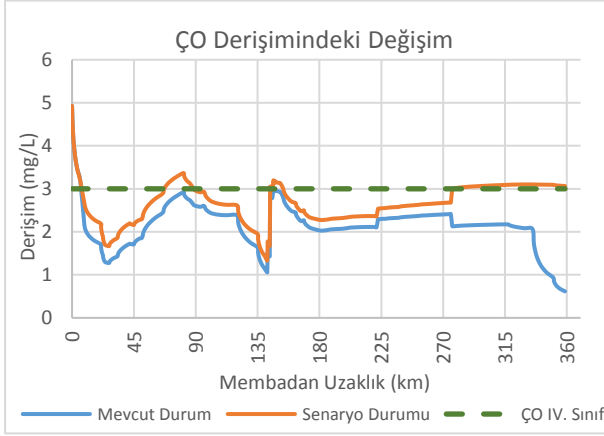
Çizelge 17. Noktasal Yüklere İlişkin Senaryo Koşulu

Yerleşim Yeri	Deşarj Edilen Su Kütleli	AAT Durumu	AAT Özellikleri	Açıklama
Alaşehir Atıksu Arıtma Tesisi	GEN_032	İnşaat aşamasında	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur (ileri derece)	Mevcut tesisin yetersiz olması nedeni ile yenilenmektedir.
Piyadeler	GEN_033	Planlama aşamasında	Aktif Çamur (ikincil)	Piyadeler-Kavaklıdere Müşterek AAT
Kavaklıdere	GEN_033	Planlama aşamasında	Aktif Çamur (ikincil)	

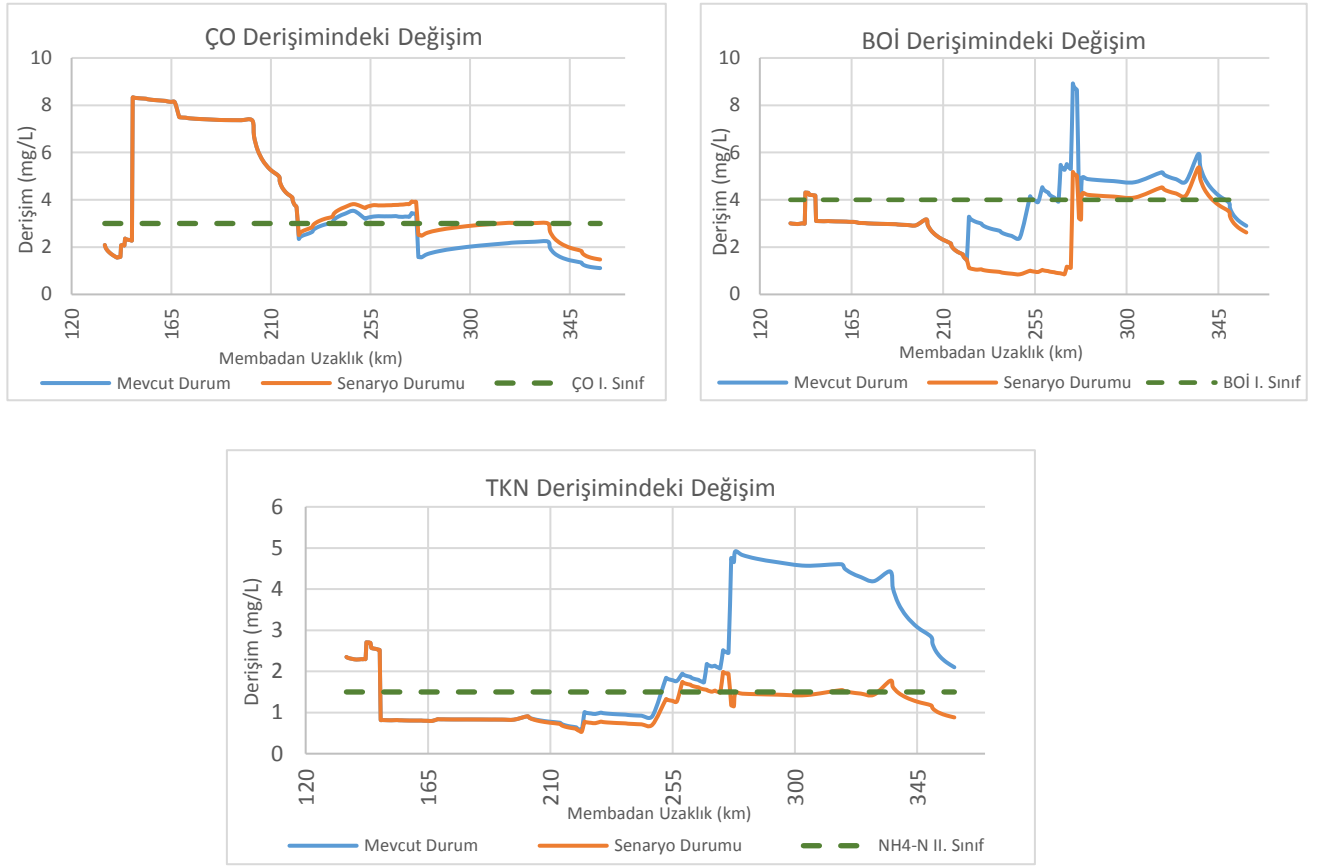
Yerleşim Yeri	Deşarj Edilen Su Kütlesi	AAT Durumu	AAT Özellikleri	Açıklama
Kemaliye	GEN_033	İnşaat durduruldu.	Aktif Çamur (ikincil)	Tekil AAT (inşaat çalışmaları durdurulmuştur)
Derbent	GEN_038	Planlama aşamasında	Aktif Çamur (ikincil)	Derbent-Avşar Müşterek AAT
Avşar	GEN_038	Planlama aşamasında	Aktif Çamur (ikincil)	
Büyükbelen	GEN_041	Planlama aşamasında	Aktif Çamur (ikincil)	Tekil AAT
Urganlı	GEN_042	Planlama aşamasında	Aktif Çamur (ikincil)	Tekil AAT
Turgutlu	GEN_043	İnşaat aşamasında	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur (ileri derece)	Tekil AAT

Uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminde giderim verimliliği BOİ için %95 ve TN için ise %20 olarak kabul edilmiştir. Diğer tesisler için ise Gediz HKEP’de belirlenen aktif çamur arıtma tipine göre giderim verimliliği belirlenmiştir. Bunlar; BOİ değeri için <5-10 mg/L, TN için <15-35 mg/L ve NH₄N için <15-25 mg/L olacak şekilde kabul edilmiştir. Planlanan AAT’lere ait ÇO ise 2 mg/L olacak şekilde senaryo modeli oluşturulmuştur.

Yayıllı yüklerde; 11 Şubat 2017 tarihli ve 29976 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren ‘Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu Tebliği’ kapsamında çiftçilerin uyması gereken usul ve esasların belirlenmesi ile havzada yayıllı yüklerden gelen kirliliğin %50 oranında azaltılacağı varsayımı yapılmıştır. Senaryo koşullarına göre düzenlenen veri setleri ile model dört dönem için çalıştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 36. Yağışlı Dönem Senaryo Durumu ve Mevcut Durum Karşılaştırması



Şekil 37. Kurak Dönem Senaryo Durumu ve Mevcut Durum Karşılaştırması

Senaryo modeli sonuçlarına göre, çözünmüş oksijen konsantrasyonunda iyileşme bütün dönemlerde gözlemlenmektedir. Dönemlere göre ve ortalama değerlendirmeye göre su kütlelerinin çözünmüş oksijen sınıfları Çizelge 18’de verilmektedir. Çözünmüş oksijen parametresi bazında havza su kütlelerinin %64’ü IV. sınıf iken senaryo durumunda bu değer %43’lere düşmektedir. Kurak dönemde, III. sınıf su kütlesi oranı %25’den senaryo modeli ile %45’e yükselmektedir. Yağışlı dönemde de iyileşme olmasına karşın, havza sınır koşullarındaki su kütlelerinin %55’i IV. sınıf olmaktadır.

Kümülatif değerlendirmeye bakıldığında, senaryo modelinde su kütlelerinin ÇO, BOİ ve TKN parametreleri bazında havza sınırlarında yer alan su kütlelerinin sırası ile %44, %1.64 ve %12 oranında IV. sınıf ve %45, %46 ve %65 oranında III. sınıf olduğu görülmektedir.

Çizelge 18. Çözünmüş Oksijen Mevcut Durum Senaryo Durumu Karşılaştırması

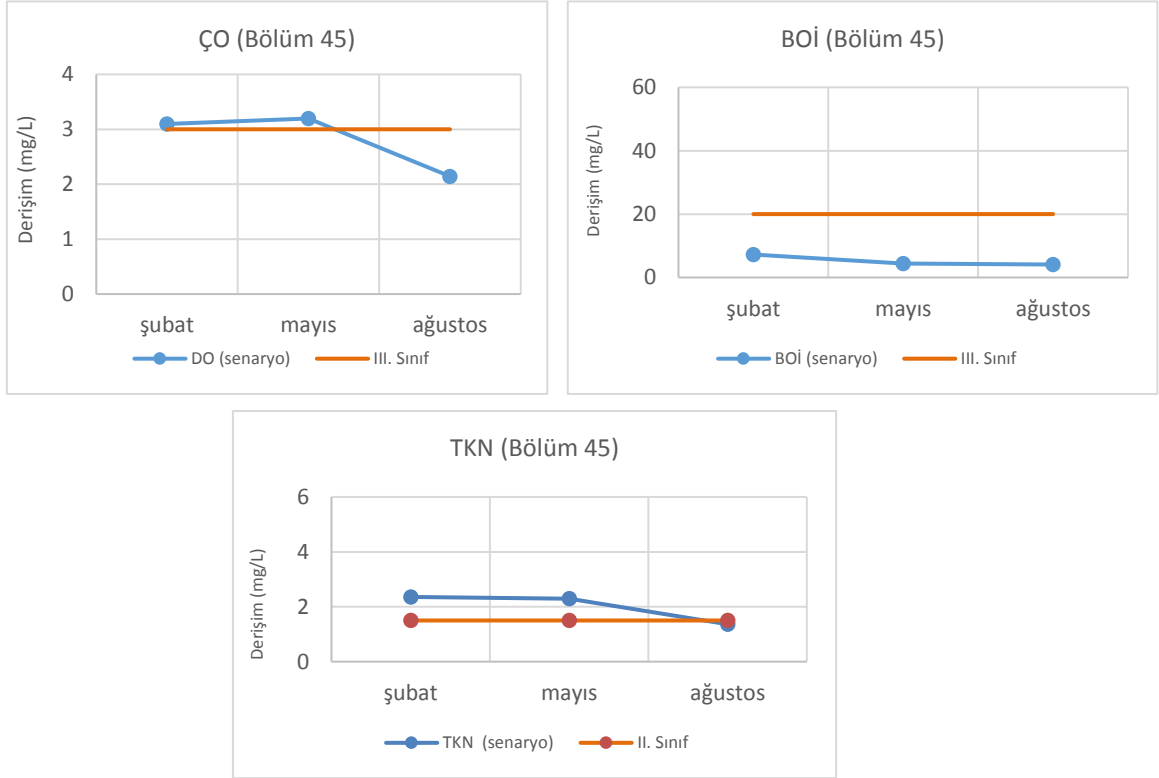
Dönemler	Mevcut Durum				Senaryo Durumu			
	IV.Sınıf	III.Sınıf	II.Sınıf	I.Sınıf	IV.Sınıf	III.Sınıf	II.Sınıf	I.Sınıf
Yağışlı dönem	%72	%10	%2	%16	%55	%23	%5	%17
Kurak dönem	%48	%28	%12	%12	%38	%39	%11	%12
Kümülatif	%64	%25	%5	%6	%43	%45	%6	%6

Diğer kirletici değişkenlerine ilişkin senaryo model sonuçları incelendiğinde, Kasım dönemi dışında BOİ değerlerinin büyük oranda azaldığı görülmektedir. Yağışlı dönemde ve kurak dönemde sırasıyla %30 ve %77 oranlarında I. sınıf olmaktadır. Kasım dönemindeki BOİ konsantrasyonlarının yüzdelerik dağılımlarına bakıldığında, su kütlelerinin %70'i IV. sınıf iken, senaryo modeli ile bu oran %40'lara düşmüştür. İyileşme olmasına karşın hala su kütlelerinin büyük çoğunluğu IV. sınıf su kütlesi özelliği göstermektedir.

Org N konsantrasyon seviyelerinde de azalma söz konusudur ancak yine Kasım döneminde yüksek seviyelere çıkmaktadır. NH₄N bazında kurak dönemde %53 oranında ve yağışlı dönemde %38 oranında I. sınıf su kütleleri bulunmasına karşın, Kasım döneminde havzanın çoğunluğunda su kütleleri IV. sınıf olmaktadır.

Kasım dönemindeki konsantrasyon seviyelerindeki iyileşmenin yetersiz kalmasının en temel nedeni bu ayda gerçekleştirilen zeytin ve zeytinyağı tesislerinin atıksuları olmaktadır.

Senaryo durumuna göre Alaşehir Çayı Alt Havzasının çıkış noktasındaki ÇO, BOİ ve TKN değerleri Şekil 39'da verilmektedir. Buradan da görüleceği gibi, kirlilik parametrelerinde ciddi oranlarda azalma olmasına karşın çözünmüş oksijen seviyeleri hala yeterli düzeyde artmamaktadır.



Şekil 39. Alaşehir Çayı Alt Havzası Çıkışı Senaryo Modeline Göre Derişimlerin Aylık Değişimi

Alaşehir Çayı Alt Havzası akarsu kütlelerinin Kasım ve Şubat dönemlerindeki mevcut durum ve senaryo durumuna ait sınıflandırma haritaları Ek-3’de verilmektedir. Haritalar, ArcGIS 10.4.1 programı yardımıyla, su kütlelerinin dört dönemlik ortalama verilerinin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 2’de verilen su kalitesi sınıf kriterlerine göre sınıflandırılarak oluşturulmuştur. Haritalardan görüleceği gibi alınan önlemlerle oluşturulan senaryolarda su kalitesi Şubat dönemi için büyük iyileşme kaydederken Kasım döneminde özellikle de organik kirlilik değişkenleri yeterli düzeyde iyileşmemektedir. Çözünmüş oksijen açısından incelendiğinde ise her iki dönemde de alınan önlemler yeterli seviyede kalmamaktadır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Su yönetiminde; kritik kararların alınması, havza bazında eylem planlarının belirlenmesi, yönetmeliklerin oluşturulması, su kalitesi proseslerinin daha iyi anlaşılması, baskılar sonucunda su kütlesinin tepkisinin ortaya konulması ve deşarj standartlarının belirlenmesi gibi maksatlarla su kalitesi modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. İzleme sistemleri ile istenilen mekânsal ve zamansal ölçekte veri elde edilmesi mümkün olmamaktadır. İzleme verilerinin tamamlayıcısı olarak modelleme teknikleri ile elde edilecek verilere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Su Çerçeve Direktifi kapsamında da modellerin bir araç olarak kullanılması gerektiği belirtilmekte olup, direktifin doğru ve etkin bir şekilde uygulanmasında modellemenin yeri büyük öneme sahiptir.

Su kalitesi modelleri amaca uygun olarak uygulanmalı ve çözüm önerisi sunulacak olan soruna göre modelleme yazılımı belirlenmelidir. Model seçiminde en düşük karmaşıklıkla sorunların çözümlenmesi daha uygun olmaktadır. Karmaşıklık seviyesi arttıkça daha çok veriye ihtiyaç duyulmakta ve bu daha doğru sonuç alınacağı anlamına gelmemektedir. Su kalitesi modellerinin gerçeğe en yakın sonuçlar üretmesi için veri daha uzun dönemde ve daha çok ölçüm noktasında olmalıdır. Ayrıca su ortamlarındaki baskılar da detaylı bir izleme ve araştırmayla ortaya konulmalıdır.

1925 yılında oluşturulan ve hala geçerliliğini koruyan ilk su kalitesi modeli Streeter&Phelps'den beri pek çok ülke kendi modelini geliştirmiş ve yaygınlaştırmıştır. Bu modellerden bazıları kapalı kaynak kodlu ve lisanslı olmaları nedeni ile su kalitesi değerlendirmesinde kullanımları maliyeti artırmaktadır. Bazı ülkeler ise oluşturdukları modellerini geliştirmek için modellerinin kaynak koduna ulaşım imkânı vermekte ve kullanıcılardan da geri beslenimlerini alarak modellerini daha iyi duruma getirmektedirler. Bir model çalışması yapılırken, modeli yazan kişilere ulaşmak ve modelin yazılımını anlamak özellikle de kalibrasyon adımı büyük önem taşımaktadır.

Su kalitesi modellemesi uzun bir süreçtir ve çalışmalar tamamlanmış olsa da elde edilen yeni verilere göre güncellenmelidir. Modellerin yaşatılması maksadıyla ülke koşullarına uygun 'İyi Modelleme Uygulamaları' yararlı bir yol gösterici olacaktır. Hem ülke genelinde yapılan modelleme çalışmalarının standardizasyonun

sağlanması hem de kurulan modellerin güncellemelerinin yapılması yani sürecin canlı tutulması model kullanımındaki faydayı artırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de geliştirilen Basit Akarsu Kalitesi Modeli (SİSMOD) incelenmiş ve Alaşehir Çayı Alt Havzası’na uygulanarak modelin Türkiye sularına uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. SİSMOD, çoğu kalite modellerinin sonuç vermesinin uzun sürmesi nedeni ile daha kısa sürede sonuçların alınabilmesi amacıyla geliştirilmiş bir programdır. Açık kaynak kodlu olan program, Türkiye’nin bazı akarsularındaki kirlenmenin yol açtığı önemli sorunlardan biri olan çözülmüş oksijen eksikliği ve besin elementleri döngüleri ile ilgili hesap yapabilmektedir. Hızlı sonuç vermesi tek boyutlu olması, yatışkın durum varsayımı yapması ve analitik çözüm yapıyor olmasından kaynaklanmaktadır.

Gediz Havzasının güney aksından kaynaklanan, havzanın en yüksek debili alt havzası olan “Alaşehir Çayı Alt Havzası” su kütlelerinin özellikle de son yıllarda artan su çekimleri nedeni ile kirlilik seviyelerinde artışların olduğu görülmekte ve bu kirlilik havzanın mansabında bulunan Gediz Nehrini de etkilemektedir. Özellikle de çözülmüş oksijen seviyelerinin azalması nedeniyle sucul ekosistemdeki yaşam kritik hale gelmektedir.

SİSMOD ile modellenmesi yapılan Alaşehir Çayı Alt Havzası su kalitesi değerlendirilmiş ve havza akarsu kaynaklarındaki problemlerin incelenmesinden, senaryoların oluşturulması adımına kadar ‘İyi Model Uygulaması El Kitabına’ uygun bir şekilde açıklanmıştır.

Modelleme çalışması kapsamında; akarsu başlangıç konsantrasyonları ve noktasal baskılar için ‘Gediz Havzası’nda Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşımının Uygulanması Projesi’nde gerçekleştirilen izleme verileri kullanılmıştır. Yayılı yükler için ise ‘Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi’ sonucunda elde edilen yıllık toplam yayılı yük değerlerinin su kütlelerindeki aylık dolaysız akıma oranlanmasıyla hesaplanan aylık yayılı yük değerleri kullanılmıştır. Dolaysız akım SWAT Baseflow Programı yardımıyla hesaplanmıştır. Dört dönemlik verilerin temin edilmesi ile, kalibrasyon dönemi olarak Mayıs dönemi seçilmiş ve Kasım, Şubat ile Ağustos dönemleri için de çalıştırılarak validasyon sağlanmıştır. Kalibrasyon dönemine göre model

performansının en iyi olduğu parametreler, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş oksijen ve organik azot olmaktadır. Nitrat azotu parametresine göre model sonuçları ölçüm sonuçlarından bir miktar yüksek kalmaktadır. Buna karşın; 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 2’de verilen su kalitesi sınıf kriterlerine göre değerlendirildiğinde, ölçüm sonuçlarında da olduğu gibi model sonuçları da I. sınıf su kütlesi sonucunu vermektedir.

Model sonuçlarına göre çözünmüş oksijen parametresi bazında en kirli durum su kütlelerinin %74’ü IV. sınıf olması ile Kasım dönemi ve en iyi durum ise su kütlelerinin %48’i IV. sınıf olması ile kurak dönemde olmaktadır. Kasım döneminde diğer kirletici parametrelerinin de diğer dönemlere oranla daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi olarak Kasım, Aralık ve Ocak dönemlerinde gerçekleştirilen zeytin ve zeytinyağı üretim tesislerindeki aktiviteler olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu tesislerde üç fazlı sistemle üretim yapılmaktadır ve zeytin karasuyu lagünlerde yeterince bekletildikten sonra deşarj edilmektedir. Ağustos döneminde ise kurak dönem olmasına karşın kirletici konsantrasyonlarında azalma görülmüştür. Bu da Demirköprü Barajı’ndan (4 Numaralı Başlangıç) ve Marmara Gölü’nden (6 Numaralı Başlangıç) yüksek debide ve nispeten iyi kalitede suyun havzaya bırakılmasından kaynaklanmaktadır.

Anılan projedeki izleme sonuçlarına göre, Kasım döneminde mansap kısmı ve Ağustos döneminde ise memba kısmı kurumuştur. Bu çalışma kapsamında da diğer dönemlerde de su çekimlerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Su çekimleri nedeni ile de kirlilik konsantrasyonları artmaktadır. Su çekim miktarları su kütlelerindeki debi ölçüm sonuçlarına göre kütle dengesi ile belirlenmiştir.

Havzadaki kirlilik yüklerinin azaltılmasına ilişkin önerilerin sunulması amacıyla noktasal yüklerden ve yayılı yüklerden azalım senaryosu oluşturulmuş ve senaryo modeli çıktıları mevcut durumla kıyaslanmıştır. Noktasal yükler için mevcut durumda doğrudan deşarj yapan veya mevcut tesisin yetersiz kaldığı tesislerden Havza Koruma Eylem Planı’nda önerilen dokuz yerleşim yeri için yedi tane atıksu arıtma tesisinin işletilmeye başladığı varsayımı yapılmıştır. Yayılı yükler için ise Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yayınlanan ‘Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu

Tebliği' kapsamında öngörölen önlemlerin havzada uygulanması sonucunda %50 oranında azaldığı varsayımı yapılmıştır.

Elde edilen senaryo modeli sonuçlarına göre biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametresi bazında kurak dönemde ve yağışlı dönemde bazı su kütlelerinin I. sınıf seviyelerine kadar iyileştiği görölmüştür. Ancak senaryo modelinde belirlenen önlemler, Kasım döneminde yetersiz kalmakta olup biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametresi bazında su kütlelerinin %40'ı IV. sınıf su kütlesi olduğu görölmüştür. Buna karşın, amonyum azotu parametresi bazında kurak dönemde %53 oranında ve yağışlı dönemde %38 oranında I. sınıf su kütleleri bulunmaktadır.

Senaryo modeline göre, çözünmüş oksijen parametresi bazında çalışma alanında yer alan su kütlelerinin %20'si; biyolojik oksijen ihtiyacı parametresi bazında çalışma alanında yer alan su kütlelerinin %36'sı; toplam kjeldahl azotu parametresi bazında çalışma alanında yer alan su kütlelerinin %46'sı IV. sınıftan III. sınıf su kütlesine yükselmiştir.

Bu çalışma sonucuna göre; SİSMOD, akarsu boyunca su kalitesinin kirlilik profilinin çıkartılması maksadıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

8. ÖNERİLER

8.1 Türkiye'deki Su Kalitesi Modelleme Çalışmalarına İlişkin Öneriler

Su kalitesi modellerinin oluşturulmasındaki en büyük problem veri temininde yaşanan sıkıntılardır. Su kalitesinin izlenmesi ile su kalitesinin modellenmesi arasında karşılıklı bağımlılık vardır. Yani ne kadar çok izleme sonucu olursa o kadar sağlıklı modeller kurulabilir ve daha da doğru su kalitesi verisi elde edilebilir. Su kalitesinin yönetiminde izleme ve modelleme birbirlerini besleyen iki husus olmaktadır. Dolayısı ile su kütlelerinde kalite izleme çalışmaları daha çok noktada ve daha sık periyotlarda yapılmalıdır.

Alıcı ortam izlemesinin yanı sıra noktasal deşarjlara ilişkin kirletici konsantrasyon verisinin de temini modellemenin sağlıklı sonuçlar vermesi için önem arz etmektedir. Noktasal deşarjlara ilişkin yapılan ölçümlerinde de kompozit numune usulü ile yapılması daha gerçekçi sonuçlara ulaşılması açısından önem arz etmektedir. Bulunan veriler ise bir değerlendirmeden geçirilmemesi nedeni ile uygulama aşamasında modelciye büyük zorluklar yaşatmaktadır. Bir modelin daha iyi sonuç vermesi için yeterli miktarda ve analiz edilmiş veri seti bulunmalıdır.

Su kalitesi modellemesi bütün adımlarıyla uygulandığında (Kalibrasyon, Geçerlilik Kontrolü) uzun zaman alan bir süreçtir. Bu sürece bir de verinin değerlendirilmesi aşaması eklendiğinde süreç daha da uzamakta ve sonuçların elde edilmesini geciktirmektedir.

Bu nedenle veri değerlendirmesi gelecekteki kullanımı destekleyecek nitelikte standartlaşmış bilgisayar yazılımları ile yapılmalıdır. Veri değerlendirmesinin hemen ölçüm sonrasında yapılması tercih edilmelidir. Ölçüm yapan ekibin gözlemleri de değerlendirme notlarına eklenmelidir. Verilerle birlikte metaverinin de olması veri değerlendirmesinde büyük fayda sağlamaktadır. Karmaşık modelleme çalışmaları için veri toplayıcılar ve modelci işbirliği içerisinde olmalıdır.

Modellemesi yapılacak su kütesine/havzasına ilişkin problemlerin ortaya konması ve çalışmanın amacının belirlenmesi gerekmektedir. Amaç ortaya konduktan sonra modelleme programı seçimi aşamasında soruna çözüm bulacak en basit

programın seçilmesi önerilmektedir. Karmaşık yaklaşımlarda veri girdisinin daha çok olması nedeni ile hata oranı artabilmektedir.

Kullanılacak model seçiminde, en önemli hususlardan birisi de akarsu hızı yani bekleme süresidir. Bunun doğru bir şekilde hesaplanması kullanılacak modelin özelliklerini belirlemede büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle nehirlere ait enkesit özellikleri verisinin de bulunması daha doğru modellerin oluşturulmasını sağlayacaktır.

Su kalitesi modellemesi çalışmaları tamamlanan bir süreç olmamalıdır. Güncel verilere göre revize edilmeli, süreç iteratif bir şekilde devam ettirilmelidir. Modelin tekrar kurulması ve güncellenmesi için ise yapılan çalışmalara ilişkin doğru ve açıklayıcı dokümantasyon yapılmalı ve su ile ilgili karar vericilere de iletilmelidir. Böylelikle modelleme çalışmalarının kullanılabilirliği artacak ve modelleme maliyetleri azaltılacaktır.

Ayrıca modellerin yönetsel kararlarda kullanılabilirliğinin artırılması maksadıyla paydaşların ve halkın katılımı model kurulumu aşamasında sağlanmalıdır. Modeller multidisipliner çalışmalardır. Bu nedenle havzadaki kurum ve sivil toplum kuruluşlarının koordinasyon içinde bu çalışmaları yürütmesi gerekmektedir. Özellikle de yayılı yüklerle ilişkin oluşturulan senaryoların uygulanabilirliği ancak halkın da sürece dâhil edilmesiyle gerçekleşebilecektir.

Türkiye’de de su kalitesi modellerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Pek çok çalışmada, projede modeller kurulmakta ve sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışmalarının standardının sağlanması maksadıyla Türkiye koşullarına uygun İyi Model Uygulaması kitapçığı oluşturulmalı ve çalışmaların bu kitapçıktaki adımlar doğrultusunda yapılarak standartlaştırılması ve raporlanması sağlanmalıdır.

8.2 Alaşehir Çayı Alt Havzası Su Kalitesine İlişkin Öneriler

Bu çalışma kapsamında elde edilen model sonuçlarına göre havza genel olarak III. ve IV. sınıf su kalitesine sahiptir. Havzadaki su kaynakları bilinçsizce yapılan su çekimleri ile eski sulama sistemlerinin kullanılması sebebiyle son derece kısıtlı hale gelmiştir. Halk su kıtlığı, suyun doğru kullanımı ve teknikleri konusunda eğitilmeli ve daha bilinçli su tüketimi için teşvik edilmelidir.

Havzadaki en büyük noktasal baskılar Alaşehir Atıksu Arıtma Tesisi ve Turgutlu yerleşim yerinden yapılan doğrudan deşarjdır. Havzada planlanan arıtma tesislerinin işletilmesi durumuna göre oluşturulan senaryolarda iyileşmeler olduğu görülmektedir. Dolayısı ile havzada planlanan arıtma tesisleri tamamlanmalı ve akarsulardaki kirlilik seviyesi daha çok artmadan işletmeye geçirilmelidir.

Yer alan arıtma tesislerinin deşarj ölçüm sonuçları incelendiğinde, bazı tesislerin verimli çalışmadığı görülmüştür. Söz konusu tesisler düzenli bir şekilde çalıştırılmalı, tesislerdeki prosesler tekrar gözden geçirilerek yeterli verimde olup olmadıkları değerlendirilmelidir.

Havzada planlanan atıksu arıtma tesislerinin yanı sıra doğrudan deşarj yapılan yerleşim yerleri için de uygun proseslerde atıksu arıtma tesisleri planlanarak, faaliyete geçirilmelidir.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan senaryo modelinde iyileşmeler gerçekleşmiş olmasına karşın özellikle de Kasım döneminde konsantrasyonların yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu durum Kasım döneminde gerçekleştirilen zeytin ve zeytinyağı tesislerinden kaynaklanmaktadır. Havzadaki zeytin ve zeytinyağı tesislerin tamamı üç fazlı üretim yapmaktadır. Üç fazlı yöntemde organik kirliliği yüksek, asidik ve yağ içeriği yüksek zeytin kara suyu denilen atıksuların oluşmasına neden olmaktadır. Bu atıksuların optimum verimle minimum maliyetli arıtılabilmesi mümkün olmamaktadır. Ancak iki fazlı üretim tekniğinde proses suyu kullanılmaması nedeni ile sistemde oluşan karasu prina içinde kalmakta ve atık olarak karasu oluşmamaktadır. İki faz yöntemini kullanabilecek olan tesislerin iki fazlı sisteme geçmesi, iki faz yöntemini teknik nedenlerle kullanamayacak tesisler için ise tesislerdeki lagün sistemlerinin sızdırmazlık özellikleri yeniden değerlendirilmelidir.

Havzada verimli toprakların olması nedeni ile tarım arazileri yer almaktadır. Tarım arazilerinde çalışan çiftçiler bilinçsiz su kullanımının yanında aşırı gübre ve kimyasal ilaçlar da kullanmaktadır. Bu da havzadaki yayılı kirlilik yük miktarını artırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, yayılı yüklerin havzadaki sorunlara uygun şekilde alınacak önlemlerle %50 oranında azalacağı varsayımı yapılmıştır. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yayınlanan ‘Sularda Tarımsal Faaliyetlerden

Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu Tebliği' ekinde yayınlanan 'İyi Tarım Uygulamaları Kodu' dokümanı incelenerek hangi metodun çalışma alanında daha kullanılabilir olacağı ortaya konulmalıdır.

Havzadaki yayılı yük dağılımına bakıldığında en yüksek oranın hayvancılık aktivitelerinden kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle de hayvancılık işletmelerine sahip çiftçiler "İyi Tarım Uygulamaları Kodu" kapsamında bilgilendirilmeli ve Tebliğ kapsamında belirlenen usul ve esaslara uyulmalıdır.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan, kalibre edilen ve geçerlilik kontrolü yapılan model şu ana kadar elde edilen mevcut veriler ışığında çalıştırılmış olup, havza özelinde daha sağlıklı sonuçların alınması amacıyla yeni veriler geldikçe güncellenmeli ve sonuçlar kontrol edilmelidir.

8.3 SİSMOD Programının Geliştirilmesine İlişkin Öneriler

Türkiye'de geliştirilmiş bir model olan SİSMOD'un kullanımı yaygınlaştırılarak test edilme imkânı arttırılmalıdır. Farklı özelliklerdeki havzalarda uygulanarak geniş alanlarda kullanımının uygunluğu değerlendirilmelidir.

Programın arayüzü bulunmamakta sadece konsol uygulaması ile kullanılmaktadır. SİSMOD'un bir arayüzünün oluşturulması kullanıcı dostu bir model olmasını sağlayacaktır.

Model sonuçlarını '.txt' formatında vermektedir. Modelciye zamandan tasarruf sağlaması ve yine daha kullanıcı dostu bir model olabilmesi amacıyla sonuçların grafiklerle görselleştirilmesi önerilmektedir.

Model girdisi olarak, oluşturulan her bir bölüm için sıcaklık ve tuzluluk verisi girilmesi gerekmektedir. Bu veriler, modellerde oluşturulan her bölüm için bulunmamaktadır. Bu nedenle, kullanıcının bu hesapları kütle dengesi ile ölçüm sonucu olan bölümler aracılığı ile elle hesaplaması gerekmektedir. Bu parametrelerin de akarsu başlangıç girdisi olacak şekilde programın düzenlenmesi hem kullanıcıya kolaylık sağlayacak hem de diğer bölümlerdeki parametrelerin daha doğru elde edilmesine olanak verecektir.

SİSMOD'un söz konusu havza için uygulanabilir bir model olduğu bu çalışma ile ortaya konmaktadır. Hızlı çıktı vermesi nedeni ile akarsularda kirlilik profilinin oluşturulması ve kirlilik azalım senaryolarının akarsu boyunca etkisinin gözlemlenmesi, ölçüm olmayan noktalarda da veri elde edilmesi gibi maksatlarla kullanımı mümkündür.

REFERANSLAR

- Ahmet Yüceer, n. G. (2004). Aşağı Seyhan Nehri Su Kalitesi Değişiminin Qual2e Modeli İle İncelenmesi. Adana.
- Aksungur,N., & Firidin, Ş. (2008). Su Kaynaklarının Kullanımı ve Sürdürülebilirlik. Yunus Araştırma Bülteni, Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü.
- Angel borja, ı. G. (2006). The European Water Framework Directive And The Dpsır, A Methodological Approach To Assess The Risk of Failing To Achieve Good Ecological Status. Estuarine coastal and shelf science, 66:84-96.
- Anthony s. Donigian, J. P. (2005). Nutrient Criteria Development With A Linked Modeling System: Watershed and Ecological Model Application and Linkage.
- Arnold, J., Allen,P., R.Muttiah, & G.Bernhardt. (1995). Automated Base Flow Separation And Recession Analysis Techniques. Ground water vol. 33, no:6.
- Ballance, j. B. (1996). Chapter 2 - Water Quality. United Nations Environment Programme And The World Health Organization.
- Bulut, v. (2005). “Kalyan Akarsuyunun Su Kalitesinin Araştırılması Ve Modellenmesi”. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Castillo, j. D. (2007). Stream Ecology Sructure and Function Of Running Water. Dordrecht: Springer.
- Çelik, F. D. Su Kalitesi Modelleme. Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Center, n. G. (2001). Description Of Commonly Considered Water Quality Constituents (ek-b). A guidebook for Local Governments For Developing Regional Watershed Protection Plans. Brown & Caldwell.
- Chaiwiwatworakul P, K. S. (2005). Influence of Hydraulic Characteristics To Water Quality in a River. Seoul, Korea: Proceeding of the 31st ıahr congress.

Chang hyuk ahn, h. M.-r. (2013). Effects of Water Velocity And Specific Surface Area On Filamentous Periphyton Biomass in An Artificial Stream Mesocosm. Republic of Korea: Water.

Chapra, S. C. (1997). Surface Water Quality Modeling. Thufts University: Waveland Press Inc.

Chihhao Fan, C.-H. K.-S. (2007). An İnnovative Modeling Approach Using Qual2k And Hec-Ras İntegration to Assess The İmpact of Tidal Effect On River Water Quality Simulation. Tayvan.

Çilek, A. S. (2005). Yüzeysel Su Kalitesi Modellerinde Besi Maddesi Döngülerinin Simülasyonlarında Kullanılan Model Katsayıları İçin Veri Tabanı Tasarımı ve Geliştirilmesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

Coşkun, M. A. (2012). Akarsularda Su Kalitesi Belirleme ve Modelleme. Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Doğa Koruma Merkezi. 'Entegre Havza Yönetiminde Modeller ve Karar Destek Sistemleri' Sunumu.

Elçi, D. D. Su Kalitesi Modelleri Dersi, Su Kalitesini Etkileyen Süreçler Sunumu. Çevre Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.

Environmental Protection Agency. (1976). Evaluation of Water Quality Models: a management guide for planners. United states.

Environmental protection agency. (1992). Parameters of Water Quality Interpretation and Standards.

Erciyes üniversitesi . (2014). Çevre Kimyası Laboratuvarı Ders Notu . Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.

Ertürk, A. (2010). A Simple Stream Water Quality Modelling Software For Educational and Training Purposes. Turkish Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences.

European Commision. (2003). Guidance Number 1 Economics and The Environment. Common Implementation Strategy for The Water Framework Directive (2000/60/ec).

European Commission. (2003). Guidance Number 11 Planning Process. Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive (2000/60/ec).

Fred F Hattermann, Z. W. (2010). Water Framework Directive: Model Supported Implementation A Water Manager's Guide. London: Iwa Publishing.

Fusun şengül, a. Ö. (2003). Zeytin Karasuyu Arıtımı Projesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.

Giupponi, c. (2007). Decision Support Systems For Implementing The European Water Framework Directive: The Mulino Approach. Sciencedirect Environmental Modelling & Software.

Iwrm-net, i. W. (2009). French Case Study Report: Implementing The WFD on The Thau Basin. I-Five: Innovative Instruments And Institutions In Implementing The Water Framework Directive.

James I. Martin, s. C. (1999). Hydrodynamics and Transport For Water Quality Modeling. Florida: Lewis Publisher.

Jamie bartram, r. B. (1996). Water Quality. A Practical Guide To The Design And Implementation Of Freshwater. United Nations Environment Programme And The World Health Organization.

K.-E. Lindenschmidt, K. F. (2005). Model System Development And Uncertainty For The Provisionary Management Of Extreme Floods in Large River Basins. Advances In Geosciences.

Kansheng Wu, Y. J.. Application Of Basins For Water Quality Assessment On The Mill Creek Watershed in Louisiana. Los angeles.

Kardos, c. C. (2007). Review of Urban Stormwater Quality Models: Deterministic, Stochastic, and Hybrid Approaches. Journal Of The American Water Resources Association.

Kaufman, G. B. (2003). Application Of The Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) to Evaluate Dissolved Nitrogen Concentrations In The Altamaha River Estuary, Georgia. University of Florida.

Korkut, Ş. Su Kalitesi Yönetimi Ders Notları. Zonguldak: Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bülent Ecevit Üniversitesi.

Letensie tseggai hadgu, m. O. (2014). Application of Water Quality Model Qual2k To Model The Dispersion Of Pollutants In River Ndarugu, Kenya.

Lewis, w. M. (1988). Primary Production In The Orinoco River. Venezuela, : Ecological Society of America.

Lindenschmidt, d.-i. K.-e. (2006). River Water Quality Modelling For River Basin And Water Resources Management With A Focus On The Saale River, Germany. Canada: Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Loucks, D. P., Van Beek, E., Stedinger, J. R., dijkman, J. P., & Villars, M. T. (2005). Chapter 12: Water Quality Modelling And Prediction. Water Resources Systems Planning And Management: An Introduction To Methods, Models And Applications. UNESCO.

Marcello Benedini, G. T. (2013). Water Quality Modelling for Rivers And Streams. Springer.

Marcelo e. Lago, m. C. (2012). Water Quality Modeling of Golden Gate Canal System. 9th Intecol International Wetlands Conference.

Matthias Zessner,A. K. (2011). Enhancement of The Moneris Model For Application In Alpine Catchments in Austria. Wiley-Vch Verlag gmbh & co. Kгаа, Weinheim.

Meriç, b. (2004). Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi.

Michael rode, b. K.-e. (2002). Integrated River Basin Management: A New Ecologically-Based Modelling Approach . ecohydrology&hydrobiology.

Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Suların Analiz Parametreleri. Ankara.

Nico Stollenwerk, F. R. (2001). Testing Nonlinear Stochastic Models On Phytoplankton Biomass. Elsevier ecological modelling.

Ortatepe, o. (2013). Eysel Nitelikli Atıksuların Aerobik Ve Anaerobik Şartlar Altında, Azot Ve Fosfor Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.

Osib, o. (2013). Havza İzleme Ve Referans Noktalarının Belirlenmesi Projesi. Ankara: Orman Ve Su İşleri Bakanlığı.

Osib, o. (2013). Susurluk Pilot Havzasında Sofralık Zeytin Ve Zeytinyağı İşletmeleri Atıklarının Entegre Yönetiminin Araştırılması Proje Raporu. Ankara: Orman Ve Su İşleri Bakanlığı.

Patwardhan, A S. (1999). Application Of EPA's Basins Model For a Watershed Assessment Project In Fulton County, Georgia. Georgia, Atlanta.

Qinggaiwang, S. L. (2013). A Review Of Surface Water Quality Models. The Scientific World Journal.

Riecken, S. (1995). A Compendium Of Water Quality Models. British Columbia: Ministry Of Environment, Lands And Parks.

Şahinkaya, Y. D.. Çevre Mikrobiyolojisi Ders Notları.

Shonrnrrn, J. G. (1978). Enhancement of autotrophic production by nutrient addition in a coastal rainforest stream on vancouver island. Canada.

Solera, J. P.-a.-á.-m. (2010). Water quantity And Quality Models Applied To The Jucar River Basin, Spain. Water Resource Manage Springer Science+Business Media.

Tezcan, I. (2003-2004 güz dönemi). Adveksiyon, Dispersiyon Sunumları. Hidrojeoloji Mühendisliği Mühendislik Fakültesi Hacettepe Üniversitesi.

Tübitak Marmara Araştırma Merkezi. (2015). Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların Ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi Nihai Raporu. Gebze: Orman ve Su İşleri Bakanlığı.

Usgs handbooks for water-resources investigations. (2015). National field manual for the collection of water-quality data.

Wageningen üniversitesi. (1999). Good modelling practice handbook. Hollanda.

Watershed Academy Web Online Eğtim Modülleri. Watershed Modeling. USEPA

World Meteorological Organization. (2013). Planning of Water-Quality Monitoring Systems. Switzerland.

Zhen-gang. (2008). Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, And Estuaries. New Jersey: John Wiley&Sons Inc.

Zoppou, c. (2000). Review of Urban Storm Water Models. Environmental modeling&software.

Url-1. [Http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/](http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/) adresinden alındı

Url-2. [Http://www.waterman.hku.hk/education/slide.aspx?code=whwk6](http://www.waterman.hku.hk/education/slide.aspx?code=whwk6) adresinden alındı

EK-1: Basit Akarsu Modeli Programı Su Kalitesi Denklemleri

A. Çözünmüş Oksijen Denklemi (ÇO)

Aerobik Koşullar →

$$\begin{aligned}
 D = & \underbrace{D_0 \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)}_{\text{KISIMA}} + \underbrace{\left\{ \frac{K_d}{K_a - K_r} \left[\exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \right\}}_{\text{KISIMB}} L_0 \\
 & + \underbrace{4,57 \left\{ \frac{\text{nitr}_{1,2} \text{nitr}_{2,3}}{\text{nitr}_{2,2} - \text{nitr}_{1,1}} \left[\frac{1 - \exp\left(-\text{nitr}_{1,1} \frac{x}{U}\right)}{\text{nitr}_{1,1}} \right] - \left[\frac{1 - \exp\left(-\text{nitr}_{2,2} \frac{x}{U}\right)}{\text{nitr}_{2,2}} \right] \right\}}_{\text{KISIMC}} N_{1,0} + \right. \\
 & \left. + \frac{\text{nitr}_{2,3}}{\text{nitr}_{2,2}} \left[\frac{1 - \exp\left(-\text{nitr}_{2,2} \frac{x}{U}\right)}{\text{nitr}_{2,2}} \right] \right) \\
 & + \underbrace{\left(\frac{K_d}{K_a K_r} \left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] - \left\{ \frac{K_d}{(K_a - K_r) K_r} \left[\exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \right\} \right)}_{\text{KISIMD}} L_{rd} \\
 & - \underbrace{\left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \frac{P_a}{K_a}}_{\text{KISIME}} + \underbrace{\left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \frac{R}{K_a}}_{\text{KISIMF}} + \underbrace{\left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \frac{S'_B}{K_a}}_{\text{KISIMG}}
 \end{aligned}$$

Anaerobik Koşullar →

$$\begin{aligned}
 D = & \underbrace{D_0 \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)}_{\text{KISIMA}} + \underbrace{\left\{ \frac{K_d}{K_a - K_r} \left[\exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \right\}}_{\text{KISIMB}} L_0 \\
 & + \underbrace{\left(\frac{K_d}{K_a K_r} \left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] - \left\{ \frac{K_d}{(K_a - K_r) K_r} \left[\exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \right\} \right)}_{\text{KISIMD}} L_{rd} \\
 & - \underbrace{\left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \frac{P_a}{K_a}}_{\text{KISIME}} + \underbrace{\left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \frac{R}{K_a}}_{\text{KISIMF}} + \underbrace{\left[1 - \exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) \right] \frac{S'_B}{K_a}}_{\text{KISIMG}}
 \end{aligned}$$

KISIM A: Akarsu başlangıcındaki çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi.

KISIM B: Organik maddenin (BOİ) oksitlenmesinin çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi

KISIM C: Nitrifikasyonun çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi

KISIM D: Yayılı BOİ yükünün çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi

KISIM E: Fotosentezin çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi

KISIM F: Solunumun çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi

KISIM G: Sedimentin oksijen ihtiyacının çözünmüş oksijen eksikliğine etkisi

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız (m/s)

K_a : Havalanma hızı (gün^{-1})

K_d : Karbonlu BOİ yükseltgenme hızı (gün^{-1})

K_r : Karbonlu BOİ toplam tükenme hızı (yükseltgenme+çökeltme) (gün^{-1})

P_a : Fotosentez Hızı (mg/L.gün)

R_a : Solunum hızı (mg/L.gün)

S'_B : Taban çamurunun (sedimentin) oksijen ihtiyacı (mg/L.gün)

$\text{nitri}_{1,1}$: Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı (gün^{-1})

$\text{nitri}_{1,2}$: Organik azotun amonyum azotuna dönüşme hızı (gün^{-1})

$\text{nitri}_{2,2}$: Amonyum azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, nitrifikasyon) tüketim hızı (gün^{-1})

$\text{nitri}_{2,3}$: Nitrifikasyon hızı (gün^{-1})

$\text{nitri}_{3,3}$: Nitrat azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, denitrifikasyon) tüketim hızı (gün^{-1})

L_{rd} : Debrisiz yayılı karbonlu BOİ yükü ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{gün}^{-1}$)

L_0 : Akarsu bölümü başlangıcındaki karbonlu BOİ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

$N_{1,0}$: Akarsu bölümü başlangıcındaki organik azot ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

$N_{2,0}$: Akarsu bölümü başlangıcındaki amonyum azotu ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

D : Çözünmüş oksijen eksikliği ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

B. Karbonlu Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Denklemi (cBOİ)

Aerobik Koşullar →

$$L = L_0 \exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) + \frac{L_{rd}}{K_r} \left[1 - \exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right)\right]$$

Anaerobik Koşullar →

$$L = L_i - K_a C_s \left(\frac{x - x_i}{U}\right)$$

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

x_i : Anaerobik kesimin başladığı konumun akarsu bölümü başlangıcından uzaklığı (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m \cdot s^{-1}$)

L_0 : Akarsu bölümü başlangıcındaki karbonlu BOİ ($mg \cdot L^{-1}$)

K_r : Karbonlu BOİ toplam tükenme hızı (yükseltgenme + çökeltme) ($gün^{-1}$)

L_{rd} : Debrisiz yayılı karbonlu BOİ yükü ($mg \cdot L^{-1} \cdot gün^{-1}$)

L_i : Anaerobik bölge başlangıcındaki karbonlu BOİ ($mg \cdot L^{-1}$)

K_a : Havalanma hızı ($gün^{-1}$)

L : Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı ($mg \cdot L^{-1}$)

C_s : Çözünmüş oksijenin doymuluk derişimi ($mg \cdot L^{-1}$)

C. Organik Azot Denklemi (Org N)

Aerobik Koşullar →

$$N_1 = N_{1,0} \exp\left(-nitr_{1,1} \frac{x}{U}\right)$$

Anaerobik Koşullar →

Aynı denklem kullanılmaktadır.

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m \cdot s^{-1}$)

$nitr_{1,1}$: Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$N_{1,0}$: Akarsu bölümü başlangıcındaki organik azot ($mg \cdot L^{-1}$)

N_1 : Organik azot ($mg \cdot L^{-1}$)

D. Amonyum Azotu Denklemi (NH_4N)

Aerobik Koşullar →

$$N_2 = \frac{nitr_{1,2} N_{1,0}}{nitr_{2,2} - nitr_{1,1}} \left[\exp\left(-nitr_{1,1} \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-nitr_{2,2} \frac{x}{U}\right) \right] + N_{2,0} \exp\left(-nitr_{2,2} \frac{x}{U}\right)$$

Anaerobik Koşullar →

Çözünmüş Oksijen derişimi 0.5 mg/L 'nin altına düştüğünde hem nitrifikasyonun hem de bitki ve fitoplankton aktivitesinin durduğu kabul edilmekte ve tanımlı amonyum azotu tüketen süreçlerden hiç biri çalışmamaktadır. Bu durumda, model tarafından çözünmüş oksijen 0.5 mg/L 'nin altına düştüğü zaman, Aerobik koşul denklemindeki $nitr_{2,2}$ sifira eşitlenmektedir.

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m \cdot s^{-1}$)

$nitr_{1,1}$: Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökmesi, hidroliz ve bakteriler ile

amonyuma dönüşme) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{1,2}$: Organik azotun, amonyum azotuna dönüşme hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{2,2}$: Amonyum azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım,

nitrifikasyon) tüketim hızı (gün⁻¹)

N_{1,0} : Akarsu bölümü başlangıcındaki organik azot (mg·L⁻¹)

N_{2,0} : Akarsu bölümü başlangıcındaki amonyum azotu (mg·L⁻¹)

N₂ : Amonyum azotu (mg·L⁻¹)

E. Nitrat Azotu Denklemi (NO₃N)

Aerobik Koşullar →

$$N_3 = \frac{nitr_{1,2} \cdot nitr_{2,3}}{nitr_{2,2} - nitr_{1,1}} \left[\frac{\exp\left(-nitr_{1,1} \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-nitr_{3,3} \frac{x}{U}\right)}{nitr_{3,3} - nitr_{1,1}} - \frac{\exp\left(-nitr_{2,2} \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-nitr_{3,3} \frac{x}{U}\right)}{nitr_{3,3} - nitr_{2,2}} \right] N_{1,0} \\ + \frac{nitr_{2,3}}{nitr_{3,3} - nitr_{2,2}} \left[\exp\left(-nitr_{2,2} \frac{x}{U}\right) - \exp\left(-nitr_{3,3} \frac{x}{U}\right) \right] N_{2,0} + \left[\exp\left(-nitr_{3,3} \frac{x}{U}\right) \right] N_{3,0}$$

Anaerobik Koşullar →

Çözünmüş oksijen derişimi 0.5 mg/L'den daha düşük olduğunda hem nitrifikasyonun hem de bitki ve fitoplankton aktivitesinin durduğu kabul edilmektedir. Bu durumda, nitrat su kalitesi değişkeninin organik azot ve amonyum azotu ile ilişkisi de kesilmektedir.

$$N_3 = N_{3,0} \exp\left(-nitr_{3,3} \frac{x}{U}\right)$$

nitr_{1,1} : Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı (gün⁻¹)

nitr_{1,2} : Organik azotun, amonyum azotuna dönüşme hızı (gün⁻¹)

nitr_{2,2} : Amonyum azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, nitrifikasyon) tüketim hızı (gün⁻¹)

nitr_{2,3} : Nitrifikasyon hızı (gün⁻¹)

nitr_{3,3} : Nitrat azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, denitrifikasyon) tüketim hızı (gün⁻¹)

N_{1,0} : Akarsu bölümünün başlangıcındaki organik azot (mg·L⁻¹)

$N_{2,0}$: Akarsu bölümünün başlangıcındaki amonyum azotu ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

$N_{3,0}$: Akarsu bölümünün başlangıcındaki nitrat azotu ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

N_3 : Nitrat azotu ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

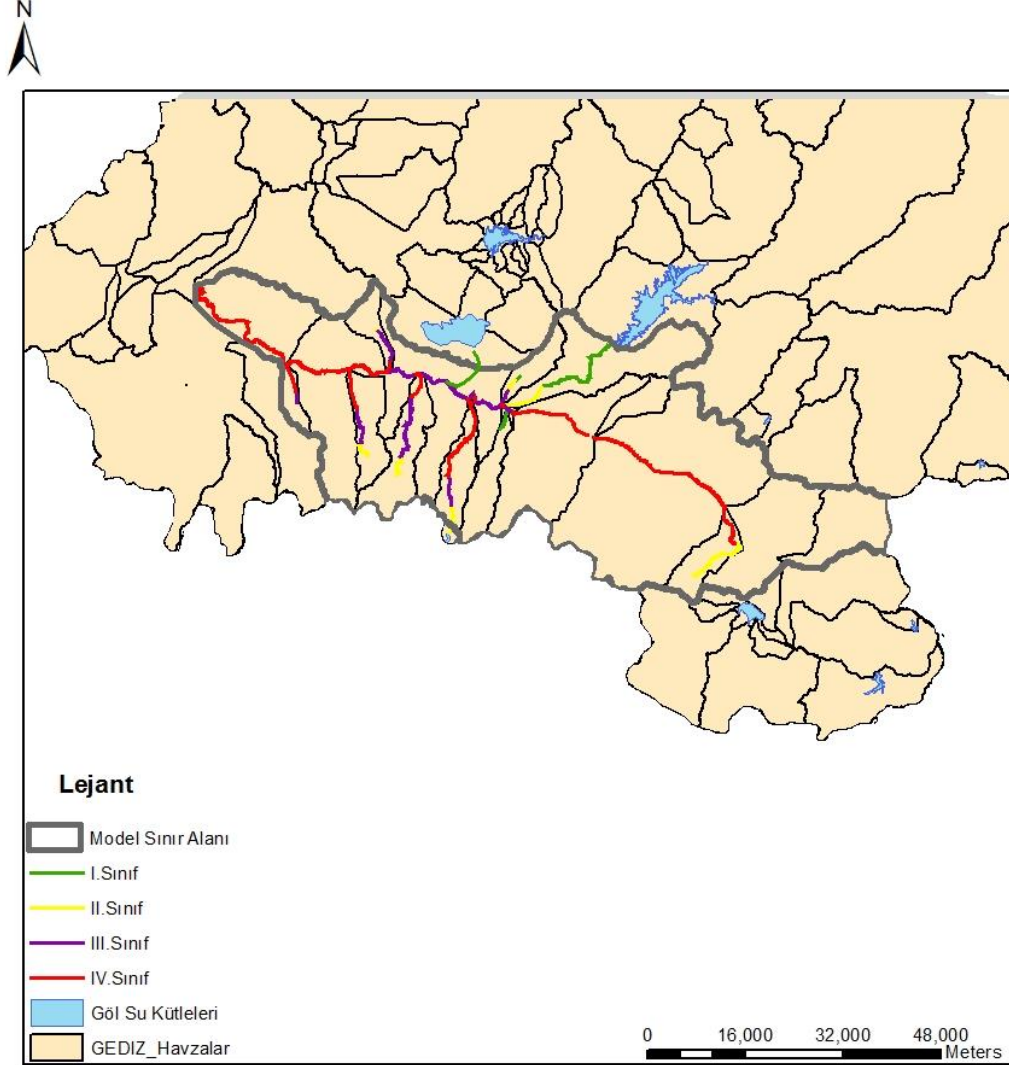
EK-2: Alaşehir Çayı Alt Havzası Su Kalitesi Modeli Akarsu Başlangıç Değerleri

BAŞLANGIÇ NO	DÖNEM	DEBİ (m ³ /s)	ÇO (mg/L)	BOİ (mg/L)	ORG-N (mg/L)	NH4-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)
1	KASIM	0.01	3.1	6.15	0.84	0.032	0.025
2		0.2	11	3	0.48	0.025	0.061
3		0.005	10	3	0.48	0.019	0.009
4		0.005	10	3	0.47	0.033	3.731
5		0.005	10	3	0.48	0.019	0.009
6		0.18	10.8	3	0.63	0.043	0.114
7		0.005	3.1	3	0.48	0.019	0.009
8		0.005	10	3	0.48	0.019	0.009
9		0.01	3.1	6.15	0.84	0.032	0.025
10		0.005	10	3	0.48	0.019	0.009
1	ŞUBAT	0.1	3.6	16	1.229	0.081	0.462
2		1.77	9.5	8	0.48	0.02	0.138
3		0.38	9.5	9	0.478	0.022	0.416
4		0.13	10	5	1.678	0.052	0.14
5		0.38	3.6	9	0.478	0.022	0.416
6		0.12	10	8	0.78	0.04	0.331
7		0.38	3.6	9	0.478	0.022	0.416
8		0.38	9.5	9	0.478	0.022	0.416
9		0.1	3.6	16	1.229	0.081	0.462
10		0.38	9.5	9	0.478	0.022	0.416
1	MAYIS	0.02	15.6	3	0.419	0.241	0.325
2		0.02	9.6	3	0.461	0.039	0.08
3		0.0131	10.41	3	0.445	0.055	0.284
4		0.02	21.4	3.04	0.976	0.074	0.588
5		0.0232	10.41	3	0.445	0.055	0.284
6		2.29	6.87	3	0.437	0.063	0.261

BAŞLANGIÇ NO	DÖNEM	DEBİ (m³/s)	ÇO (mg/L)	BOİ (mg/L)	ORG-N (mg/L)	NH4-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)
7		0.032	10.41	3	0.445	0.055	0.284
8		0.012	10.41	3	0.445	0.055	0.284
9		0.023	15.6	3	0.419	0.241	0.325
10		0.0078	10.41	3	0.445	0.055	0.284
1	AĞUSTOS	3.97	2.09	3	1.759	0.591	0.009
2		0.24	8.05	3	0.474	0.026	0.047
3		0.01	7.61	4	0.49	0.01	0.151
4		37.3	9.16	3	0.486	0.094	0.058
5		0.01	7.61	4	0.49	0.01	0.151
6		14.8	6.4	3	0.776	0.144	0.041
7		0.01	7.61	4	0.49	0.01	0.151
8		0.01	7.61	4	0.49	0.01	0.151
9		0.01	10.84	3	0.695	0.055	0.01
10		0.01	7.61	4	0.49	0.01	0.151

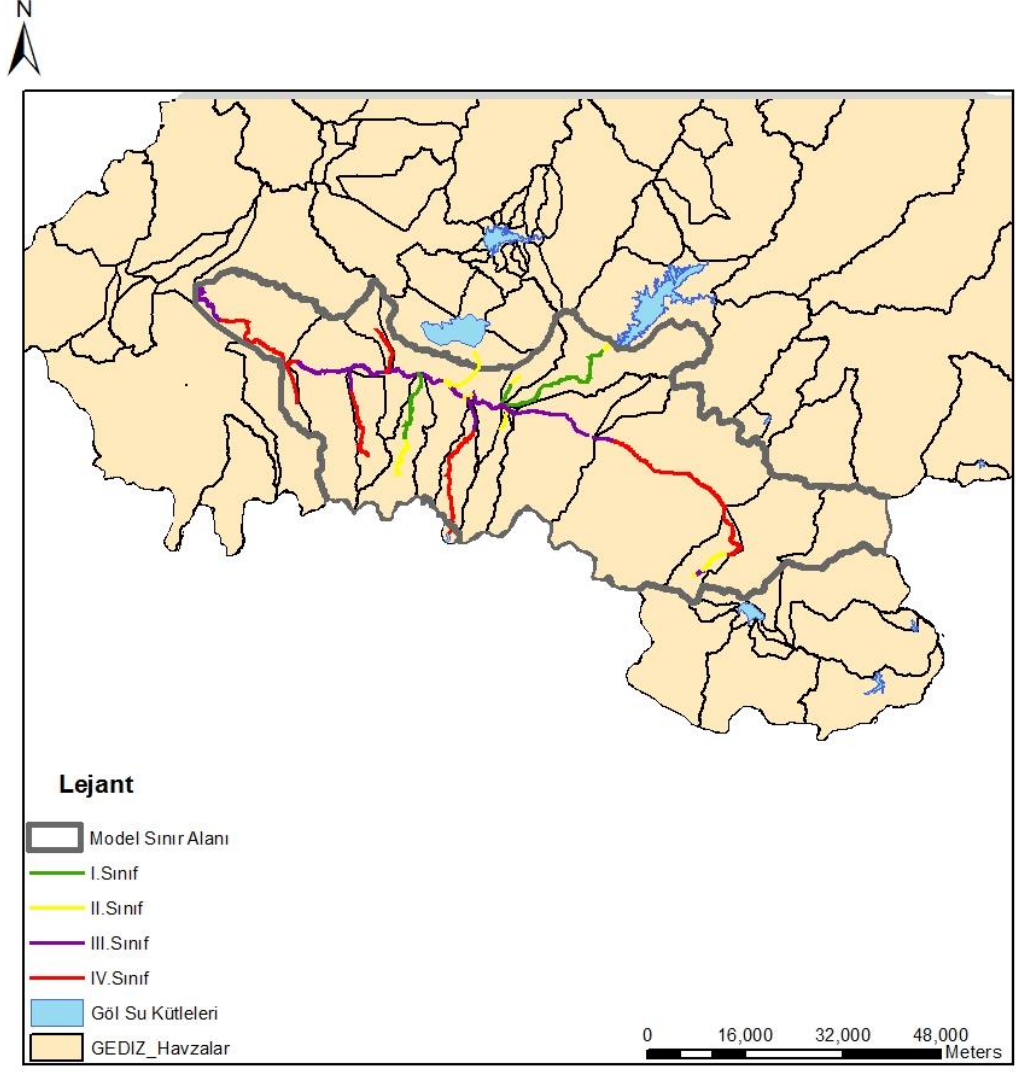
EK-3: Su Kütlesi Sınıflandırması Senaryo Durumu ve Mevcut Durum Haritaları

Su Kütlelerinin Çözünmüş Oksijen Parametresi Bazında Sınıflandırması



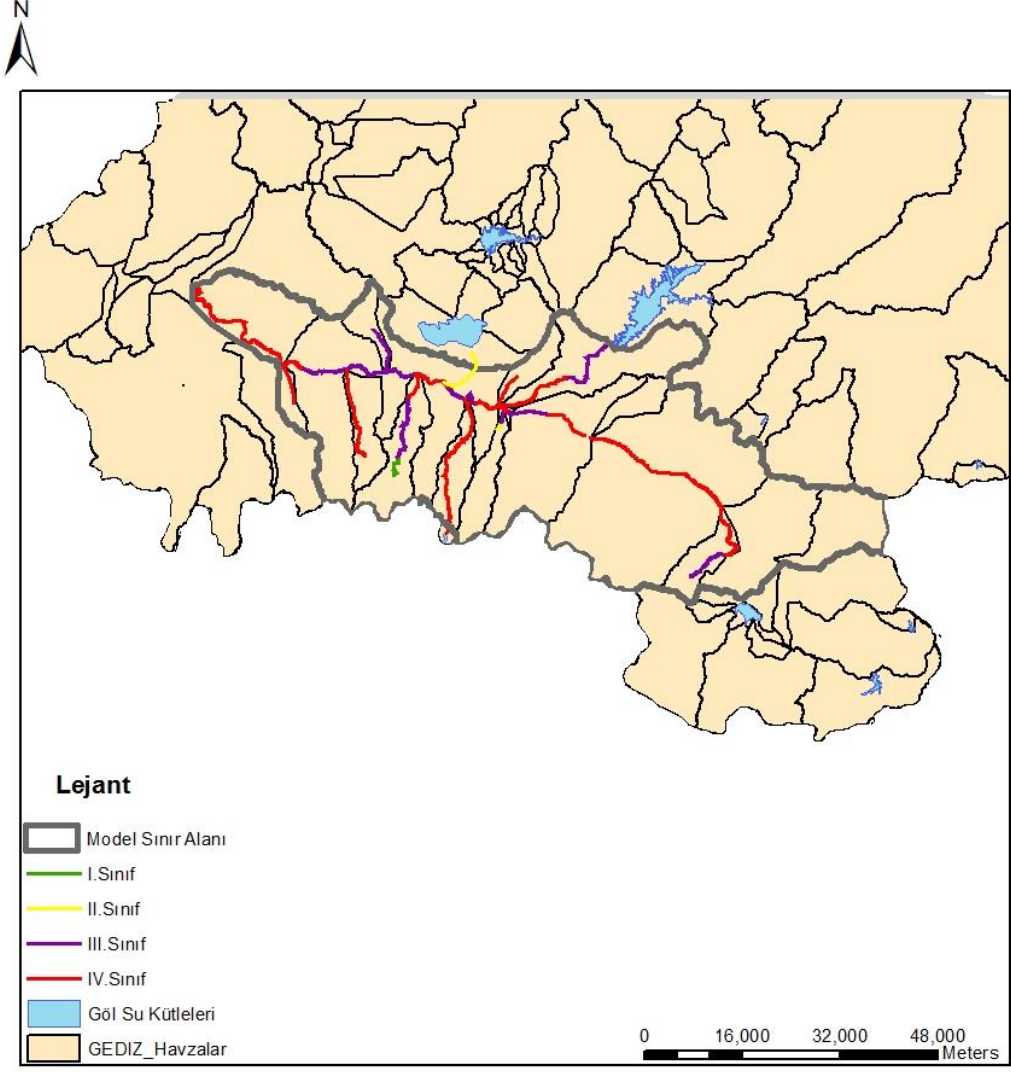
Harita 1. ÇO Parametresi Bazında Akarsu Sınıfları (Mevcut Durum Modeli)

Su Kütlelerinin Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Parametresi Bazında Sınıflandırması



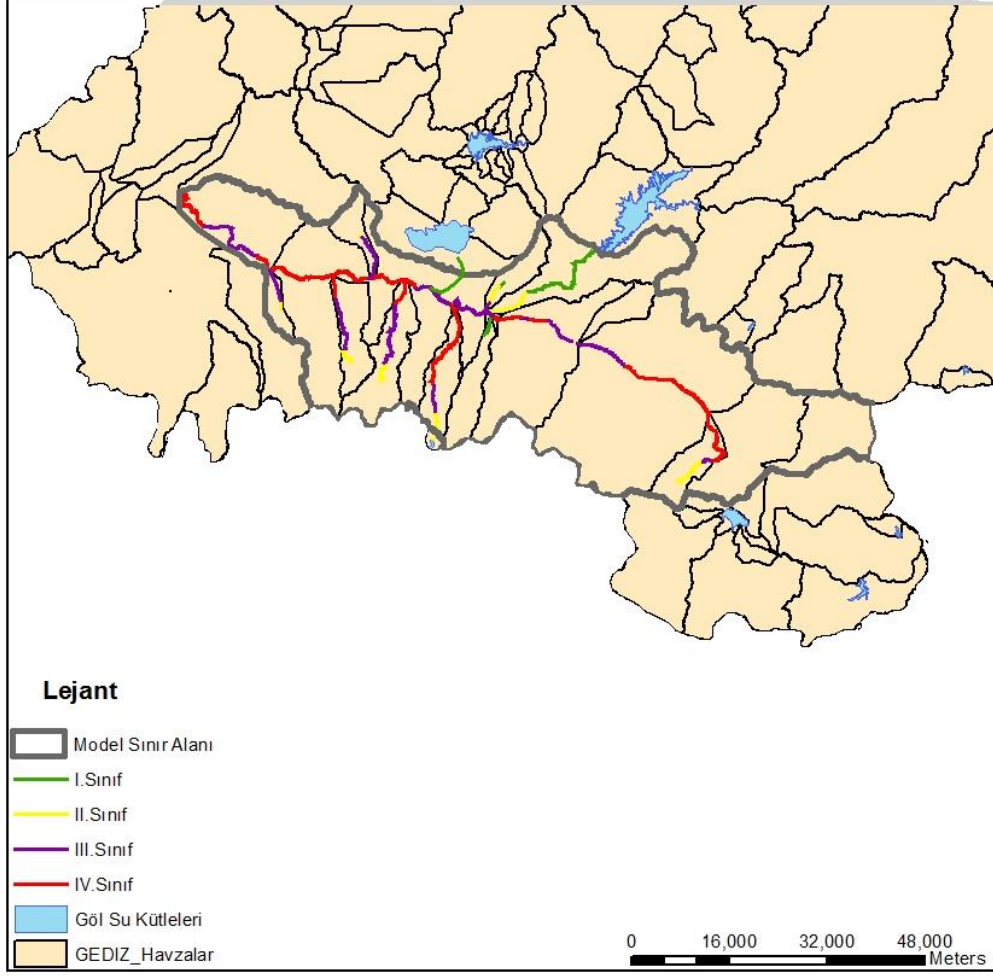
Harita 2. BOİ Parametresi Bazında Akarsu Sınıfları (Mevcut Durumu Modeli)

Su Kütlelerinin Toplam Kjeldahl Azot Parametresi Bazında Sınıflandırması



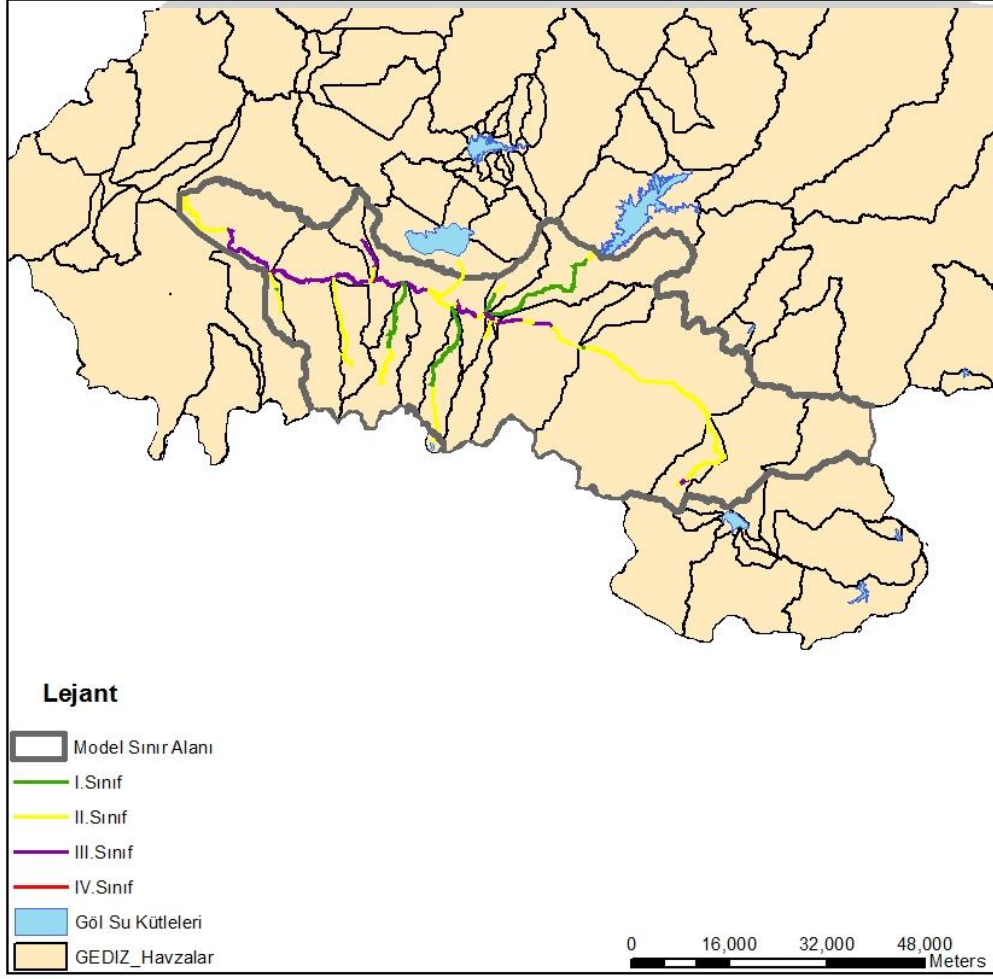
Harita 3. TKN Parametresi Bazında Akarsu Sınıfları (Mevcut Durum Modeli)

Su Kütlelerinin Çözünmüş Oksijen Parametresi Bazında Sınıflandırması
Senaryo Modeli



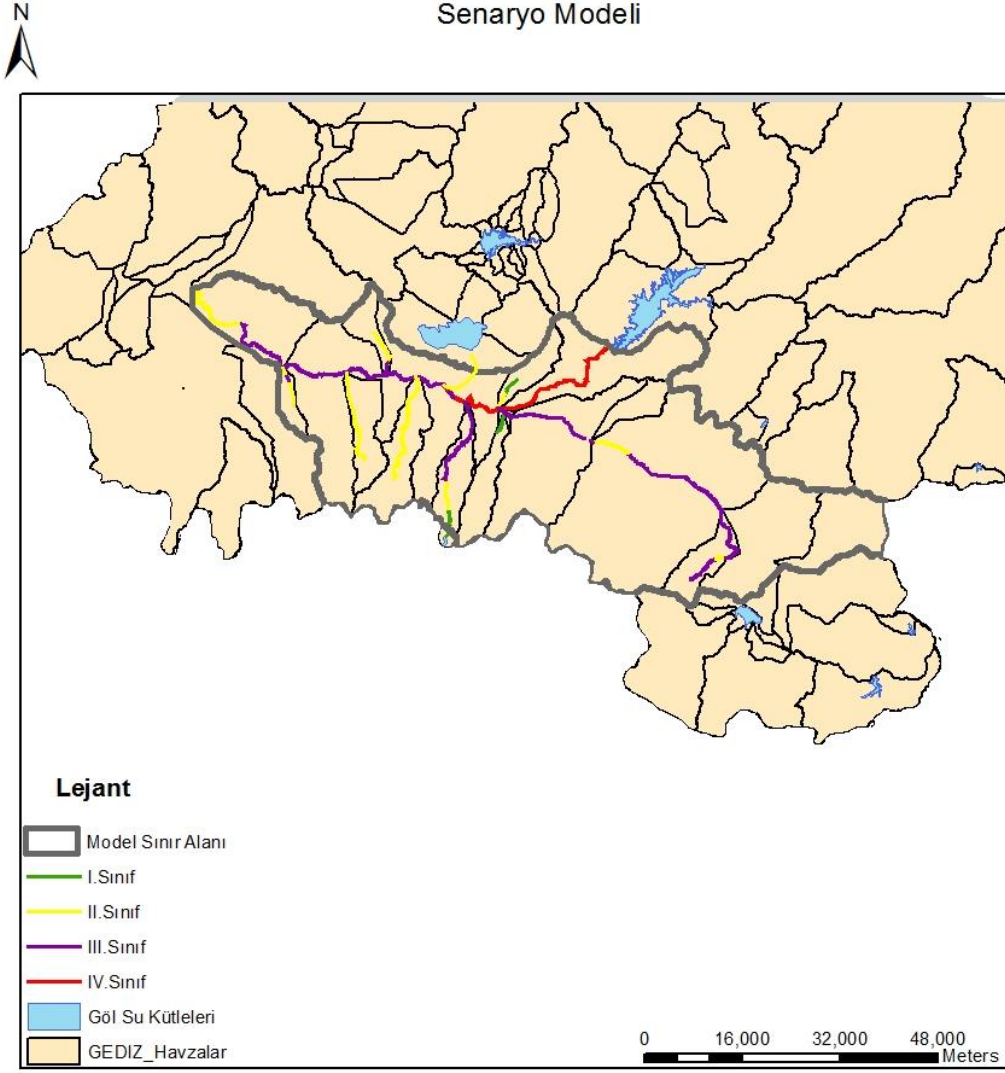
Harita 4. ÇO Parametresi Bazında Akarsu Sınıfları (Senaryo Durumu Modeli)

Su Kütlelerinin Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Parametresi Bazında Sınıflandırması
Senaryo Modeli



Harita 5. BOİ Parametresi Bazında Akarsu Sınıfları (Senaryo Durumu Modeli)

Su Kütlelerinin Toplam Kjeldahl Azotu Parametresi Bazında Sınıflandırması
Senaryo Modeli



Harita 6. TKN Parametresi Bazında Akarsu Sınıfları (Senaryo Durumu Modeli)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Doğum Tarihi : 07.02.1986

Doğum Yeri : Ankara

e-posta : gkiymaz@ormansu.gov.tr

Eğitim

2009-2004 ODTÜ-Çevre Mühendisliği (Lisans)

2004-2000 Dr. Rıdvan Ege-Dr. Binnaz Ege Anadolu Lisesi

İş Denevimi

2013- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Uzman Yardımcısı)

2012-2013 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (Uzman Yardımcısı)