

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MELEN BARAJ GÖLÜ'NÜN BELİRSİZLİK ANALİZİ İLE TROFİK
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak KAYNAROĞLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Haziran 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MELEN BARAJ GÖLÜ'NÜN BELİRSİZLİK ANALİZİ İLE TROFİK
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burak KAYNAROĞLU
(501151743)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alpaslan EKDAL

Haziran 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501151743 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Burak KAYNAROĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MELEN BARAJ GÖLÜ'NÜN BELİRSİZLİK ANALİZİ İLE TROFİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Alpaslan EKDAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir ALP**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Atakan ÖNGEN
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : 4 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 8 Haziran 2018





Anneme,



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde değerli bilgilerini esirgemeyen Tez Danışmanın Doç. Dr. Alpaslan EKDAL'a teşekkür ederim. Prof. Dr. Melike GÜREL'e ve Doç. Dr. Ali ERTÜRK'e tezin tamamlanmasını yardımlarıyla kolaylaştırdıkları için teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmada yardımlarıyla büyük emeği geçen Araş. Gör. Gökhan CÜCELOĞLU'na teşekkür ederim.

39350 no'lu Büyük Melen Havzası Bütünleşik Su Yönetimi projesi kapsamında çalışmayı destekleyen İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Son olarak aileme desteklerinden dolayı teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2018

Burak Kaynaroğlu
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	3
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	4
2. YERÜSTÜ SU KALİTESİ MODELLEMESİ VE BELİRSİZLİK ANALİZİ	7
2.1. Yerüstü Su Kalitesi Modellemesi	13
2.2. CE-QUAL-W2 Modeli	20
2.2.1. Hidrodinamik	24
2.2.2. Su Kalitesi	25
2.3. Su Kalitesi Modellerinde Belirsizlik Analizi	29
2.3.1. Belirsizlik Analizine Genel Yaklaşım	30
2.3.2. Belirsiz Model Parametreleri için Olasılık Dağılımının Belirlenmesi	33
2.3.3. Belirsizlik Analizi için Analitik Yöntemler	34
2.3.4. Belirsizlik Analizi için Sayısal Yöntemler	34
2.3.5. Parametre Duyarlılık Analizi	36
2.3.6. Model Belirsizliği	37
3. ÇALIŞMA ALANI	39
3.1. Melen Havzası	39
3.1.1. Genel Bilgiler ve Coğrafi Durum	39
3.1.2. İklim-Meteoroloji	43
3.1.3. Nüfus	44
3.1.4. Arazi Kullanımı	45
3.1.5. Bitki Örtüsü	48
3.1.6. Su Kaynakları	51
3.1.7. Tarım ve Hayvancılık	53
3.1.8. Sanayi	55
3.2. Melen Baraj Gölü	57
4. MATERYAL VE METOT	59
4.1. Melen Baraj Gölü'ne Uygulanan CE-QUAL-W2 Su Kalitesi Modelinin Yapılandırılması	60
4.2. CE-QUAL-W2 Modelinin Girdi Dosyalarının Oluşturulması	62
4.2.1. Batimetri Verisi	65

4.2.2.	Meteoroloji Verisi	68
4.2.3.	Debi, Konsantrasyon ve Sıcaklık Verileri	69
4.3.	CE-QUAL-W2 Modeli için Kullanılan Ara/Son İşlemciler	71
4.4.	Duyarlılık ve Belirsizlik Analizlerinin Uygulanışı	71
5.	SONUÇLAR	73
5.1.	Duyarlılık Analizi Sonuçları	73
5.2.	Belirsizlik Analizi Sonuçları	91
6.	DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR		99
EKLER		109
ÖZGEÇMİŞ		127



KISALTMALAR

TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
N	: Azot
P	: Fosfor
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇO	: Çözünmüş Oksijen





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ana su kalitesi modelleri ve bunların versiyonları ve karakteristikleri	16
Çizelge 2.2 : Su kalite modelleri boyutsallık sınıflandırması.....	18
Çizelge 3.1 : Melen Barajı Havzası'nda bulunan illerin havza içerisindeki alansal dağılımları	41
Çizelge 3.2 : Melen Barajı Havzası'nda değerlendirilen Meteorolojik Gözlem İstasyonları	43
Çizelge 3.3 : Melen Barajı Havzası'nda yer alan ilçe ve köy nüfusları	44
Çizelge 3.4 : Güncel arazi kullanımı dağılımı ve yüzde değerleri – STATİP 2017 ..	48
Çizelge 3.5 : Büyük Melen Barajı hidrolojik özellikleri	52
Çizelge 3.6 : Düzce ili 2015 yılı büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan varlığı ve işletme varlığı.....	55
Çizelge 3.7 : Havzada Bulunan İlçelere göre Sanayi Sicil Belgesine Sahip Firmaların adedi ve çalışan sayısı	55
Çizelge 3.8 : Melen Nehri Alt Havzası Büyük Ölçekli Tekil Sanayi Durumu.....	56
Çizelge 3.9 : Melen Nehri Alt Havzası OSB Bilgileri.....	57
Çizelge 3.10 : Melen sistemi Tesisleri, Kapasiteleri ve Aşamaları	58
Çizelge 4.1 : CE-QUAL-W2 Modeli'nin çalışabilmesi için gerekli olan girdi dosyaları adları ve açıklamaları	64
Çizelge 6.1 : Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yer alan Tablo 9: Göl, Gölet ve Baraj gölleri Ötrofikasyon Kriterleri (YSKY, 2016)	95



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Su yönetim sürecindeki ana katılımcılar ve modelleme çalışması arasındaki ilişki	10
Şekil 2.2 : Su yönetim sürecinin tipik döngüsel ve yinelemeli karakteri	12
Şekil 2.3 : CE-QUAL-W2 model ağı	22
Şekil 2.4 : CE-QUAL-W2 modelinin bileşenleri ve aralarındaki ilişkinin basitleştirilmiş akış şeması	26
Şekil 2.5 : Üç adımlı belirsizlik analizi sürecinin kavramsal görünüşü	30
Şekil 3.1 : Melen Nehir Alt Havzası idari yapısı, il, ilçe ve havza sınırları	40
Şekil 3.2 : Melen Barajı Havzası coğrafi haritası	42
Şekil 3.3 : Melen Barajı Havzası'nda yer alan illerin nüfus dağılımı (TÜİK, 2015)	44
Şekil 3.4 : Melen Nehri alt havzası arazi kullanım haritası	46
Şekil 3.5 : Güncel arazi kullanım grafiği - STATİP 2017	47
Şekil 3.6 : Melen Barajı Havzası bitki ürün deseni haritası	50
Şekil 3.7 : Melen Barajı Havza Sınırları ve idari yapısı	52
Şekil 4.1 : Melen Nehir Havzası'nın modellenmesinde kullanılan modellerin akış şeması	60
Şekil 4.2 : Melen Baraj Gölü CE-QUAL-W2 modeli segmentleri ve mikrohavzaları	61
Şekil 4.3 : CE-QUAL-W2 modeli segmentleri ve akarsu kolları arasındaki ilişkiler... ..	63
Şekil 4.4 : Melen Baraj Gölü'nün sayısallaştırılmış görüntüsü	66
Şekil 4.5 : Melen Baraj Gölü'nün CE-QUAL-W2 modelinde kullanılan batimetri dosyasından bir örnek	67
Şekil 4.6 : Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı zaman serileri	68
Şekil 4.7 : Rüzgar hızı zaman serileri	68
Şekil 4.8 : Rüzgar Yönü zaman serileri	68
Şekil 4.9 : Bulutluluk zaman serileri	69
Şekil 4.10 : Solar Radyasyon zaman serileri	69
Şekil 4.11 : Segment 27 Çözünmüş oksijen konsantrasyonu zaman serisi	70
Şekil 4.12 : Segment 27 Azot bileşenleri konsantrasyonu zaman serisi.....	70
Şekil 4.13 : Segment 27 Giriş Debisi Zaman Serisi	70
Şekil 4.14 : Segment 27 Giriş Sıcaklık Zaman Serisi.....	71
Şekil 5.1 : AG kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi	73
Şekil 5.2 : AG kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi	74
Şekil 5.3 : AG kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi	74
Şekil 5.4 : AG kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi	75
Şekil 5.5 : AG kinetik parametresinin fosfata olan etkisi.....	75
Şekil 5.6 : AR kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi.....	76
Şekil 5.7 : AR kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi	76
Şekil 5.8 : AR kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi	77
Şekil 5.9 : AR kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi	77
Şekil 5.10 : AR kinetik parametresinin fosfata olan etkisi	78
Şekil 5.11 : AM kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi.....	79
Şekil 5.12 : AM kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi	79

Şekil 5.13 : AM kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi.....	80
Şekil 5.14 : AM kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi	80
Şekil 5.15 : AS kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi	81
Şekil 5.16 : AS kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi	81
Şekil 5.17 : AS kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi	82
Şekil 5.18 : AS kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi.....	82
Şekil 5.19 : AS kinetik parametresinin fosfata olan etkisi.....	83
Şekil 5.20 : AHSP sabitinin alg parametresine olan etkisi	83
Şekil 5.21 : AHSP sabitinin ÇO'ya olan etkisi	84
Şekil 5.22 : AHSP sabitinin TN'ye olan etkisi	84
Şekil 5.23 : AHSP sabitinin TP'ye olan etkisi.....	85
Şekil 5.24 : AHSP sabitinin nitrat-nitrit konsantrasyonuna olan etkisi	85
Şekil 5.25 : AHSN sabitinin alg parametresine olan etkisi.....	86
Şekil 5.26 : AHSN sabitinin ÇO'ya olan etkisi	86
Şekil 5.27 : AHSN sabitinin TN'ye olan etkisi	87
Şekil 5.28 : AHSN sabitinin TP'ye olan etkisi	87
Şekil 5.29 : AHSN sabitinin nitrat-nitrit konsantrasyonuna olan etkisi	88
Şekil 5.30 : NO3DK kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi.....	88
Şekil 5.31 : NO3DK kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi	89
Şekil 5.32 : NO3DK kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi.....	89
Şekil 5.33 : NO3DK kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi	90
Şekil 5.34 : NO3DK kinetik parametresinin nitrat ve amonyum konsantrasyonlarına olan etkisi	90
Şekil 5.35 : Alg konsantrasyonunun (mg/L) belirsizlik analizi sonucu.....	91
Şekil 5.36 : ÇO konsantrasyonunun (mg/L) belirsizlik analizi sonucu	92
Şekil 5.37 : TN konsantrasyonunun belirsizlik analizi sonucu.....	93
Şekil 5.38 : TP konsantrasyonunun belirsizlik analizi sonucu	94
Şekil B.1 : AE kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi	123
Şekil B.2 : AE kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi	123
Şekil B.3 : AE kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi	124
Şekil B.4 : AE kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi	124
Şekil B.5 : NH4DK sabitinin alg parametresine olan etkisi	125
Şekil B.6 : NH4DK sabitinin ÇO'ya olan etkisi	125
Şekil B.7 : NH4DK sabitinin TN'ye olan etkisi	126
Şekil B.8 : NH4DK sabitinin TP'ye olan etkisi	126

MELEN BARAJ GÖLÜ'NÜN BELİRSİZLİK ANALİZİ İLE TROFİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Su kirliliğinin sebebi çeşitli antropojenik ve doğal faktörlerdir ve son yıllarda bu sorunla başa çıkabilmek için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Bu kapsamda doğru yönetim kararlarının alınması için arazi yönetimleriyle su yönetimleri entegre edilmiştir. Kritik öneme sahip olan su kirliliği sorunlarından biri ötrofikasyondur. Ötrofikasyonun sebebi havzadan su kütlelerine, noktasal ve yayılı kaynaklarla aşırı miktarda gelen besin maddeleridir. Sudaki besin maddelerinin tahmini için havza modelleri ile su kalitesi modellerinin birlikte kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Barajlardaki ötrofikasyon sorununu ortadan kaldırmak veya azaltmak için su yönetimi stratejiler uygulanmaktadır. Su kütlelerinde meydana gelen ötrofikasyon sorununun yönetimi, noktasal ve yayılı kirlleticilerin kontrolüyle ve bu kirleticilerle kaynakların etkilerinin tedbirler alınmadan önce matematiksel modellerle tahmin edilmesiyle sağlanır. Su kaynakları yönetimi (SKY) için yeni ve bütünsel yaklaşım ile birlikte sektörlerin ve halkın katılımı da sağlanmalıdır. SKY çeşitli karmaşık sorunlarla ilgilenirken bunun yanında model çalışmasında veya verilerde çıkabilecek belirsizlikleri göz önünde bulundurup bu belirsizlikleri yönetim sürecinde dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada su yönetimi süreci kapsamında su kalitesi modellerinde belirsizlik analizinin öneminden bahsedilmiş ve CE-QUAL-W2 su kalitesi modeli kullanılarak inşaatı devam eden Melen Baraj Gölü'nün trofik seviyesi belirsizlik analizi gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Bu kapsamda Melen Baraj Gölü'ne su kalitesi modeli olarak CE-QUAL-W2 modelinin uygulanması uygun görülmüş ve model yapılandırılması baraj özellikleri dikkate alınarak tamamlanmıştır. Model için kalibrasyon ve doğrulama süreçleri izleme verileri olmadığı için gerçekleştirilememiştir. Bu sebeple doğrudan duyarlılık ve belirsizlik analizlerine geçilmiştir. Duyarlılık analizi için duyarlı parametreler literatürden elde edilen bilgiler yardımı ile seçilmiştir ve bu parametreler için duyarlı oldukları aralıklar yine literatürden toplanan bilgilerle tespit edilmiştir. Bunun yanında modele her bir parametre için varsayılan (default) değerler girilmiştir. Seçilen kinetik parametrelerden her biri değiştirildiğinde diğer parametreler varsayılan değerleriyle model çalıştırılmış ve bu işlem her bir parametrenin belirlenen aralıklarındaki değerleri için tekrar edilmiştir. Bu işlem için toplamda çalıştırılan model sayısı 90 olmakla birlikte seçilen kinetik parametre sayısı da 9'dur. Geliştirilen kodlar yardımıyla modeller çalıştırılıp model sonuçlarının grafikleri çizilmiş ve seçilen parametrelerin hangisinin, hangi aralıkta duyarlı oldukları tespit edilmiştir. Duyarlı oldukları tespit edilen parametrelerle belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir diğer parametreler belirsizlik analizi dışında tutulmuştur. Belirsizlik analizinin gerçekleştirilmesi için 100'lerce simülasyon duyarlı parametrelerin belirlenen aralıklarındaki rastgele seçilen değerleriyle yapılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen grafikler Melen Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesi için değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Melen Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin %95 güven seviyesinde hipertrofik düzeyde olacağı belirlenmiştir.



DETERMINATION OF TROPHIC LEVEL OF MELEN RESERVOIR BY UNCERTAINTY ANALYSIS

SUMMARY

The causes of water pollution depend on various anthropogenic and natural factors, and in recent years various strategies have been developed for this issue. In this context, water management has been integrated with land management in order to make correct management decisions. One of the water pollution problems, which is of utmost importance, is eutrophication. The reason of eutrophication is the excess nutrients that reach to the water body from the watershed, as point and non-point sources.

In order to estimate the nutrients in water, it is necessary to use watershed models and water quality models together. These administrative strategies are being implemented to remove or reduce the eutrophication problem in the reservoirs. This is achieved by the control of point and diffuse pollutants, by estimating the effects of these pollutant sources by mathematical modeling before taking measures. New and integrated approaches to water resources management (WRM) should be provided, as well as participation of sectors and public. While the WRM is concerned with a variety of complex issues, it must take into account the uncertainties that may arise in modeling or in data processing and should take these uncertainties into account in the management process.

In this study, the significance of uncertainty analysis in water quality models was mentioned in the water management process and trophic level of Melen Reservoir, which is under construction, was determined using CE-QAUL-W2 water quality model by performing uncertainty analysis. In this context, the CE-QUAL-W2 model was considered as the appropriate water quality model for Melen Reservoir. The model was structured by taking into account the dam characteristics. In addition, the data obtained from the dam characteristics were entered in the model to define the dam outlet structures.

Water bodies, model branches, segments and layers are defined in the development of CE-QUAL-W2 model. The model was defined as one water body (as Melen Reservoir), 4 model branches, 68 segments, and 101 layers. Layers were arranged to be one meter depth. The deepest part of the model is the 64th segment, and at the same time this segment is defined as the output segment of Melen Reservoir. In the application of the model, for initial conditions, bathymetry, water level, temperature and water quality components, boundary conditions, inputs / outputs, temperature, water quality and meteorology data are needed. These data are converted into the format requested by the model, and they are defined to the model.

CE-QUAL-W2 model was used for Melen Reservoir, WASP8 model was used for the streams, and SWAT model was used as the watershed model for the representation of the watershed system. These models were linked, and in this linking process SWAT and WASP8 outputs were defined as input to CE-QUAL-W2 model.

Calibration and verification processes for the model have not been performed since the reservoir is under construction; thus, no monitoring data is available yet. For this reason, sensitivity and uncertainty analyzes have been introduced for the representation of the watershed system. Parameters and intervals for the application of

sensitivity analysis of these parameters were selected with the information gathered from the literature. In addition, default values for each parameter were entered to the model. When each of the selected kinetic parameters was changed, the model was run with the default values of the remaining parameters, and this process is repeated with the values of the specified intervals of each parameter. For this process, 90 model runs were conducted, and the number of selected kinetic parameters was 9. These kinetic parameters are algal growth (AG), algal respiration (AR), algal mortality (AM), algal excretion (AE), algal settling (AS), ammonium decay (NH4DK), nitrate decay (NO3DK), algal half saturation constant for nitrogen (AHSN) and algal half saturation constant for phosphorus (AHSP).

A script has been developed that generates model folders for sensitivity and uncertainty analysis and runs the CE-QUAL-W2 executable in these folders without leaving the work to the user. In addition, another script has been developed that takes model result files in folders and plots the graphs of these results with boxplots. These scripts did not only disburden the workload of the user in running the model, but also facilitated the data analysis by eliminating the complexity of the two-dimensional model results.

In the evaluation of the results, the model results of the 64th model segment were used for sensitivity and uncertainty analysis. In addition, while the interpretations performed in the sensitivity analysis were made on the median values, 95% confidence level values were used in the evaluation of the uncertainty analysis.

With the help of the developed scripts, the models were run, model results were plotted, and the sensitive parameters among the selected ones and their sensitivity intervals were determined.

As a result of sensitivity analysis, it was determined that the model results were sensitive to AG (algal growth), AR (algal respiration), AM (algal mortality), AS (algal settling), NO3DK (nitrate decay), AHSN (algal half saturation constant for nitrogen) and AHSP (algal half saturation constant for phosphorus). However, AE and NH4DK parameters have not been found to have high effects on model results. Uncertainty analysis was performed at the intervals determined previously for the seven kinetic parameters that were found to be sensitive to the model results. The remaining two kinetic parameters (AE and NH4DK) were not included to uncertainty analysis simulations.

For the analysis of uncertainty, hundreds of simulations were performed with randomly selected values of the sensitive intervals of the parameters.

A separate code has been developed for determining the randomly selected values for the uncertainty analysis. The values obtained by this code were also converted to the desired format as '.csv' file, and provided as input to the above mentioned multiple CE-QUAL-W2 executable code. Then, for the uncertainty analysis with multiple CE-QUAL-W2 executable code, randomly generated kinetic parameter values were defined in the model control file and the models were run.

Codes were used in plotting the graphs of the results obtained from 500 simulations performed for the uncertainty analysis to determine the trophic level of Melen Reservoir.

These graphs were generated for values of 5% and 95% confidence intervals for each parameter, and the outliers were removed from the graph. As a result of the water quality modeling study of Melen Reservoir it was estimated that, Algae, DO (dissolved

oxygen), TN and TP concentrations will be between 0-5 mg/L, 6.1-13.85 mg/L, 0.125-2.05 mg/L ve 0.021-0.132 mg/L, respectively for 5% -95% confidence intervals.

The evaluations carried out from the generated graphs and over the 95% confidence interval values for TN, TP and Agea and %5 confidence interval values for DO of these graphs. The graphs for the uncertainty analysis were generated for algae, dissolved oxygen, total nitrogen and total phosphorus parameters which are used for determining trophic levels. The results for the 95% confidence interval gathered from 500 simulations found as 5000 $\mu\text{g} / \text{L}$ for Alg, 13.85 mg / L for DO, 2050 $\mu\text{g} / \text{L}$ for TN and 132 $\mu\text{g} / \text{L}$ for TP and 5% confidence interval value as 6,1 mg/L for DO. The results for the 5% - 95% confidence interval show that the reservoir has a hypertrophic level (values) for TP, TN, Chlorophyll-a, and secchi disc values, while DO values meet mezotrophic levels (values) when compared to surface water quality regulation. It was determined that the trophic level of Melen Reservoir would be at the hypertrophic level for the specified confidence interval.

As a result of these evaluations, it is suggested that the point and diffuse loads should be reduced, which come from watershed to Melen Reservoir, by taking into account that it will be at the hypertrophic level when the construction is completed. When the construction is completed monitoring study in the reservoir should be conducted and the model developed in this study should be calibrated and verified with the observation data in order to make more robust estimations.



1. GİRİŞ

Su kalitesi, akarsularda ve göllerde çeşitli antropojenik ve doğal faktörlerden etkilenir. Son yıllarda, iyi bir su kalitesi sağlamak için su yönetimi stratejileri geliştirilmesinde önemli çabalar sarf edilmiştir. Arazi kullanımı kısıtlamalarına ve noktasal kaynak kirliliğini kontrol etmeye dayanan havza yönetim planları, havzaya girmeden önce potansiyel risk kaynaklarını azaltmaya veya ortadan kaldırmaya çalışır. Arazi kullanımı ve bitki örtüsü, insan faaliyetleri (baskılar) ve doğal faktörler ile beraber bir havzadaki birçok ekosistem hizmetini tehlikeye atmaktadır. Bu nedenle, arazi yönetim faaliyetlerinin su yönetimi üzerindeki etkilerini anlamak, doğru yönetim kararlarını ve dolayısıyla çevresel gelişmeyi sağlamak için önemlidir (Mateus ve diğ. 2014). Göller ve rezervuarlar başlıca yerüstü su kaynaklarıdır. Bu kaynaklar içme suyu, elektrik üretimi, ulaşım ve sulama gibi çok sayıda yararlı kullanıma hizmet etmekle birlikte, insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirliliğe de maruz kalabilirler (Kuo ve diğ. 2003, 2006; Liu, Chen, ve Kimura 2009; Naithani ve diğ. 2007; Suh ve diğ. 2004). Su kirliliği salgın hastalıklara yol açarken, aynı zamanda ormanların büyümesini ve gelişmesini engeller, hayvanların gelişimine zarar verir, meyve ve sebzelerin yetişmesi etkileyerek tarımsal faaliyetleri sekteye uğratar ve insan ölümlerine varıncaya kadar ciddi sorunlara yol açar. Bu sebeple su ihtiyacının karşılanması için inşaa edilen barajlarda ve göllerde su kirliliği oldukça önemlidir. Dünyanın birçok yerinde göller ve rezervuarlardaki başlıca su kalitesi sorunlarından biri ötrofikasyon olmuştur. Rezervuardaki yüksek fitoplankton konsantrasyonlarının birincil kaynağı noktasal ve yayılı yüklerden gelen besi maddeleridir. Alg biyokütlesinin fazlalığı, oksijenin günlük değişimi, diplerde oksijen tükenmesi, su temininde tat ve koku, su arıtma tesislerinde filtre tıkanması ve yüzme ve rekreasyon amaçlı kullanımdaki riskler gibi su kalitesi sorunlarına neden olabilir. Fitoplankton dinamiği, kütle taşınımı, çevresel faktörler (örneğin, su sütunundaki ışık sönümlenmesi) ve etkileşimli biyokimyasal kinetiklerden etkilenir (Beck 2005; Hartnett ve Nash 2004; James 2002; Kuo ve diğ. 2006; Kuo ve V. Thomann 1983).

Göllerde ve rezervuarlarda su kalitesini yönetmek ve korumak için iç ve dış besi maddesi kaynakları anlaşılmalıdır. Göllerde ve rezervuarlarda su kalitesindeki değişikliklere dair bir anlayış kazanmanın etkili bir yolu, iç ve dış kaynaklara verilen tepkiyi tahmin etmek için sayısal modeller kullanmaktır. Su hareketi ve karışım süreçleri su kolonundaki biyokimyasal kinetiklerle yakından ilişkili olduğundan, çok boyutlu hidrodinamik ve kütle taşınımı simülasyonlarını algoritmalarla birleştirme yeteneği, bileşenlerin biyokimyasal kinetiklerini tahmin etmek için birçok su kalitesi modelleme çalışması için kritik öneme sahiptir. Hidrodinamik ve ötrofikasyon süreçlerinin daha iyi anlaşılması ve daha gelişmiş bilgi işlem yeteneğiyle beraber, çok boyutlu göl, rezervuar modelleri yanı sıra hidrodinamik ve su kalitesi modelleri geliştirilerek su kalitesi sorunlarını incelemek için uygulanmıştır (Kuo ve diğ. 2003; Liu ve diğ. 2009; Naithani ve diğ. 2007; Suh ve diğ. 2004).

Barajların inşası ile nehirlerin zarar görmesi doğal su kaynakları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu su biriktirme yapıları, su kütlesinin özelliklerini değiştirir. Bu değişim hidroloji ile sınırlı değildir, aynı zamanda su kütlelerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini de etkiler (Friedl ve Wüest 2002). Değişiklikler en belirgin şekilde yereldir ve su kalitesi modelleri bu etkilerin, barajların yapımından önce, inşaat sırasında ve hatta sonrasında değerlendirilmesinde yararlı olabilir (Etemad-Shahidi ve diğ. 2009).

İnsan etkisiyle havzaya gelen yeni kirletici kaynaklar ile artan besi maddesi yükleri doğal rezervuarlarda hızla ötrofik duruma geçiş ile sonuçlanırken, aynı zamanda nehirlere kurulan barajların nehrin çıkışını engellemesiyle de nehir mansabındaki su kütlesinde ötrofikasyona, kirletici maddelerin birikmesine, biyoçeşitliliğin azalmasına ve tabakalaşmaya neden olur (Lamping ve diğ. 2005). Örneğin, termal ve tuzlu su tabakalaşması, nehrin dibinde ve sedimentte suda çözünmüş oksijenin azalmasına, nehrin içindeki besi maddelerinin konsantrasyonunun ve sedimentten salınan ağır metallerin miktarının artmasına neden olur (Borsuk ve diğ. 2001; Park ve diğ. 2014). Doğal rezervuarların içerdiği karmaşık fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler nedeniyle besi maddesi bakımından zengin su kütlelerinin davranışını tahmin etmek kolay değildir. Son birkaç on yıl boyunca, çevre mühendisleri tarafından rezervuarlardaki ötrofikasyonu tahmin etmek ve kontrol etmek için izleme ve modelleme çalışmaları yapılmıştır. Farklı rezervuar işletme politikalarının, noktasal ve yayılı kirletici kaynaklarının ve arazi kullanım yönetim planlarının mekansal ve

zamansal etkileri, uygun matematiksel modeller kullanılarak değerlendirilebilir. Modellerin kullanımı, havza ve rezervuar sistemlerinde su kalitesini etkileyen biyotik ve abiyotik faktörleri hesaplamak için uygun maliyetli bir yöntemdir. Kalibrasyon yapıldıktan sonra bu modeller, havza ve rezervuar davranışlarını analiz etmek, en iyi yönetim uygulamalarını belirlemek ve fiziksel ve biyolojik süreçlerin önemini tanımlamak için geçerli bir öngörü sağlar. Hidrolojik modellemenin coğrafi veri tabanları ile entegrasyonu, arazi yönetiminin akarsularda çözünmüş besin maddeleri üzerindeki etkilerini değerlendirme yeteneğini geliştirmiştir (Tong ve Chen 2002). Sudaki besin maddeleri için önemli olan diagnostik hidrolojik modeller, havzaların özelliklerini değerlendirmek için istatistiksel analizlere dayandırılarak geliştirilmiştir (Moore ve diğ. 2004). Diğer yandan, prognostik modeller, maddelerin hareketinin, enerji transferinin ve biyojeokimyanın fiziksel temsillerine dayanır ve karakteristik olarak tahmin esaslıdır ve mekanistiktir (Arnold ve Fohrer 2005). Mekanistik rezervuar modelleri mekansal hidrodinamiğin temsil edilmesi, su hareketinin simülasyonu ve su kütlelerindeki besin maddesi dağılımlarının tahmin edilmesi ile gelişmiştir (Hamilton ve Schladow 1997). Yönetim çalışmaları için kullanılan mekanistik modellerin avantajı, fiziksel olarak ölçülebilen parametrelerin varlığıdır. Bununla birlikte, karmaşık ekosistem etkileşimleri, mekanistik yaklaşım ile ele alındığında çok sayıda parametrenin ölçümünü gerektirmektedir ve sınırlı izlemeyle türetilen değerlerle parametre tahmininin kısıtlanması durumunda kalibrasyon zor olabilir. Mekanistik modellerin başarılı bir şekilde kalibre edilmesi, mantıklı davranışı sergileyen temel süreçlerin tematik ve fiziksel temsilini doğrular (Grant ve diğ. 1997; Sullivan, Jager, ve Myers 2003; White, Prochnow, Filstrup, ve Byars 2010; White, Prochnow, Filstrup, Scott, ve diğ. 2010).

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Yerüstü su kalitesi modelleri ülkemizde son 20 yılda etkili bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Modellerin karmaşık hesaplamalı yapılarını anlamak için ileri düzeyde teorik bilgiye ve bilgisayar kodlama yeteneklerine ihtiyaç vardır. Ayrıca model tahminlerinden güvenilir nicel bir sonuç elde etmek için belirsizlik analizinin yapılması gerekmektedir. Bu analizler aynı zamanda su yönetimi konusunda da faydalıdır. Bu nedenle bu çalışmada inşaatı süren bir baraj gölü için parametre belirsizlik analizi yapılmış ve trofik seviyesi belirsizlik analizi yardımıyla

değerlendirilmiştir. Böyle bir çalışma ileride yapılacak model bazlı duyarlılık ve belirsizlik analizine katkı sağlayarak yol gösterici olabilir. Gözlem verilerinin olmadığı göz önünde bulundurulduğunda analizlerin sonraki model çalışmalarıyla karşılaştırılıp değerlendirilmesi gerekmektedir; bu da inşaatı devam eden veya inşaatına başlanmamış baraj göllerinin su kalitesinin tahminindeki doğruluk düzeyini önceden belirlemek için yapılmalıdır. Bu sayede bu analizler, barajın inşaatına başlanmadan önce alınabilecek tedbirlerin belirlenmesini sağlar ve ek maliyetler ortadan kaldırılır. Bu çalışma, su kalitesinin iyileştirilmesi için tedbirlerin ivedilikle alınmasını sağlayarak ek maliyetlerin ortadan kaldırılması ve iyi yönetim uygulamaları açısından önemlidir. Çalışma kapsamında geliştirilen kodların birleştirilip düzenlenmesiyle kullanılan modelin kontrol dosyasına müdahalede bulunabilen ve modelin istenen zamanda ve sayıda çalıştırılabilmesine, çoklu model sonuçlarının grafikleştirilmesine ve değerlendirilmesine imkan sağlayan bir grafiksel kullanıcı arayüz de gelecekte geliştirilebilir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma, belirsizlik analizinin uygulanmasıyla, inşaatı devam eden bir barajın tamamlandığı zaman baraj gölü trofik seviyesinin belirli güven aralıklarında hangi düzeyde olacağının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında ilk olarak bölüm birde su kaynakları yönetiminde entegre arazi ve su yönetimi stratejilerinden bahsedilmekle birlikte su kaynakları yönetiminde özellikle su kalitesi modellerinin kullanımından ve belirsizlik analizinin gerçekleştirilmesinden bahsedilmektedir. Daha sonra bölüm ikide yerüstü su kalitesi modellerinden ve bu modellerde belirsizlik analizinin uygulanmasının öneminden ve gerekliliğinden bahsedilmiştir. Yine bu bölümde modellerin tarihsel gelişimden ve çeşitli modellerden bahsedilmekle birlikte su kalitesi modeli olan ve ayrıca tez kapsamında da kullanılan CE-QUAL-W2 modelinden detaylıca bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanından (Melen Havzası) ve Melen Baraj Gölü'nden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde tez kapsamında kullanılan metottan bahsedilmekle birlikte CE-QUAL-W2 modelinin Melen Baraj Gölü'ne uygulanişından ve model girdilerinin oluşturulmasının yanında duyarlılık ve belirsizlik analizinin uygulanişından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde çalışma kapsamında elde edilen model sonuçlarından bahsedilmiş ve altıncı bölümde bu sonuçlar belirsizlik analizi kapsamında

değerlendirilmiş ve öneriler verilmiştir. Duyarlılık ve belirsizlik analizi değerlendirmeleri için model yüzlerce kez çalıştırılmış ve elde edilen model sonuçları bahsi geçen analizler yardımıyla değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler Melen Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesine yöneliktir.





2. YERÜSTÜ SU KALİTESİ MODELLEMESİ VE BELİRSİZLİK ANALİZİ

Su kaynakları yönetimi (SKY) ile ilgili yeni kılavuzlar, bütünleşik yaklaşımların, sektörler arası planlamanın ve halkın katılımının önemini vurgulamaktadır (GWP 2000; Jönch-Clausen 2004). SKY'nin yaygın olarak kabul edilen yaklaşımı, “mevcut ekonomik ve sosyal refahı eşit bir şekilde en üst düzeye çıkarmak için ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye atmadan su, arazi ve ilgili kaynakların eşgüdümlü bir şekilde geliştirilmesi ve yönetilmesini destekleyen bir süreç” olarak tanımlanmaktadır (GWP 2000). SKY, teknolojik, çevresel, ekonomik ve toplumsal yönleri içeren karmaşık sorunlarla ilgilenir. Buna ek olarak, problemlerin tanımlanmasında, veride ve modelde ortaya çıkması beklenen çeşitli belirsizlikler, yönetim sürecinde dikkate alınmalıdır.

Su yönetimindeki belirsizlik analizinin önemi Avrupa Birliği'nin (AB) Su Çerçeve Direktifi (SÇD) tarafından da belirtilmiştir. AB çevre politikasının bir sonucu olan SÇD'nin temel ilkesi, koruyuculuk ilkesine dayandırılarak doğal kaynakların temkinli ve rasyonel kullanılarak çevre kalitesini koruma ve geliştirme hedeflerinin takip edilmesine katkıda bulunmaktır. Koruyucu ilke, insanları ve çevreyi ön-hasar kontrolü (belirleyici önlemler) yoluyla belirsiz risklere karşı korumayı amaçladığı için, karar verme sürecine belirsizlik analizlerini dahil etmeden uygulanamaz. Bu nedenle, model simülasyonlarının belirsizlik analizleri, su yönetimi kararlarını desteklemek için önemlidir (Beven 2002; Beven ve Binley 1992; Jakeman ve Letcher 2003; Pahl-Wostl 2002, 2007; Refsgaard ve Henriksen 2004; Vandenberghe, Bauwens, ve Vanrolleghem 2007). Model belirsizliği, uygulamada genellikle modelin kurulumu, kalibrasyonu ve doğrulanmasının (validasyonunun) tamamlanmasından sonra gerçekleştirilen bir “boru sonu” (end of pipe) analizi olarak yapılmaktadır. Model sonuçlarının, geniş ölçekli su yönetim süreçlerine entegrasyonu ve elde edilen bilginin faydasını artırmak için Refsgaard ve diğ. (2005), belirsizlik analizinin uygulanmasının önemini problemin tanımlanması ve modelleme hedeflerinin belirlenmesiyle başlayan ve modellemeyle devam eden bir süreç olarak vurgulamaktadır.

Bir modelleme çalışması çeşitli aşamaları ve birkaç katılımcıyı içerir. Tipik bir modelleme çalışması aşağıdaki dört farklı katılımcıdan oluşur:

Su sistemleri yöneticisi, su kaynaklarının yönetiminden veya korunmasından ve dolayısıyla modelleme çalışmasından ve sonuçtan sorumlu olan kişi veya kuruluştur.

Modelci, modeli geliştiren ve modelleme çalışmasını yürüten kişi veya kurumdur.

Modelci ve *su sistemleri yöneticisi* farklı kuruluşlara ait ise, rolleri tipik olarak sırasıyla danışman ve müşteri olarak gösterilir.

Denetleyici, modelleme çalışmasının bir tür dış incelemesini yürüten kişidir.

Modellenen alanın ihtiyaçlarına bağlı olarak incelemenin kapsamı değişebilir.

Denetleyici, su sistemleri yöneticisi tarafından atanır.

Paydaşlar / kamu, su yönetimi konusunda pay sahibi olan, kaynağı kullanma veya koruma konusunda ilgili olan taraftır. Paydaşlar bir kaç kategoriden oluşmaktadır ve bunlar yetkili su kaynakları otoritesi (tipik olarak su sistemleri yöneticisidir), ilgili gruplar ve halktır.

Modelleme süreci, beş ana adıma ayrılabilir (Şekil 2.1) (Refsgaard ve diğ. 2005; Scholten ve diğ. 2007). Bu beş adımın içeriği:

Adım 1, model çalışma planını inceler. Bu adım, sorunlar için model çalışma planı üzerinde kabul yapılmasını amaçlamaktadır. Bunlar; Bu çalışma için neden modelleme gereklidir? Genel modelleme yaklaşımı nedir ve hangi çalışmalar yapılmalıdır? Modelleme çalışmasını kim/ler yapacak? Teknik değerlendirmeleri kim yapmalı? Hangi menfaat sahipleri / kamu katılımı olmalı ve ne ölçüde olmalı? Proje için mevcut kaynaklar nelerdir?

Su sistemleri yöneticisinin problem ve içeriğin yanı sıra mevcut verileri de tanımlaması gerekmektedir. Su yöneticisinin önemli bir görevi de, modelleme çalışmasından beklenen doğruluk seviyesi açısından, modelleme çalışmasının gerekliliklerinin neler olduğunu analiz etmek ve saptamaktır. Kabul edilebilir doğruluk seviyesi yapılan çalışmanın ölçeğine ve hedeflerine göre değişebilir ve sosyoekonomik şartlara göre ele alınmalıdır. Bu nedenle, modeller, su sistemleri yöneticisi ve paydaşlar/halk (kamu) arasında bir diyalog yoluyla tanımlanmalıdır. Bu bağlamda, çalışmanın, eldeki sorunla ilgili en çok bilgi üreten unsurlar üzerine odaklanması için, belirsizlik ön analizinin yapılması önemlidir.

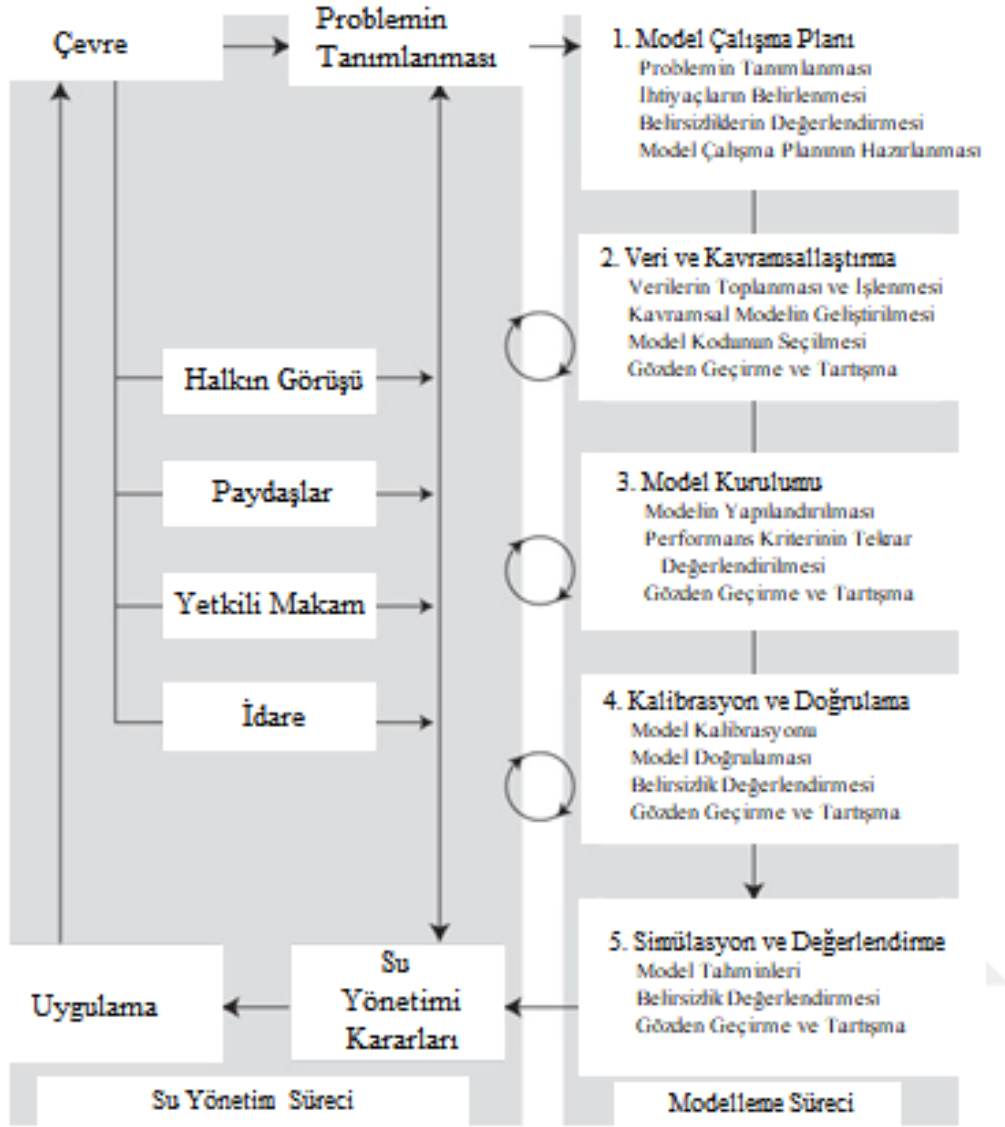
Adım 2, veri ve kavramsallaştırmayla ilgilidir. Bu aşamada, modelci, çalıştığı havza ile ilgili tüm bilgileri bir araya getirmelidir. Ardından modellenen sistem kavramsallaştırmak için süreçlerin ve bunların etkileşimlerinin genel bir bakışını

oluşturmalıdır. Bununla birlikte modelcinin hedefi model çalışma planında belirtilen şartları yerine getirmektir. Bir modelde, sistem dinamiğine, sınır koşullarına ve model parametrelerinin mevcut verilerden nasıl belirlenebileceğine dair mekansal ve zamansal detaylara dikkat edilmelidir. Model yapısındaki belirsizliğin ölçülmesini mümkün kılmak için bazı süreçleri alternatif yollarla veya farklı ölçeklerde modellemek gerekebilir. Ayrıca model gereksinimlerini ele alan mevcut bilgisayar kodlarının kullanılabilirliği de değerlendirilmelidir.

Adım 3, model kurulumunu içerir. Model kurulumu, kavramsal modelin bölgeye özgü bir modele dönüştürülmesi anlamına gelir. Model kurulumundaki önemli bir aşama, modeli çalıştırmak için gerekli olan giriş dosyalarını hazırlamak üzere verilerin işlenmesidir. Genellikle, model birçok görevin otomatikleştirildiği bir grafik kullanıcı arabiriminde (GUI) çalışır.

Adım 4, kalibrasyon ve doğrulamayı içermektedir. Bu adım, önce modelin kalibre edilmesi ve daha sonra ölçüm verilerine karşı model performansının doğrulanması yoluyla önceki adımda kurulan modelin analiz edilmesi sürecidir. Son olarak, ulaşılmak istenen hedefe göre model simülasyonlarının güvenilirliği belirsizlik analizleri ile değerlendirilmektedir.

Adım 5, simülasyon ve değerlendirme ile ilgilidir. Bu aşamada, modelci, model çalışmasının amaçlarını ve gereksinimlerini karşılayacak simülasyonları yapmak için kalibre edilmiş ve doğrulanmış modeli kullanır. Çalışmanın amaçlarına bağlı olarak, bu simülasyonlar, daha sonraki karar vermede (örneğin planlama veya tasarım amaçları için) veya sisteme dair süreçlerin anlaşılmasını (örneğin çalışma alanının hidrolojik / ekolojik rejiminin) geliştirmede kullanılabilecek spesifik sonuçları barındırır. Sağlıklı bir karara varmak için model tahminlerine uygun belirsizlik değerlendirmelerinin yapılması önemlidir. Diğer adımlarda olduğu gibi, sonuçların kalitesi de su sistemleri yöneticisi, modelci, denetleyiciler ve paydaşlar / kamu arasında diyalog kurularak değerlendirilmelidir.



Şekil 2.1 : Su yönetim sürecindeki ana katılımcılar ve modelleme çalışması arasındaki ilişki

Şekil 2.1, su yönetim sürecindeki ana katılımcıları ve modelleme çalışmasıyla ilgili yukarıda sıralanan beş adımı göstermektedir. Modelleme süreci ile su yönetimi süreci arasındaki etkileşimler, modelleme sürecinin başlangıcında açıktır. Adım 1, modelleme sürecinin su yönetimi süreçlerinin hedefleriyle başladığı yeri; Adım 5, modelleme sonuçlarının su yönetimi sürecine girdi olarak sağlandığı yeri betimler. Bu iki etkileşimde, yalnızca su sistemleri yöneticisi değil aynı zamanda kilit paydaşlar da modelci ile diyaloga dahil olmalıdır. Bu bağlamda, karar sürecine yönelik belirsizliklerin katılımcı temelli bir değerlendirmesi, modelleme çalışmasının unsurlarının önceliklendirilmesi için temel olarak Adım 1'de önemlidir. Ana modelleme süreci boyunca (2, 3, 4 Adımları), su yönetimi süreci ile modelleme süreci

arasındaki bağlantı ön çalışmadan çıkan sonuçların gözden geçirilmesi ve tartışılmasını içerir. Halkın katılım düzeyine bağlı olan etkileşim seviyesinde, durum halka danışılabilir veya aktif katılım ile bilgi sağlanabilir.

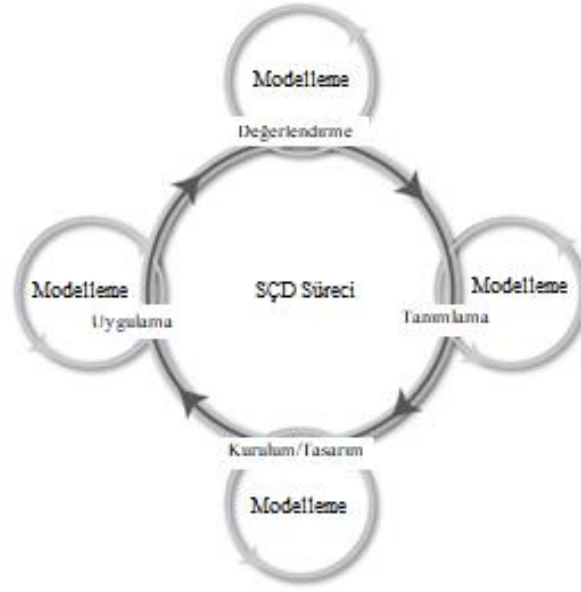
SÇD süreci gibi su yönetim sürecinin tipik döngüsel ve yinelemeli karakteri Şekil 2.2 ile verilmektedir. Burada su yönetim süreci ve modelleme arasındaki etkileşim bir büyük daire (su yönetimi) ve dört küçük destekleyici daire ile (modelleme) gösterilmektedir. SÇD planlama süreci, diğer planlama süreçlerinin çoğunda olduğu gibi dört ana unsuru içerir:

Mevcut durumun değerlendirilmesi: Baskı ve etki analizinin ve çevresel hedeflerin belirlenmesi de dahil olmak üzere tanımlanmasıdır. Bu aşamada model kullanımı, referans koşulların ne olduğu ve çeşitli baskıların etkilerinin neler olduğunu değerlendirmek için yararlı olabilir.

Planlama: Çevresel hedeflere etkin bir maliyetle ulaşabilmek için tasarlanan bir programın oluşturulmasını ve analizini içerecek şekilde tasarlanmasıdır. Burada modelleme, göz önünde bulundurulmuş çeşitli önlemlerin etkilerinin ve maliyetlerinin değerlendirmelerini desteklemek için kullanılır.

Tedbirlerin uygulanması: Burada bazı durumlarda gerçek zamanlı tahmin, uygulanacak operasyonel kararları destekleyebilir.

Değerlendirme: Önlemlerin çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesidir. Burada modelleme, izleme verisinden en üst düzeyde bilgiyi elde etmek için izleme çalışmalarını destekleyebilir. Örneğin, verilerdeki hata ve boşlukların belirtilmesi ve iklim değişkenliğinin etkilerinin modelde düzeltilmesidir.



Şekil 2.2 : Su yönetim sürecinin tipik döngüsel ve yinelemeli karakteri

Hata, risk ve yetersiz bilgi gibi belirsizlikler ve ilgili terimler farklı yazarlar tarafından farklı şekilde tanımlanmış ve yorumlanmıştır Walker ve diğ. (2003). Farklı tanımlamalar, temel bilimsel felsefi düşünme biçimini yansıtır ve bu nedenle çeşitli bilim disiplinleri arasında farklılık gösterir. Buna ek olarak, bu farklı tanımlar amaçlarına bağlı olarak değişir. Bazıları Funtowicz ve Ravetz (1990) gibi oldukça geneldir, diğerleri ise Beck (1987) gibi model tabanlı su yönetimine özellikle başvurmaktadır (Refsgaard ve diğ. 2007).

Walker ve diğ. (2003) belirsizliğin doğasının aşağıdaki gibi kategorize edilebileceğini açıklamaktadır. Bunlardan ilki epistemik belirsizlik, örneğin bilgi eksikliğinden kaynaklanan belirsizliktir. İkincisi stokastik belirsizlik ya da ontolojik belirsizlik, örneğin doğal değişkenliğe bağlı belirsizlik ya da iklim değişkenliğidir. Epistemik belirsizlik daha fazla çalışma, örneğin araştırma ve veri toplama yoluyla azaltılabilir ancak stokastik belirsizlik azaltılamaz. Çoğunlukla belirli bir olaydaki belirsizlik, hem epistemik hem de stokastik belirsizliği içerir. Örneğin, belirli bir alandaki 100 yıllık taşkın (sel riskinin) belirsizliğidir. Bu taşkın olayı mevcut akış verileri esas alınarak standart taşkın frekans analizinin kullanılmasıyla tahmin edilebilir. Epistemik belirsizlik, veri analizinin uygulanışının iyileştirilmesiyle, ek izleme çalışmalarının daha uzun zaman serileriyle yapılmasıyla veya modellenen sistemin nasıl çalıştığına dair anlayışın derinleştirilmesiyle azaltılabilir. Bununla birlikte, ne veri toplama ve sistemin mekanik anlayışının mükemmelliği, ne de tarihsel verilerin uzun bir süre mevcut olması stokastik belirsizlikte önemli değildir. Hava gibi çeşitli doğal olayların

stokastik ve kaotik doğası sebebiyle her zaman doğal sisteme özgü birtakım stokastik belirsizlikler olacaktır. Bu olaylar hakkında ne kadar yeterli ve kusursuz bilgiye sahip olursa da, bu konuda deterministik bir öngörü sağlanamaz. Bununla birlikte doğal değişkenliğin iyi tanımlanmış sorunsuz bir karakterizasyonu elde edilebilir (Refsgaard ve diğ. 2007).

Belirsizlik analizi, nitel bir güven ifadesiyle sınırlıdır. Örneğin, nokta tahmininin bir büyüklük mertebesinde daha az olan belirsizliği (10'luk bir faktör) "düşük derece" olarak kabul edilir, nokta tahmininde bir büyüklük mertebesinde daha fazla olan fakat iki büyüklük mertebesinde daha az olan bir belirsizlik (100'lük bir faktör) "orta derecede" kabul edilir ve iki büyüklük mertebesini aşan belirsizlik "yüksek derece" olarak kabul edilir (EPA 1989). Daha güvenilir bir yaklaşım, denklemlerin bileşenlerindeki belirsizliği genel sonuçtaki bir belirsizlik değerlendirmesine dönüştürmek için analitik veya sayısal teknikler kullanarak nicel bir belirsizlik analizini gerçekleştirmektir. Belirsizlik analizi model tahminlerindeki belirsizliğin azaltılmasında, ek verilerin elde edilmesine rehberlik etmek için kullanılabilir. Ayrıca belirsizlik analizi, alternatif faaliyetlerin maliyetlerine karşı koymak için ek olarak kullanılabilir ve yararlıdır (Hammonds, Hoffman, ve Bartell 1994).

2.1. Yerüstü Su Kalitesi Modellemesi

Su kalitesi modelleri, su ortamındaki kirletici maddelerin taşınımını simüle etmek ve bu kirleticilerin etkisini tahmin etmek için etkili araçlar olabilir, bu da yapılan çalışmalarda bir dereceye kadar işçilik ve malzeme maliyetinin tasarrufunu sağlar. Ayrıca, bazı durumlarda çevre kirliliği sorunları nedeniyle sahada ölçümler gerçekleştirilemez. Bu nedenle, su kalitesi modelleri, su ortamının kirliliğini ve su ortamında kirleticilerin akıbetini tanımlamak için önemlidir. Bazı endüstriyel aktiviteler de su ortamı üzerinde önemli çevresel etkilere sebep olabilir ve bu çevresel etkilerin, uygulamadan önce sayısal modeller kullanılarak simüle edilmesi, tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Su kalitesi modelleri kullanılarak farklı kirlilik senaryoları için oluşturulan model sonuçları, çevresel etki değerlendirmede önemli katkı sağlar ve su kalitesi modelleri çevre yönetim kararlarının alınmasında önemlidir, çünkü çevre yönetim kurumlarına inşaat projelerini yetkilendirmek için veri desteği sağlamakla kalmayıp aynı zamanda su ortamının korunmasıyla ilgili olan kuruluşlara teknik destek sağlarlar. Model

teorisinin ve bilgisayar teknolojisinin hızlı gelişimi ile çeşitli model algoritmalarının da kullanılmasıyla daha fazla su kalitesi modeli geliştirilmiştir. Bugüne kadar, yüzlerce model yazılımı dahil olmak üzere onlarca su kalitesi modeli farklı zamansal ve mekansal boyutlar, farklı topoğrafyalar, su kütleleri ve kirleticiler için geliştirilmiştir. Ancak, bu modellerin farklı teorilere dayandırılması ve farklı algoritmaları kullanması modelleme sonuçları arasında büyük farklılıklara yol açar. Böylece bu modelleme sonuçları referans alınamadığı veya birbirleriyle karşılaştırılamadığı için farklı çevre yönetimi kararları alınabilir. Tek tip model standardizasyon sistemi geliştirmekte olan ülkelerin çoğunda bile henüz oluşturulamamıştır. Böyle bir standardizasyon sisteminin ve farklı modelleme sonuçları arasında herhangi bir referans ve karşılaştırma imkanı olmaması çevre yönetimini kısıtlar. Bu nedenle, geliştirmekte olan ülkelerde, bu modelleri etkin bir şekilde uygulamak ve iyi bir model düzenleme sistemi oluşturmak için farklı su kalitesi modellerinin geçerliliklerini ölçeklendirmek gerekmektedir. Aynı zamanda bunların hesaplama ve kalibrasyon yöntemlerini ve model standardizasyonundaki ilerleme iyi anlaşılmalıdır. Streeter ve Phelps, Ohio Eyaleti'ndeki nehir kirliliğini kontrol etmek için ilk su kalite modelini (S-P modeli) oluşturduğundan beri yerüstü su kalitesi modelleri uzun bir gelişme sürecine girmiştir. Yerüstü su kalitesi modelleri, tek faktörlü su kalite modelinden çok faktörlü su kalite modeline, kararlı durum modelinden dinamik modele, noktasal kaynaklı modelden noktasal ve yayılı kaynaklı modellerin birleştirilmesine ve boyutsuz modellerden 1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu modele kadar büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Şimdiye kadar 100'den fazla yerüstü su kalitesi modeli geliştirilmiştir. Bu modeller su kütlesi tipleri, model kurma yöntemleri, su kalitesi bileşenleri, su kalitesi model kinetik parametre katsayıları, model özelliği, mekansal (spatial dimension) boyutu ve reaksiyon kinetikleri temelinde sınıflandırılırken (Wang ve diğ. 2013), Cole ve Wells (2000) su kalitesi modellerini boyutlarına, ele aldıkları problemlere (örneğin, ötrofikasyon), simüle ettikleri kirleticilere (örneğin, fosfor, azot, toksinler) ve uygulandıkları sistemlere (örneğin, göller, akarsular, haliçler) göre sınıflandırmıştır (Ostfeld ve Salomons 2005). Bununla birlikte, her bir yerüstü su kalitesi modelinin kendi kısıtları vardır. Bu nedenle, mevcut modellerin eksikliklerinin üstesinden gelmek için su kalitesi modellerinin daha fazla araştırılması gerekmektedir. Genel olarak, yerüstü su kalitesi modelleri, 1925'ten beri üç önemli aşamadan geçmiştir.

Başlangıç Aşaması (1925–1965). Bu aşamada daha çok su kütlelerinin türlerinin su kalitesine olan etkilerine dikkat edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan su kalitesi modelleri, doğal yaşam ve endüstriyel kirlilikten kaynaklanankirleticilere ve nehir sistemlerinde su kalitesinin farklı bileşenleri arasındaki etkileşimlere odaklanmıştır. Bu aşamanın başlangıcında (1925'ten 1965'e kadar) basit BOİ-ÇO çift-doğrusal sistem modeli geliştirilmiştir ve su kalitesi bileşenlerinin tahmininde başarı sağlanmıştır. Nehir ve haliçlerde kirlilik sorunlarının çözümü için tek boyutlu (1D) model uygulanmış ve bundan sonra, çoğu araştırmacı Streeter-Phelps modellerini değiştirmiş ve geliştirmiştir (S-P modelleri).

Örneğin, BOİ'nin sediment birikimi ve çökelmeden dolayı oksijen tüketimi olmaksızın azaltılabileceğine ve indirgenme hızının kalan BOİ miktarıyla orantılı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, bu iki BOİ azalma prosesini ayırmak için kararlı durum S-P modelinde çökme katsayısı verilmiştir. BOİ parametresi karbonlu BOİ ve azotlu BOİ ile birbirinden ayrılmış ve denkleme dayalı dispersiyon etkileri eklenmiştir. Sedimentten suya salınımın ve yüzey akışının neden olduğu değişen BOİ indirgenme hızının yanı sıra alg fotosentezi ve solunumuyla kontrol edilen ÇO değişim hızı Thomas'ın denklemine iki katsayı olarak eklenmiştir.

Gelişme Aşaması (1965–1995). 1965'ten 1970'e kadar, su kalitesi modelleri altı doğrusal sistem olarak sınıflandırılmış ve BOİ-ÇO modellerinin çok boyutlu katsayı tahmini ile ilgili ileri düzeyde çalışmalarla hızlı bir ilerleme kaydedilmiştir. Tek boyutlu modeller, göl ve körfezlerin su kalitesi simülasyonuna uygulanan iki boyutlu modellere dönüştürülmüştür. Doğrusal olmayan sistem modelleri 1970-1975 yılları arasında geliştirilmiştir. Bu modeller, N - P döngüleri ile fitoplankton ve zooplankton sistemini kapsamakta ve biyolojik çoğalma oranı ile besi maddeleri, güneş ışığı ve sıcaklık ile fitoplankton ve artan zooplankton konsantrasyonları arasındaki ilişkiye odaklanmıştır. Daha önceki doğrusal olmayan ilişkilerden dolayı bu su kalitesi modellerine sonlu fark yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi uygulanmış ve su kalitesi modelleri bir veya iki boyutlu modeller kullanılarak simüle edilmiştir. 1975'ten sonra modellerde durum değişkenleri büyük oranda artmış ve bu aşamada üç boyutlu modeller geliştirilmiştir. Su kalitesi modellerine hidrodinamik model ve sedimentlerin etkileri tanıtılmıştır. Bu arada, su kalitesi modelleri, yayılı kaynak kirliliği girdilerini bir değişken olarak değerlendirmek için havza modelleri ile birleştirilmiştir. Sedimentin etkileri, modellerin iç etkileşim süreçleriyle tanımlanabilmiştir. Böylelikle sediment akışlarının, farklı giriş koşullarında girişlere bağlı olarak değişebileceği

belirtilmiştir. Bu nedenle, su kalitesi yönetim politikaları, havza ölçeğinde daha kısıtlayıcı koşullarda ve yayılı kaynak kirlilik simülasyonu sayesinde büyük ölçüde iyileştirilmiştir. QUAL modelleri, MIKE11 modeli ve WASP modelleri gibi tipik modeller bu aşamada geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu sırada, USGS tarafından geliştirilen bir boyutlu OTIS modeli de diğer bir su kalitesi modelidir.

Derinleşme Aşaması (1995 sonrası). Gelişmiş ülkelerdeki sıkı denetim nedeniyle, yayılı kaynak kirliliği azaltılmıştır. Bununla birlikte, organik bileşikler, ağır metaller ve azotlu bileşikler gibi atmosferik birikimler, su kütlelerinin su kalitesi üzerinde artan olumsuz etkiler göstermiştir. Su yüzeyinde biriken besi maddeleri ve toksik kimyasal maddeler modellere dahil edilmiş olsa da, bu maddeler sadece su yüzeyinde doğrudan birikmekle kalmayıp aynı zamanda havzanın kara yüzeyinde de birikebilmektedir. Bu sebeple bu kirletici kaynaklar su kütlesine aktarılan önemli bir kirletici kaynağı olarak modellere tanımlanmıştır. Statik veya dinamik atmosferik birikim havzalarla ilişkili olduğundan modele bu süreci tanıtmak için hava kirliliği modelleri geliştirilmiştir. Yönetim talepleri açısından bunun gerekli olduğu gözükmemektedir. Bu nedenle, bu aşamada, QUAL 2K modeli, WASP6 modeli, QUASAR modeli, SWAT modeli ve MIKE 21 ve MIKE 31 modelleri gibi tipik modeller haricinde, atmosferik kirletici birikiminin katkısını doğrudan değerlendirmek için su kalitesi modellerine bazı hava kirliliği modelleri entegre edilmiştir.

Çizelge 2.1 : Ana su kalitesi modelleri ve bunların versiyonları ve karakteristikleri

Modeller	Model Versiyonu	Özellikleri
Streeter-Phelps Modelleri	S-P Modeli, BOİ-ÇO Modeli	Streeter ve Phelps 1925'te ilk S-P modelini oluşturmuştur. S-P modelleri oksijen dengesi ve BOİ'nin birinci mertebeden bozunmasına odaklanır. Bu modeller bir boyutlu (1D) ve kararlı durum modelleridir.
QUAL Modelleri	QUAL I QUAL II QUAL2E QUAL2E UNCAS QUAL 2K	USEPA 1970'te QUAL I'i geliştirmiştir. QUAL modelleri, bir boyutlu kararlı durumda, dallanmış nehirlerin ve yayılı kaynaklı kirleticilerin modellenmesinde uygun olan dinamik modellerdir.
WASP Modelleri	WASP1-8 modelleri	USEPA 1983'te WASP modelini geliştirmiştir. WASP modelleri bir, iki ve üç boyut dahil olmak üzere nehirlerin, göllerin, haliçlerin, sulak alanların ve rezervuarların su kalitesi simülasyonlarını yapmak için uygundur.

Çizelge 2.1 (devam) : Ana su kalitesi modelleri ve bunların versiyonları ve karakteristikleri

Modeller	Model Versiyonu	Özellikleri
QUASAR Modeli	QUASAR Modeli	Whitehead 1997'de bu modeli kurmuştur. QUASAR modeli büyük nehirlerde çözünmüş oksijenin su kalitesi simülasyonu için uygundur ve PC_QUASAR, HERMES ve QUESTOR modelleri dahil olmak üzere bir boyutlu dinamik bir modeldir.
MIKE Modelleri	MIKE 11 MIKE 21 MIKE 31	MIKE modelleri Danimarka Hidroloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Bir, iki ve üç boyutta hesaplamalar yapabilir. Ayrıca nehirlerin, haliçlerin ve sulak alanların su kalitesi simülasyonları için uygundur.
BASINS Modelleri	BASINS 1 BASINS 2 BASINS 3 BASINS 4	USEPA bu modelleri 1996'da geliştirmiştir. BASINS modelleri çok amaçlı çevresel analiz sistemleridir ve bu modellerde noktasal ve yayılı kaynaklı kirlenmeler birlikte tanımlanabilir. BASINS modelleri havza ölçeğindeki su kalitesi analizleri için uygundur.
EFDC Modeli	EFDC Modeli	Bu model Virginia Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. USEPA EFDC modelini 1997'de su kalitesi yönetimi için bir araç olarak listelemiştir. EFDC modeli bir, iki ve üç boyutta hesaplamalarını yaparken nehirlerin, göllerin, rezervuarların ve sulak alanların su kalitesi simülasyonu için uygundur.

Çizelge 2.1 (Wang ve diğ. 2013) ile gösterildiği üzere, diğer su kalitesi modelleri de karmaşık çevre koşullarını simüle etmek için geliştirilmiştir. Örneğin, atmosferik ve karasal N girdilerinin, arazi kullanımlarının ve hidrolojinin etkilerine bağlı olarak yarı dağıtık bir entegre azot modeli (INCA) geliştirilmiştir. Gelgit etkilerinin su kalitesi simülasyonu üzerindeki etkisini simüle etmek için QUAL 2K su kalitesi modeli ve HEC-RAS modeli entegre edilmiştir. Noktasal ve yayılı kaynakların entegrasyonu için, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), çok sayıda noktasal ve yayılı kaynağı hızlı bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılan çok amaçlı bir çevresel analiz sistemi (BASINS) geliştirmiştir. USEPA ayrıca EFDC modelini su kalitesi yönetimi için bir araç olarak göstermektedir. Yukarıda bahsedilen yerüstü su kalitesi modelleri arasından, Streeter-Phelps modeli, QUASAR modeli, QUAL modeli, WASP modeli, CE-QUAL-W2 modeli, BASINS modeli, MIKE modeli ve EFDC modeli dünya çapında yaygın bir şekilde uygulanmıştır. Bu halka açık modellerin (örneğin,

QUASAR, WASP ve QUAL2EU) nehirler ve akarsular boyunca çözünmüş oksijeni simüle etmek için uygun modeller olduğu sonucuna varılmıştır. Genel olarak, çoğu gelişmiş ülkeler (Avrupa ve Amerika) daha iyi ve gelişmiş yerüstü su kalitesi modelleri geliştirmiştir. Geçmiş yıllarda Çin’de de bazı üniversitelerde veya enstitülerde yerüstü su kalitesi modelleri geliştirilmiştir, ancak bu modeller MIKE modelleri, EFDC modeli ve WASP modelleri gibi yaygın olarak kullanılmamıştır (Wang ve diğ. 2013).

Aşağıda Çizelge 2.2 ile boyut sınıflandırmasına göre birkaç su kalitesi modeli listelenmiştir (Ostfeld ve Salomons 2005).

Çizelge 2.2 : Su kalite modelleri boyutsallık sınıflandırması

Model	Modellenebilen su kütle tipi	Boyutsallık	Modellenen Bileşenler	Açıklamalar
CAEDYM	Göller Rezervuarlar Haliçler	Hidrodinamik bir modelle birleştirilmediği takdirde boyutsuz (0D)	Ötrofikasyon, besin maddeleri, fitoplankton, zooplankton ve oksijen dinamikleri	Hidrodinamik bir modelle birleştirilebilir
HEC-5Q	Nehirler, Rezervuarlar	1D boyuna ve düşeyde su kalitesi ve boyutsuz (0D) hidrodinamik modelleme	Sıcaklık ve 7 su kalitesi bileşeni ayrıca 22 opsiyonel bileşen	
WASP	Nehirler Rezervuarlar	1D boyuna	ÇO, BOİ, besin maddeleri ve ötrofikasyon ile toksik kirlenme; organik kimyasallar, metaller	iki su sütununu ve bentozları içerir
DYRESM	Göller Rezervuarlar	1D düşeyde hidrodinamik	Sıcaklık, tuzluluk, yoğunluk	Su kalitesi modeli CAEDYM ile birleştirilebilir
CE-QUAL-W2	Nehirler Göller Rezervuarlar Haliçler Nehir havza sistemleri	2D boyuna/düşey hidrodinamik ve su kalitesi modeli	Hızlar, sıcaklık, ÇO, ötrofikasyon, organik maddeler, sediment	
ELCOM	Göller Rezervuarlar Haliçler	3D hidrodinamik	Hızlar, sıcaklık, tuzluluk, yoğunluk	Su kalitesi modeli CAEDYM ile birleştirilebilir

CAEDYM hidrodinamik modellere bağlanmak için tasarlanmış ekolojik bir modeldir. Model, büyük ölçüde ötrofikasyon, besin maddelerinin modellenmesi, fitoplankton ve zooplanktonun değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. CAEDYM'in şu anda bağlantılı olduğu hidrodinamik modeller arasında 1D DYRESM (Imberger ve Patterson 1981) ve 3D ELCOM (Hodges ve Dallimore 2001) bulunmaktadır. 'HEQ-5Q, Taşkın Kontrol ve Koruma Sistemlerinin Simülasyonu' (Willey, Smith, ve Duke 1996) bir boyutlu (1D) dikey rezervuar modelini ve bir boyutlu (1D) boyuna nehir modelini içermektedir. Nehir sistemi, doğrusal bölümler veya hacim elemanları ağı olarak temsil edilir. Modelin su kalitesi modülü, çözünmüş oksijen için bir seçenek de dahil olmak üzere, sıcaklık ve yedi farklı su kalitesi bileşenini simüle edebilir. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) (Ambrose, R.B. ; Wool, T.A. ; Connolly, J.P. ; Schanz 1988) yaygın olarak kullanılan bir taşınım ve su kalitesi modelidir. Dinamik Rezervuar Modeli (DYRESM) (Imberger ve Patterson 1981) göllerde ve rezervuarlarda sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluğun düşey dağılımını simüle etmek için oluşturulmuş bir boyutlu (1D) hidrodinamik bir modeldir. HEC-5Q'nun rezervuar sistemi modelinde olduğu gibi, sadece düşey değişimler (gradyanlar) simüle edilirken, boyuna ve yanal profillerin ortalaması alınır. Estuary ve Lake Computer Model - Haliç ve Göl Bilgisayar Modeli (ELCOM) (Hodges ve Dallimore 2001) doğal su kütlelerindeki hız, sıcaklık ve tuzluluk dağılımlarını tahmin etmek için kullanılan üç boyutlu (3D) hidrodinamik bir modeldir. DYRESM gibi ELCOM da, hidrodinamik çalışmalar için bağımsız bir program olarak veya su kalitesi simülasyonları için CAEDYM ile bağlantılı olarak çalıştırılabilir. CE-QUAL-W2 (Cole ve Wells 2000) iki boyutlu (2D düşey-boyuna) hidrodinamik ve su kalitesi modelidir. Nehirlere, haliçlere, göllere ve rezervuarlara uygulanabilir. Su kalitesi bileşenlerinin herhangi bir kombinasyonu simülasyona dahil edilebilir veya hariç tutulabilir. CE-QUAL-W2, yanal homojenliği kabul ettiği için, boyuna ve düşey su kalitesi bileşenlerinin değişimlerini gösteren nispeten uzun ve dar su kütleleri için uygundur (Ostfeld ve Salomons 2005).

Bu modeller arasında CE-QUAL-W2, dünya çapında 1.000'den fazla uygulama ile büyük ilgi görmüştür (Afshar, Kazemi, ve Saadatpour 2011; Xu, Godrej, ve Grizzard 2007).

SWAT, HSPF ve MIKESHE gibi hidrolojik ve su kalitesi modellerinin çoğu, tam karışım ve bir boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi varsayımlarıyla yukarı havzalarda ve daha dar nehirlerde meydana gelen süreçleri simüle etmek için kullanılır. Bu tür

modeller, bu varsayımların artık söz konusu olmadığı durumlarda (örneğin 2D veya 3D hesaplamaların gerekli olduğu göllerde ve rezervuarlarda) daha büyük nehirlerin hidrodinamiği ve su kalitesi süreçlerini simüle etme kapasitesinden yoksundur. Diğer yandan, WASP, CE-QUAL-W2 ve EPD-RIV1 gibi modeller, daha büyük su kütlelerinde hidrodinamik ve su kalitesi süreçlerini ele alarak diğer modellerin gerçekleştirmekte zorluk çektiği hesaplamaları gerçekleştirebilirler. Bununla birlikte, çoğu su kaynakları yönetim programı, karmaşık sulak alan - su kütlesi sistemlerinde planlama ve uygulamayı içermektedir. Bu nedenle, havzalarda ve aşağı havzadaki akarsularda su bütçesi ve su kalitesi ile ilgili süreçleri barındıran bilgisayar simülasyon modelleri oldukça gereklidir (Debele, Srinivasan, ve Parlange 2006; Mooij ve diğ. 2010).

2.2. CE-QUAL-W2 Modeli

CE-QUAL-W2 (Sürüm 4.1) modeli US Army Corps of Engineers (USACE) ve Portland Eyalet Üniversitesi (PSU) tarafından geliştirilmekte olan ve Portland Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından ücretsiz olarak dağıtılmaktadır (Gürel ve diğ. 2018). Ayrıca akarsularda, haliçlerde, göllerde ve rezervuarlarda su kalitesi ve hidrodinamik modelleme yapabilen iki boyutlu (yatayda ana akım yönünde ve düşeyde derinlik boyunca) bir modeldir (Cole ve Wells 2017). Bu nedenle dar veya yanal olarak tam karışım kabulü yapılabilecek, derinlik boyunca önemli değişimler (sıcaklık, tuzluluk tabakalaşması, vb.) olan sistemlerde kullanılabilmektedir, bu da modelde su kalitesi bileşenlerinin belirgin bir yanal değişimi olmadığını gösterir (Deus ve diğ. 2013; Etemad-Shahidi ve diğ. 2014; Kurup, Hamilton, ve Phillips 2000; Lung ve Bai 2003; Martin 1988; Mateus ve diğ. 2014; Vandenberg, Prakash, ve Buchak 2015).

CE-QUAL-W2, öncüleri Yanal Ortalamalı Rezervuar Modeli (LARM) ve Genelleştirilmiş Boyuna ve Düşey Hidrodinamik ve Taşınım (GLVHT) Modeli olan kabul görmüş hidrodinamik çözüm teknikleri üzerine kurulmuştur (Afshar ve diğ. 2011). Ayrıca bir boyutlu (1D) göl modeli olan CE-QUAL-R1'e su kalitesi simülasyon algoritması eklenerek geliştirilmiştir (1986) (Kuo ve diğ. 2003). Modelin son sürümü Ekim 2017'te çıkan 4.1'dir ve ilk sürümü 1986 yılındaki 1.0'dır. Bununla birlikte CE-QUAL-W2 modeli için aktif kullanılan bir forum web sayfası bulunmaktadır (<http://w2forum.cee.pdx.edu/>).

CE-QUAL-W2 yazılımının bileşenleri arasında grafik kullanıcı arayüzü (sadece veri girişi sağlar), ön işlemci (kullanıcıların girmiş olduğu verileri kontrol eder), simülasyon programı (hidrodinamik ve su kalitesi olmak üzere iki adet), yardımcı program (su bütçesi hesaplarını gerçekleştirir) ve son işlemci (model sonuçlarını görselleştirilir) yer alır (Gürel ve diğ. 2018).

CE-QUAL-W2 modelinin uygulanabilmesi için hidrodinamik, su biyolojisi, su kimyası, sayısal yöntemler, bilgisayarlar ve FORTRAN kodlama, istatistik, veri derlemesi ve verilerin yeniden yapılandırılması alanlarında bilgi gerektirir. Hidrodinamik ve su kalitesi modelleme, uzun süreli simülasyonlar, giriş sınır koşulları, kollar (branches), çoklu su kütleleri, değişken ızgara (grid) aralığı, otomatik zaman adımı, yeniden başlatma sağlama, katman / segment birleştirme ve ayrıştırma, çoklu giriş ve çıkış akışları, buz örtüsü hesaplamaları, su çekme hesaplamaları ve zamanla değişen sınır koşulları model özelliklerinden bazılarıdır (Afshar ve diğ. 2011).

CE-QUAL-W2 modeli aşağıdaki bileşenlerin simülasyonunu yapabilir niteliktedir. Bunlar:

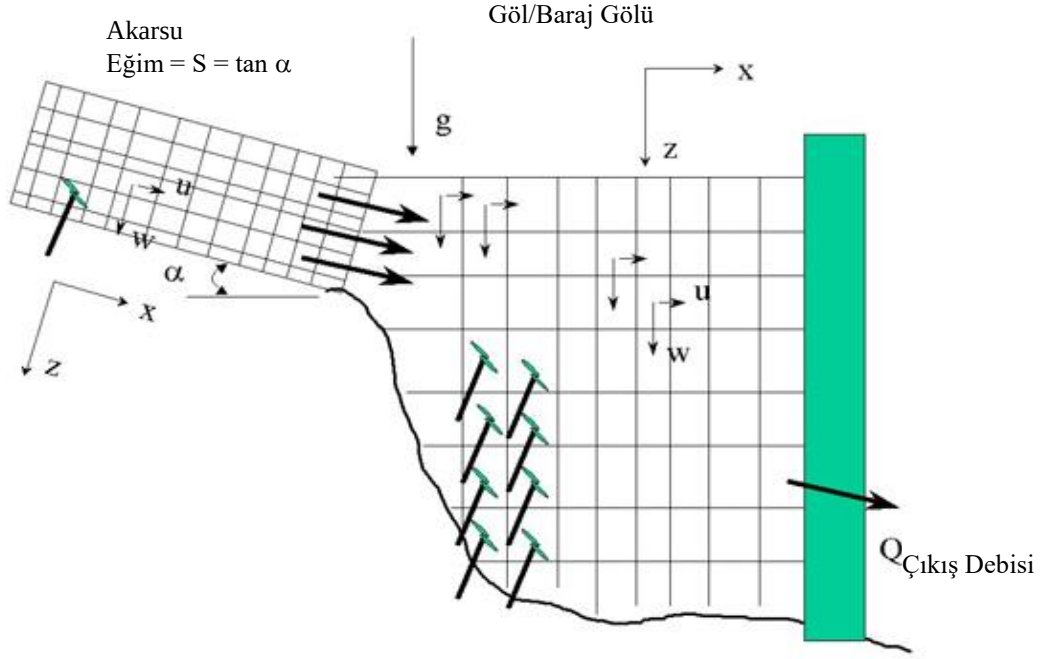
Su kütleleri: benzer türbülans kapama (turbulence closure) ve su kalitesi parametre değerlerine sahip model kollarının bütünü.

Kollar: değişken model eğimine sahip model segmentleri bütünü; farklı eğimlere sahip nehir veya birden fazla kola sahip rezervuar.

Segmentler: DX uzunluğunda, boyuna segment.

Katmanlar: DZ yüksekliğinde düşey katman (Al-Murib ve Wells 2014).

CE-QUAL-W2 modelinin son sürümlerinde havzanın iki boyutlu kabulüyle hesaplamaların yapılması şart koşularken modelin bir artısı olarak bütün su kütlelerini tek model ağında temsil etmek sayılabilir. Model ağı aşağıdaki Şekil 2.3 ile verilmektedir (Gürel ve diğ. 2018).



Şekil 2.3 : CE-QUAL-W2 model ağı

CE-QUAL-W2 modeli, her iki proses grubu (hidrodinamik ve su kalitesi) için aynı zaman adımı ve ızgaralar (gridler) varsayılarak, hidrodinamik ve su kalitesi simülasyonları arasında doğrudan bir bağlantı kullanır.

CE-QUAL-W2 modeli, 1975'ten beri sürekli olarak gelişmektedir ve özellikle tabakalaşmış su sistemlerinde, doğal göller için sıcaklık, çözünmüş oksijen ve algler arasındaki ilişki ve rezervuarda organik madde ve sediment arasındaki ilişki gibi temel ötrofikasyon süreçlerini simüle etmekte popüler olmuştur (Chang ve diğ. 2015).

İki boyutlu modellerin başlıca avantajları, boyuna ve düşey yönlerde daha iyi bir çözünürlük elde edilebilmesi ve sayısal hesaplamaların, benzer üç boyutlu modellerden daha iyi kontrol edilebilmesidir. Böylece, iki boyutlu modeller, üç boyutlu modellerden hesaplanabilirlik açısından daha avantajlıdır. Dolayısıyla, üç boyutlu modellere göre uzun zamanlarda daha iyi simülasyonlar sağlayabilmektedir (Kurup ve diğ. 2000).

CE-QUAL-W2 modeli, su kütlesinde boyuna segmentler için modellenmiş bileşenlerin düşey profillerini üretir. CE-QUAL-W2 modeli, daha önceki modelleme çalışmalarının önemli bir parçası olan güçlü hidrodinamik ve termal modelleme becerilerinden dolayı tercih edilebilir (Hanna ve diğ. 1999). Buna ek olarak, CE-QUAL-W2 zamansal ve mekansal boyutta su kalite bileşenlerini tahmin eder (Saito ve diğ. 2001; Zhang, Sun, ve Johnson 2015).

Modelin önemli bir özelliği de, dar tabakalı su kütleleri için iki boyutlu hız alanını (velocity field) hesaplama yeteneğidir (Etemad-Shahidi ve diğ. 2009).

Ayrıca CE-QUALW2 modeli göller, rezervuarlar ve haliçler gibi tabakalaşmış su sistemlerinde birçok alanda uygulanmıştır (Kuo ve diğ. 2003, 2006; Kurup ve diğ. 2000; Lung ve Bai 2003; Martin 1988).

SWAT modeli havuzlarda (ponds), göllerde ve rezervuarlarda su kalitesini simüle etmek için kararlı durum ve bir boyutlu ampirik prosedürler kullanmasına rağmen, ne SWAT ne de HSPF, sistemi temsil etmek için iki boyutlu veya üç boyutlu analizlerin gerekli olduğu göller ve rezervuarlar gibi daha büyük su kanallarındaki hidrodinamik ve su kalitesi değişkenlerini simüle edemez. Diğer taraftan, WASP ve CE-QUAL-W2 modelleri SWAT ve HSPF'ye kıyasla daha fazla su kalitesi parametresi ve daha büyük su kütlelerinin ayrıntılı bir biçimde hidrodinamik özelliklerini simüle etme kapasitesine sahiptir. Ayrıca CE-QUAL-W2 modeli, sadece bir boyutta su kalitesi süreçlerini simüle edebilen QUAL2E'den farklı olarak, yanal ortalama iki boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi simülasyonu yapabilen bir modelidir. CE-QUAL-W2 modelinin hidrodinamik karmaşıklığı, geçici depolama ve rezervuar boyunca taşkın akışının yönlendirilmesi nedeniyle su seviyelerindeki değişikliklerin modellenmesi için uygundur (Debele ve diğ. 2006).

CE-QUAL-W2 modeli dünya çapında su kütlelerini simüle etmek için başarıyla kullanılan bir modelidir (Bowen 2000; Etemad-Shahidi ve diğ. 2009). CE-QUAL-W2'nin diğer avantajlarından biri, zaman adımını aşağıdaki kriterleri kullanarak modelde otomatik olarak hesaplanmasıdır (Cole ve Wells 2006).

$$\Delta t \leq \frac{1}{2 \left[\frac{\Delta x}{\Delta x^2} + \frac{\Delta z}{\Delta z^2} \right] + \frac{Q}{V} + \sqrt{\frac{\Delta g H}{\Delta x \rho^2}}} \quad (2.1)$$

Burada, Δt zaman adımı, Δx yatay eddy difüzyonu, Δz düşey eddy difüzyonu, Δx ızgara (grid) uzunluğu, Δz ızgara kalınlığı, Q ızgara toplam deşarjı, V ızgara hacmi ve $\Delta \rho$ ise yoğunluk farkıdır (Etemad-Shahidi ve diğ. 2014).

CE-QUAL-W2 modeli, aşağıda sıralanan kriterler ve hedefler göz önünde bulundurulduğunda kullanılması daha uygundur:

- CE-QUAL-W2 mekansal olarak uzun, dar ve değişen derinlikli su kütlelerini modellemek için uygundur.

- CE-QUAL-W2, nehirdeki çözünmüş oksijen, amonyum, ortofosfat, fitoplankton dahil, ölü organik madde ve askıda katı maddeler gibi kritik parametreleri modelleme yeteneğine sahiptir.
- CE-QUAL-W2 yüzlerce su sistemine uygulanmış olup yaygın olarak bilinen, sistematiği anlaşılan ve kabul gören bir modeldir.
- CE-QUAL-W2, gözlem verileriyle karşılaştırmak için çeşitli model çıktıları sunabilir.
- CE-QUAL-W2, yüklerdeki ve debilerdeki değişikliklere olan tepkileri simüle edebilir (Smith, Threadgill, ve Larson 2012).

Bununla birlikte bir su kütlesinde belirgin yanal değişim varsa, bu durum hidrodinamik ve su kalitesi süreçlerini simüle etmek için kabul edilemez (Park ve diğ. 2014).

Yukarıda sıralanan özellikler tez kapsamındaki çalışma alanında karşılandığı için CE-QUAL-W2 modelinin uygulanması uygun görülmüştür.

2.2.1. Hidrodinamik

Hidrodinamik simülasyon türbülanslı Navier-Stokes denklemlerinin çözülmesiyle iki boyutta gerçekleştirilmektedir. Hidrolik yapıların hidrodinamik etkileri CE-QUAL-W2’de modellenmektedir. Bu yapılardan bazıları dolu savak, batmış savak ve kapaklardır.

Hidrodinamik özellikler, sıcaklıktaki değişimlerden ve toplam çözünmüş katı maddeler ve askıda katı maddelerden dolayı değişen su yoğunluğundan etkilenir (Cole ve Tillman 2001). Model, yanal ortalama akışkan denklemlerine sonlu farklar metoduyla yaklaşır ve yüzey seviyesi, basınç, yoğunluk, düşey ve yatay hızlar ve su kalitesi bileşenlerinin konsantrasyonunu ve taşınımını hesaplamaktadır ve bunun için tasarlanmıştır (Lung ve Bai 2003). Sıcaklığın su yoğunluğuna olan etkisi sebebiyle hidrodinamik hesaplamalarda modellenmek zorundadır, hariç tutulamaz (sıcaklık tahmini modellerde kapatılamaz). Modelde geri beslemeler (feedback) dikkate alındığı için model çalıştığı sürede, su kalitesi hesaplamalarından önce gerçek zamanlı hız, sıcaklık ve tuzluluk gibi korunumlu iz maddesi simülasyonu (hidrodinamik simülasyon) yapılır. Model, sistemin hidrodinamiğini çözmek için sonlu farklar yöntemiyle açık / kapalı formülasyon kullanmaktadır (Etemad-Shahidi ve diğ. 2014).

Enerji ve biyokimyasal bileşenlerin taşınmasını kontrol etmek için hızları hesaplamak üzere açık sayısal denklemler kullanılır.

Hidrodinamik hesaplamaların temel itici güçleri tatlı su akışı, havza akışı ve sınır koşullarıdır. Su sütunundaki düşey karıştırmayı karakterize eden momentum ve sıcaklığın düşey eddy difüzyon katsayıları, CE-QUAL-W2 modelinde hesaplanır ve kullanıcı tarafından atanamaz. Modelde kullanıcı girdili düşey eddy difüzyon katsayılarından kaçınmak aslında daha sağlam bir hidrodinamik modeli sağlamaktadır (Lung ve Bai 2003).

QUICKEST yöntemi UPWIND yöntemiyle karşılaştırıldığında, sayısal difüzyon nedeniyle ortaya çıkan küçük pürüzler, CE-QUAL-W2 modeline dahil edilen açık üçüncü dereceden hassas QUICKEST boyuna / düşey taşınım şeması ve zaman ağırlıklı kapalı düşey adveksiyon (QUICKEST-ULTIMATE) yöntemleri uygulanarak azaltılmıştır (Debele ve diğ. 2006).

Versiyon 3.0'dan itibaren sayısal dağılım ve salınımın ortadan kaldırılması için kontrol dosyasında (w2_con.npt) adveksiyon terimindeki kütle taşınım denkleminin seçiminde ULTIMATE seçeneği sayısal bir şema sağlar. Bu, düşey adveksiyon kütle taşınımının doğru bir şekilde tanımlanmasıyla ve su sütunundaki ÇO tabakalaşmasının belirlenmesinde önemlidir (Lung ve Bai 2003).

2.2.2. Su Kalitesi

CE-QUAL-W2 su kalitesi modülü, korunumlu bir iz maddesi, askıda katı madde, koliform bakteri, toplam çözünmüş katı madde (veya tuzluluk), kolay ve yavaş ayrışan çözünmüş organik madde, alg, detritus, ortofosfat veya TP, amonyak, nitrit - nitrat, ÇO, sediment, toplam inorganik karbon, alkalinite, pH, karbon dioksit, bikarbonat, karbonat, demir ve karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacını (KBOİ) içeren 21 bileşenin simülasyonunu yapabilir (Deus ve diğ. 2013; Lung ve Bai 2003; Mateus ve diğ. 2014).

CE-QUAL-W2 modelinde alg ve diğer su kalitesi bileşenlerinin arasındaki ilişki tek bir şekilde toplanmış olup aşağıda Şekil 2.4'te (Sadeghian ve diğ. 2018) ve burada kullanılan kısaltmaların açıklamaları aşağıda verilmiştir.

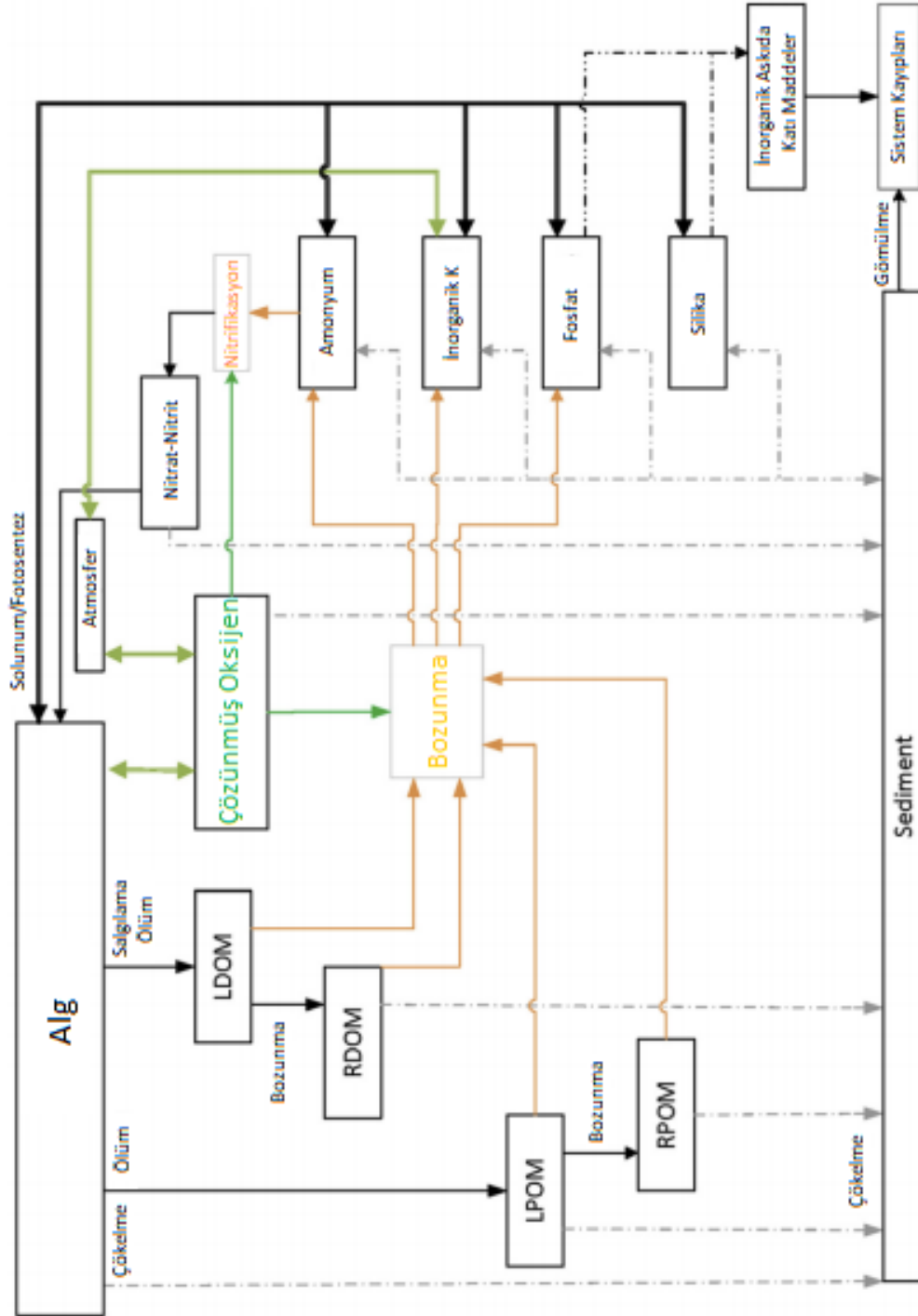
RDOM: Yavaş Ayrışabilen Çözünmüş Organik Madde

RPOM: Yavaş Ayrışabilen Partiküler Organik Madde

LDOM: Kolay Ayrışabilen Çözünmüş Organik Madde

LPOM: Kolay Ayrışabilen Partiküler Organik Madde

İnorganik K: İnorganik Karbon



Şekil 2.4 : CE-QUAL-W2 modelinin bileşenleri ve aralarındaki ilişkinin basitleştirilmiş akış şeması

Su kütlesindeki ötrofikasyon sorunu için besin maddelerinin akıbetini anlamak önemlidir ve CE-QUAL-W2'de besin maddesi döngüsü, başlıca besin maddesi kaynağı veya besin maddesi birikimi olarak tanımlanan 4 ana kompartman tarafından kontrol

edilir. Bunlar su sütunu, organik madde, alg veya epipid ve sedimenttir. Modelde, kompartmanlara ayrılan besi maddeleri konsantrasyonları, nehir girişi yoluyla rezervuara dahil edilmektedir. Özel kinetik süreçler, kompartmanlar arasındaki besi maddelerinin taşınımını kontrol eder. Rezervuar içerisinde besi maddeleri, yaşayan ve ölü organik madde ve sedimentin bir parçasıdır. Yaşayan organik madde, spesifik besi maddesi alımı ve salınımı hızlarına sahip olan alg ve epipitleri içerir. Ölü organik madde ise suda bulunan çürütücü mikroorganizmalar için karbonun mevcudiyetine bağlı olarak kolay veya yavaş ayrışabilen çözünmüş ve partiküler formlarda modellenecek sisteme tanımlanır. Besi maddeleri ile sediment arasındaki ilişki, substratın redoks durumunu değiştiren oksijen seviyeleri ile ilgilidir. Algler ışık, besi maddeleri ve sıcaklık tarafından kontrol edilen, doğal fotosentez ve solunum hızları olan 4 fonksiyonel grup veya topluluk (örneğin yeşil alg, yaz ve kış diatomları ve siyano bakteriler) olarak temsil edilir. Fonksiyonel grupların sayısı, bu rezervuarın alg topluluklarının önceden modellenmesiyle (çalışılmasıyla) belirlenebilir (Flowers, Hauck, ve Kiesling 2001; Umoren 2006). Modelde her bir fonksiyonel alg grubunun belirli bir azot ve fosfor stokiyometrisine sahip olması nedeniyle besi maddesi konsantrasyonları, her bir alg grubunun net üretim hızlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunun yanında ölü alg biyokütlesi, su veya sediment içindeki organik maddenin bir parçası haline gelir (White, Prochnow, Filstrup, ve Byars 2010).

Model, dünyada yüzlerce rezervuar, göl, hafif eğimli nehir ve haliç sistemlerine başarıyla uygulanmıştır. CE-QUAL-W2 modeli uygulamalarının geniş çaplı listesi detaylı olarak modelin web sitesinden bulunabilir (<http://www.ce.pdx.edu/w2/>).

Web sitesinde şu ana kadar modelin dünya çapında yaklaşık 2400 su kalitesi sorunu için uygulanmış olduğunu belirtilmektedir (Vandenberg ve diğ. 2015). Bu bölümde, model uygulamalarının bir kısmından bahsedilmektedir.

CE-QUAL-W2 modeli, Debele ve diğ. (2006) Cedar Creek Rezervuarı'nda kullanılmıştır.

US Geological Survey (USGS) personeli, su döngüsü ve su sıcaklığını simüle etmek için modeli Oregon'daki çeşitli nehirlerle ve rezervuarlara uygulamıştır (Risley ve diğ. 2010; Rounds ve USGS 2007).

CE-QUAL-W2 modeli, yüksek kotlu barajların mansabındaki sıcaklık etkilerinin azaltılması yönündeki stratejilerin etkinliğini değerlendirmek amacıyla birkaç defa Oregon'da kullanılmıştır (Rounds ve Buccola 2015).

McCutcheon (2000) CE-QUAL-W2 modeli ile, akarsularda, göllerde ve haliçlerde su kalitesi standartlarının karşılanması noktasal ve yayılı yük kaynaklarının sınırlarını belirlemiştir.

Slominski ve diğ. (2002), 1991 ve 2000 yılları arasında Spoken Nehri ve rezervuar sisteminde ötrofikasyonun tahmin edilmesi için bir simülasyon modeli olarak CE-QUAL-W2'yi önermişlerdir.

Bocaniov (2002), Iron Gate 1 rezervuarının hidrodinamiğini anlamak için CE-QUAL-W2'yi kullanmış ve gölün, buraya gelen besin maddelerini ve sedimenti biriktirmekteki rolü hakkında bilimsel bir değerlendirmede bulunmuştur.

Bowen ve Hieronymus (2003), Neuse River Estuary'deki hidrodinamik ve su kalitesi koşullarını, toplam maksimum günlük yük (TMDL) analizini desteklemek için CE-QUAL-W2 iki boyutlu, yanal ortalama modelinin hafifçe değiştirilmiş versiyonunu kullanarak 43 aylık bir süre için simüle etmiştir. Gözlemlenen klorofil-a konsantrasyonları için modelin kalibre edilmesi için çok amaçlı, istatistiksel bir prosedür kullanılmıştır. Model daha sonra toplam azot yük azaltma senaryoları için klorofil-a konsantrasyonlarındaki ve birkaç su kalite parametresindeki değişiklikleri tahmin etmek için kullanılmıştır.

Wu, Liu, ve Hsieh (2004) su kalitesinin yönetimi için uygun stratejileri belirlemek amacıyla rezervuardaki su kalitesi koşullarını simüle etmek için CE-QUAL-W2 modelini uygulamıştır. Model, çeşitli atık yükü azaltma oranlarına karşılık gelen çeşitli senaryolar altında klorofil-a konsantrasyonlarını simüle etmek için kullanılmıştır.

Nielsen (2005), New Mexico'daki Elephant Butte Rezervuarı'nda 3 yıllık bir süre için besin maddesi dinamiklerini ve alg tepkilerini incelemiştir.

Chung ve Oh (2006), muson iklim bölgesinde yer alan bir rezervuar için CE-QUAL-W2'nin sistematik bir kalibrasyon ve doğrulama sürecini sunmuştur.

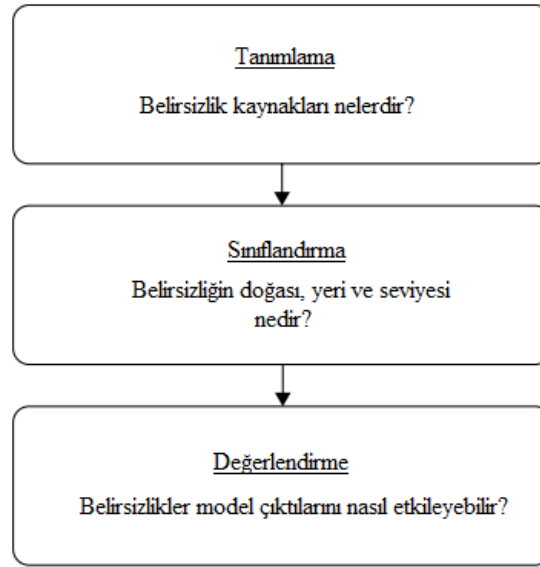
Kuo ve diğ. (2006) Tayvan'daki iki rezervuarı su sütunundaki hidrodinamiği ve su kalitesini simüle etmek için modellemiştir. İki rezervuarın su sütunundaki sıcaklığın mekansal ve zamansal dağılımları, hidrodinamik model ile üretilmiştir. Simüle edilmiş su kalitesi parametrelerinin konsantrasyonları, ölçülen değerler ile her iki rezervuarda da eşleşmiştir.

Liu ve diğ. (2006), havzadaki akışı ve besin maddesi yüklerini simüle etmek ve rezervuardaki belirlenmiş su kalitesi parametre konsantrasyonlarını tahmin etmek için BASIN ve CE-QUAL-W2 modellerini kullanmıştır (Afshar ve Saadatpour 2009).

2.3. Su Kalitesi Modellerinde Belirsizlik Analizi

Modele dayalı belirsizlikler konusunda sağlam bir anlayışa sahip olmak bir dizi nedenden dolayı önemlidir. Birincisi, karar vericiler model çıktılarına olan güven düzeylerini tanımlayabilir ve sonuç olarak karar süreçleri daha sağlam ve şeffaf gerçekleştirilir. İkincisi karar vericiler, belirsizliğin en iyi uygulama yolunun seçimini etkileyebileceği dereceyi değerlendirebilir. Üçüncüsü, karar vericiler belirsizliği azaltmak için seçenekleri gözden geçirebilirler. Bununla birlikte tüm belirsizlik biçimleri azaltılamaz ve bunları azaltmaya çalışmak kaynakların verimsiz kullanımına neden olabilir. Dolayısıyla, modele dayalı belirsizlikleri sistematik olarak değerlendirmek gereklidir (Thompson ve Jord J Warmink 2016).

Modelleme yaklaşımlarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi, doğası gereği tekrarlamalıdır. Bu yaklaşım belirsizliklerin model sonuçlarını ve nihayetinde karar süreçlerini nasıl etkileyebileceğini şeffaf bir şekilde tanımlamak, sınıflandırmak ve değerlendirmek üzerine kurulmuştur. Belirsizlik analizi, potansiyel belirsizlik kaynaklarının belirlenmesi ile başlar. Belirsizliklerin belirlenmesi için açık, sistematik ve tutarlı bir yaklaşıma sahip olmak, modelcilerin ve analistlerin belirsizlikleri tespit etmelerine yardımcı olabilir. Karşılaşılabilecek olan belirsizlikleri öngörerek, modelciler eldeki probleme en uygun yaklaşım ve teknikleri belirleyebilirler. Belirsizlik analizi model değerlendirmesinden, seçilen modelden veya modellerin yapısından ve teknik uygulamasından kaynaklanan belirsizliklerin tanımlanmasına yardımcı olabilir. Belirsizliklerin tanımlanması ve sınıflandırılması genellikle modelcilerin ve analistlerin deneyimi ile gerçekleştirilir. Belirsizlik tipolojisi, modelleme çalışması sırasında karşılaşılan belirsizliklerin önemli özelliklerini tespit etmeye ve tanımlamaya yardımcı olmak için yararlı bir araç olabilir. Tipolojiler, modelcilerin ve analistlerin modelleme sürecinde karşılaşılan belirsizlikleri daha iyi anlamasına ve değerlendirmesine yardımcı olurken, bunu sistematik ve tutarlı bir şekilde yapar.



Şekil 2.5 : Üç adımlı belirsizlik analizi sürecinin kavramsal görünüşü

Şekil 2.5, belirsizlik analizinin adımlarına genel bir bakış sunmaktadır (Thompson ve Warmink, 2017). Walker ve diğ. (2003) üç boyutta belirsizliği sınıflandırmıştır. Bunlar belirsizliğin doğası (belirsizliğin nasıl ortaya çıktığının temel nedeni), karar sürecinde belirsizliğin yeri ve belirsizlik düzeyi olarak sınıflandırılabilir. Her bir boyut için birden fazla sınıflandırma şeması olabileceğinin belirtilmesi önemlidir (Skinner, Rocks, ve Pollard 2014).

2.3.1. Belirsizlik Analizine Genel Yaklaşım

Başlangıç olarak Ascough ve diğ. (2008) belirsizliğin dört ana doğasını tanımlamaktadır bunlar sözel belirsizlik, bilginin yetersiz olduğu durumdaki belirsizlik, değişkenlikten kaynaklanan belirsizlik ve karar belirsizliğidir. Sözel belirsizlik terminolojinin belirsizliği, anlam karmaşası ve içerikten bağımsız olma durumu ile ilgilidir. Bununla birlikte, belirsizlik analizinin alanı, bilimsel disiplinler arasındaki belirsizlikleri tanımlamak için ortak bir sözlüğü kullanmakta zorluk çekmiştir. Değişkenlik (ya da raslantısallık) belirsizliği, gerçekliğin bir niteliğidir ve doğal sistemin rastlantısallığına işaret eder ve tanımlı gereği azaltılamaz. Ayrıca nesnel belirsizlik, dış belirsizlik, stokastik belirsizlik veya rastgele belirsizlik olarak da adlandırılmaktadır (Van Asselt ve Rotmans 2002). Doğa sorunlarına yol açan iklim değişikliği veya hava durumu tahminleri değişkenlik belirsizliklerinin örnekleridir. Bilgi veya epistemik belirsizlik bilginin sınırlı olmasından kaynaklanan belirsizlik anlamına gelir. Gelişmiş sistem anlayışıyla, bilimsel araştırmalar ya da daha fazla veri

edinme yoluyla azaltılabilir. Örnek olarak, bir patlamadan sonra volkanik külün dağılmasından sorumlu süreç verilebilir. Bilimsel araştırma bu soruyu cevaplayabilir ve böylece belirsizliği azaltabilir. Karar belirsizliği, aynı zamanda, tek bir hakikatin bulunmadığı belirsizliğe ya da çok sayıda geçerli referansın bulunduğu duruma da atıfta bulunabilir (Dewulf ve diğ. 2005; Thompson ve Jord J. Warmink 2016).

Warmink ve diğ. (2010) modele dayalı belirsizliği beş ana başlıkta tanımlamaktadır. Bunlar içerik, girdi, model yapısı, model tekniği ve parametrelerdir (Tablo 2.2). İçerik belirsizliği, model teorisindeki varsayımlarla ilgili olup, genellikle model seçimi sırasında ortaya çıkan belirsizlik olarak tanımlanmaktadır. Bu belirsizliğe örnek olarak, iki boyutlu veya üç boyutlu bir modelin kullanımı ya da hava düzenlerini (weather pattern) tahmin etmek için küresel veya bölgesel bir modelin kullanımı gösterilebilir. Girdi belirsizlikleri, model çalışma alanında zamana veya mekana bağlı (örneğin, solar radyasyon) verilerde ortaya çıkan belirsizlik anlamına gelmektedir. Bu verilerdeki belirsizlikler, ölçüm hatalarından kaynaklanabilir. Model yapısının belirsizliği, modeldeki sistem ilişkilerini tanımlayan süreçlerin ifade edilişindeki belirsizliktir. Süreç bazlı bir tanımlama yerine ampirik bir ilişki kullanmak model yapısında belirsizliklere neden olabilir. Model teknik belirsizlikleri teknik ve sayısal uygulamada ortaya çıkmaktadır. Parametre belirsizlikleri, modelin fiziksel veya ampirik denklemlerinde kullanılan sabitlerdeki belirsizliği ifade eder. Parametrelerdeki belirsizlik, model kalibrasyonuna bağlı olabilir (Thompson ve Jord J Warmink 2016).

Walker ve diğ. (2003), model esaslı su yönetimi sürecindeki farklı kaynaklardaki belirsizliği tanımlamaktadır. Bu kaynaklar aşağıdaki gibi karakterize edilebilir:

İçerik ve çerçevelendirme, modellenen sistemin sınırları ile ilgilidir. Modelin içeriği, genellikle sorunun tanımlandığı model çalışmasının ilk aşamasında belirlenir. Model çalışmasının odak noktası, genel sorunun sınırlı bir parçası olarak seçilir. Bu, sorunun kapsamını oluşturan ekonomik, çevresel, politik, sosyal ve teknolojik koşulları içerir.

Girdi belirsizliği, harici zorlayıcı etkenler (su sistemleri yöneticisinin kontrolü dahilinde veya haricinde) ve arazi kullanım haritaları, kirlilik kaynakları ve iklim verileri gibi modeli yönlendiren girdi verilerindeki belirsizliktir.

Model yapısının belirsizliği, modellenen süreçlerin eksik anlaşılmasından ve basitleştirilmesinden kaynaklanan kavramsal belirsizliktir.

Parametre belirsizliği, model hesaplarında kullanılan denklemlerde yer alan kinetik parametre değerlerinden kaynaklanan belirsizliktir.

Model uygulamasındaki teknik belirsizlik, modelin bilgisayar uygulamasından kaynaklanan belirsizliktir. Örneğin sayısal yaklaşımlardan, zamansal ve mekansal çözünürlükten ve yazılımdaki hatalardan ortaya çıkan belirsizliktir.

Model simülasyonlarındaki belirsizlik ve model çıktı belirsizliği, yukarıdaki tüm kaynakları dikkate alan belirsizlik dağılımı ile değerlendirilebilir (Refsgaard ve diğ. 2007).

Model belirsizliği, matematiksel modelin kurulumu aşamasında “doğru” bir kavramsallaştırmanın yapıldığı yönündeki güven aralığını temsil etmek için kullanılır. Model parametrelerinin tümü için kesin değerler olsa bile yanlış sonuç elde etme olasılığı varsa model belirsizliği vardır. Model belirsizliklerini değerlendirmek için en iyi yöntem model doğrulama yoluyla yapılır (Hoffman ve Miller 1983). Bu işlem, model tahminlerinin, çok sayıda bağımsız veri seti ile karşılaştırıldığı bir süreçtir. Yetersiz izleme verileri ve yetersiz mali kaynaklar nedeniyle model doğrulama genellikle sınırlıdır. Parametre belirsizlik analizi tekniği, modelin yapısının doğru olduğunu varsayarak model sonuçlarındaki belirsizliği tahmin etmenin nicel bir yolunu sunmaktadır (Hammonds ve diğ. 1994). Güven aralığı, gözlemlenen ölçüm sonuçlarının bulunabileceği aralığı tanımlamaktadır ve önemlidir, çünkü belirsizliğin model sonuçlarının değişkenliğine olan etkisinin niceliğini belirler. Bu şekilde, su kalitesi modeli tahminlerinin güvenilirliği değerlendirilebilir (Coleman ve Steele 2009; Rangel-Peraza ve diğ. 2016).

Parametrenin belirsizlik analizini yapmak için, aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekmektedir (IAEA 1989):

1. Değerlendirme son noktasının tanımlanması.
2. Tüm belirsiz parametrelerinin listelenmesi (gerekirse model yapısındaki belirsizliği göstermek için ek parametreler içerir).
3. Değerlendirmenin son noktasına göre bilinmeyen parametrelerle ilgili potansiyel değer aralığının belirtilmesi.
4. Bu aralıkta ortaya çıkan değerler için olasılık dağılımının belirtilmesi.
5. Parametreler arasındaki korelasyonların belirlenmesi ve hesaplanması.
6. Analitik veya sayısal yöntemleri kullanarak, model tahminlerinde olasılık dağılımı üretmek için model parametrelerindeki belirsizliğin yayılması.
7. Bilinmeyen değer için güven aralığındaki belirsizlik nicel ifadelerinin türetilmesi.
8. Bir duyarlılık analizi yaparak model tahminindeki belirsizliğe en çok katkıda bulunan parametrelerin sıralanması.

9. En önemli model parametreleri için bilginin edinilmesi ve 3 ila 8 arasındaki adımların tekrarlanması.

10. Analiz sonuçlarının sunulması ve yorumlanması.

Değerlendirme son noktası, değerlendirmeyi gerçekleştirmek için kullanılan matematiksel modelin parametrelerindeki belirsizliği temsil etmek için kullanılan olasılık dağılımlarının merkezini ve yayılmasını belirleyecektir.

3. ve 4. adımlar genellikle mevcut literatürün kapsamlı bir derlemesine, toplanan verilere ve ilgili parametrelerle ilgili uzmanlarla yapılan görüşmelere dayanarak profesyonel görüş alma yoluyla gerçekleştirilir. Ek olarak, bir korelasyon katsayısı belirleyerek veya model yapısını değiştirerek, ilgili orijinal parametreler arasında bağımlılığı belirleyen ek parametreleri de içererek, parametreler arasında korelasyonlar kurulabilir ve model parametreleri için olasılık dağılımları analiz edilebilir (Hammonds ve diğ. 1994).

2.3.2. Belirsiz Model Parametreleri için Olasılık Dağılımının

Belirlenmesi

Nicel belirsizlik analizi yapmak için, belirsiz parametrelerin her birine olasılık dağılımları atanmalıdır. Dağılımlar, doğrudan doğruya deneysel bir tasarımdan elde edilen verilerden sağlanabilir, ancak genellikle, bir parametrenin bilinmeyen değerinin belirtilen bir aralık içinde yer aldığı inancının derecesini yansıtacak şekilde öznel yargılar kullanılmalıdır. Verilerin sınırlı olduğu ancak belirsizliğin nispeten düşük olduğu durumlarda (10 faktörden daha az), üniform dağılımı belirlemek için bir aralık kullanılabilir. Büyük olasılıkla bir değer veya orta nokta hakkında bilgi varsa, bir aralığa ek olarak, bir üçgen dağılımı atanabilir. Belirsizlik aralığı, 10 faktörü aştığında, parametre değerlerinin logaritmalarının olasılık dağılımını tahmin etmek gerekir. Bu nedenle, belirsizlik aralığı çok büyük olduğunda, bir log-üniform veya log-üçgen dağılımı, düzgün veya üçgen dağılımından daha uygun olabilir. Normal, lognormal veya ampirik dağılımların varsayımı genellikle ilgili verilerin mevcudiyetine bağlıdır. Diğer birçok dağılım türü Monte Carlo analizi için uygundur. Bu diğer tiplerden bazıları gama, beta, Poisson, Weibull ve çeşitli ayrık dağılımlardır. Farklı dağılımların etkisinden şüphe duyulduğunda, farklı dağılımlar varsayılmalı ve etki analizi yapılmalıdır. Bir dağılımın ortalaması ve varyansı sabit tutulduğu sürece, model denklemlerindeki bir parametrenin dağılım şekli, genel bir ölçüde, model tahmininin %90 öznel güven aralığında minimum etkiye sahip olacaktır (O'Neill ve diğ. 1981).

Bu durum özellikle tek bir parametrenin, model tahminindeki genel belirsizliğe yüksek derecede etki etmediği ve model parametreleri arasındaki karşılıklı bağımlılık derecesinin küçük olmadığı durumlarda gözlemlenir (Hammonds ve diğ. 1994).

2.3.3. Belirsizlik Analizi için Analitik Yöntemler

Nispeten basit denklemler için istatistiksel hata dağılımı kullanılır ve bu dağılımlarda analitik yöntemler kullanılarak nicel bir belirsizlik analizi gerçekleştirilebilir. Basit denklemlerin belirsizlik analizinde en sık kullanılan analitik yaklaşım, varyans dağılımıdır (IAEA 1989; Martz ve Waller 1982; Morgan, Henrion, ve Small 1992). Basit bir eklemeli model, varyans dağılımına en iyi örnektir. Eklemeli bir model için, sonucun ortalama değeri, model parametrelerinin ortalama değerlerinin toplamına eşittir. Sonuçların varyansı, parametreler arası istatistiksel bağımsızlığı varsayarak, parametrelerin varyanslarının toplamına eşittir (IAEA 1989). Belirsiz parametrelerin dizi serilerinin toplamında, model parametrelerine atanan dağılımların şekilleri normalden farklı olsa bile, sonuç normal dağılıma uyum gösterecektir (Merkez Limit Teoremi). Bununla birlikte, EPA risk değerlendirme modellerinin temel formu, her kirlenici ve maruziyet yolu için çarpımsal bir parametre zinciridir. Çarpımsal modeller, değişkenlerin logaritmik ifadeleriyle eklemeli olarak indirgenebilir (Hammonds ve diğ. 1994).

2.3.4. Belirsizlik Analizi için Sayısal Yöntemler

Sayısal yöntemler belirsizlik analizinde, analitik varyans dağılım denklemleri ile karşılaşılan problemlerin üstesinden gelmek için faydalıdır. Bununla birlikte sıklıkla uygulanan sayısal teknik, Monte Carlo simülasyonudur (Rubinstein 1981). Diğer yaklaşımlar arasında belirsizliği tahmin etmek için parametrelere göre model sonucunun kısmi türevlerinin kullanıldığı diferansiyel belirsizlik analizi (Cacuci 1981; Worley 1987), karmaşık modellerin istatistiksel basitleştirilmesiyle Monte Carlo analizi (Downing, Gardner, ve Hoffman 1985; Mead ve Pike 1975), olasılık dışı yöntemler örneğin, bulanık kümeler ve olasılık teorisi (Ferson ve Kuhn 1992) ve Taylor açılımlarını kullanan birinci dereceden analiz (Scavia ve diğ. 1981) yer alır. Son yaklaşım, basit denklemler için hata dağılımına analitik çözümleri formüle etmek için kullanılan matematiksel yaklaşımların bilgisayar uygulamasına dayanır ve ilk yaklaşım ile ilgilidir. Monte Carlo analizi genellikle iki rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Bunlar Basit Rasgele Örnekleme (SRS) ve Latin

Hypercube Sampling (LHS)'tir (IAEA 1989; Iman ve Conover 1980; Iman ve Shortencarier 1984; McKay, Beckman, ve Conover 1979; Morgan ve diğ. 1992). SRS'de, her bir belirsiz model parametresi için belirtilen dağılımdan rastgele bir değer örneklenir ve istenen son nokta için tek bir değer hesaplanır. Bu işlem belirli sayıda örnek için tekrarlanır. Bununla birlikte, basit rastgele örnekleme (SRS), örnek büyüklüğü birkaç binden az olduğunda, LHS'den daha az verimlidir. Standart LHS'de, her bir parametre için dağılım eş olasılık bölümlerine ayrılır. Bölüm sayısı Monte Carlo simülasyonunda yapılacak iterasyon sayısına eşittir. Örnekleme sırasında, sayılar her bölüm içinden rasgele ve her bölümden sadece bir sayı olacak şekilde seçilir. Bir bölümden rasgele bir sayı seçildiğinde, bu bölüm analizin geri kalanından çıkarılır. Bu şekilde dağılımlar SRS'den daha verimli temsil edilir ve tahmin edilen son noktanın sabit bir ortalama ve varyansına ulaşmak için daha az örnekleme çabası gerektirir (IAEA 1989). Standart LHS'ye bir alternatif olarak, dağılımların daha düzgün bir örneklemesini sağlayan orta nokta LHS gösterilebilir (Morgan ve diğ. 1992). Bu teknikler arasındaki temel fark, LHS orta noktasının, bölüm içinde rastgele örnekleme yapmak yerine her bölümün medyanını seçmesidir.

Monte Carlo analizi birçok şekilde gerçekleştirilebilir. Bir sayısal kod yazılabilir veya mevcut birkaç yazılım paketinden biri kullanılabilir. Mevcut bazı Monte Carlo simülasyon programları arasında MOUSE, TAM3, PRISM, @RISK, ORMONTE, GENII/SUNS yer almaktadır. Belirsizlik analizi, araştırmalar için iyi bir yönlendirici araçtır ve rutin olarak kullanıldığı durumda gereksiz düzeltici eylemleri önleyebilir. Böylelikle zamandan ve maliyetten tasarruf edilir (Hammonds ve diğ. 1994).

Paydaşlar ve analizciler, kendilerine sağlanan analizlerdeki belirsizliğin nicelleştirilmesini giderek daha fazla savunmaktadır (örneğin, Hester ve Coleman 2014; Uusitalo ve diğ. 2015). Kaynak yönetimi ile ilgili kararları alma aşamasında çevresel modeller gittikçe daha fazla kullanılmaktadır, bu bağlamda modellerle yapılan tahminler belirsizlik analizine tabi tutulmasını gerektirmektedir. Ne yazık ki, karmaşık ve hesaplama açısından yoğun çevresel modellere (yeraltı suyu, yerüstü su kalitesi ve ekosistem modelleri gibi) belirsizlik analiz tekniklerinin uygulanması, çok sayıda model girdisinden dolayı zordur. Bu zorluk, gittikçe uzun çalışma süreleri gerektiren, daha karmaşık modellerin kullanılmasıyla artmaktadır. Bu durumda, hesaplamalı olarak takip edilebilen yöntemler gereklidir (Hill ve diğ. 2016). Modele ait belirsizliklerin geniş boyutlara etkili bir şekilde ölçeklendirilmesi için kullanılan teknik, Bayes doğrusal teorisi olarak da bilinen doğrusal temelli, birinci dereceden,

ikinci-moment (FOSM) belirsizlik analizleridir (Goldstein ve Wooff 2007). FOSM tabanlı analizlerin, çevresel modellemedeki başarılarıyla ilgili literatürde örnekler mevcuttur (Dausman ve diğ. 2010; Gallagher ve Doherty 2007; James, Doherty, ve Eddebarh 2009; Leaf ve diğ. 2015; Lu, Ye, ve Hill 2012; Moore ve Doherty 2005; S. ve diğ. 2005; White, Doherty, ve Hughes 2014). Bir tür FOSM tabanlı analiz gerçekleştiren mevcut yazılım araçları sırasıyla PEST (Welter ve diğ. 2015), PREDUNC ve PREDVAR yazılım paketleri (Doherty 2015), UCODE-2014 yazılım programı ve OPR-PPR (Tonkin ve diğ. 2007) yazılımıdır (Banta ve diğ. 2006). Bu araçların her biri FOSM'yi, statik olarak derlenmiş bir çalıştırılabilir (executable) dosya olarak sağlar. Bu, farklı girişlerle çalıştırılabilir programın tekrar tekrar çağırılması (call) gerektiğinden ve her bir çağırma işlemi çıktıların kullanıcısı tarafından kaydedilmesi / izlenmesi gerektiğinden, ön inceleme amaçlı çalışmalarda zaman açısından maliyetli olduğu için elverişli değildir. Ayrıca, burada sıralanan mevcut araçların her biri, parametre belirsizlik tahmini, öngörünün belirsizlik tahmini veya veri analizi gibi en çok iki veya üç hesaplamayı uygular. FOSM tabanlı analizlerin başka bir yararlı özelliği, modelden bağımsız olmalarıdır. Çünkü belirsizliğin sayısallaştırılması için bu teknikler, model parametrelerinin sadece gözlemlere ve tahminlere karşılık gelen model çıktılarına olan duyarlılığını göstermektedir. Bu nedenle, FOSM tabanlı analizler, bu analizlerin tahmin edilebileceği veya hesaplanabileceği herhangi bir bilgisayar modeline uygulanabilir (White, Fienen, ve Doherty 2016).

2.3.5. Parametre Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, matematiksel modellerde sistematik olarak parametrelerin (tekil veya çoklu) değiştirilmesinin model sonucuna olan etkisinin incelenmesidir. Duyarlılık analizi modellenen süreçler arasındaki etkileşimlerin incelenmesini destekler ve karmaşık hesaplardan oluşan modellerin özelliklerini anlamaya yardımcı olur. Sistem cevabını belirlemede önemli veya etkili olan faktörlerin araştırılmasında bir araçtır. Duyarlılık analizi, sayısal modellerin belirsizlik değerlendirmesi için kullanılır. Duyarlılık analizi belirsizlik analizine önemli bir katkı sağlarken, belirsizlik analizi genel belirsizliği ölçer. Böylece her iki analiz birlikte model için güvenilirlik değerlendirmesine katkıda bulunmaktadır (Scott 1996). Bazı yazarlar, belirsizlik analizinin modelin çıktısındaki belirsizliği ölçmeye odaklanmak olduğunu, duyarlılık

analizinin ise belirsizliklerin farklı belirsizlik kaynaklarına (girdi faktörleri gibi) paylaştırılmasına odaklandığını ileri sürmektedir.

Duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için öncelikle ilgili parametreler belirlenir daha sonra parametrelerin belirli bir aralıktaki değerleri için herbir parametreye bir olasılık dağılım fonksiyonu (o.d.f) tanımlanır, parametreler arasındaki bağımlılığı dikkate alarak tahmin edilen değerlerin o.d.f'sini oluşturmak için simülasyon boyunca belirsizlikler tanımlanır. O.d.f göz önüne alındığında, yaygın olarak kullanılan örnekleme yöntemleri vardır. Bunlar Basit Rasgele Örnekleme (SRS), (odf'den rasgele seçilen parametre değerleri) ve Latin Hiper Küp Örnekleme (LHS) olarak sıralanır. SRS basit, güvenilir ve analizi kolay ancak verimsizdir. LHS temel olarak katmanlı bir örnekleme prosedürüdür ve genellikle SRS'den daha verimlidir (Andres 1997; Iman ve Conover 1980). Duyarlılık analizinden elde edilen sonuçların analizi için çok sayıda yöntem vardır ve de yöntemlerin birçok kez karşılaştırması yapılmıştır (Hamby 1995; Iman ve Helton 1988; Saltelli ve Homma 1992). Yöntem ne olursa olsun, duyarlılık analizinin amacı değişen parametrelere modelin tepkisini araştırmaktır. Ancak, parametrik belirsizlik, belirsizliğin sadece bir kaynağını (ve belki de baskın kaynağı olmadığı durumu) yansıtmaktadır (Scott 1996).

2.3.6. Model Belirsizliği

Modelin geliştirilmesinde, modelci, fiziksel sistemin kusursuz bir tanımıyla çalışmalıdır. Modeldeki yapısal belirsizlik, kabul edilebilir bir model yapılandırmasının birçok farklı yolla gerçekleştirilebileceğini ve modelcinin modelin yapısına karar vermek için yargıda bulunması gerektiğinde yargıdan kaynaklanan belirsizlikten ortaya çıkmaktadır. Tek bir parametre ile karşılaştırıldığında model yapısındaki belirsizliği ölçmek daha zor olabilir. Modeller, içerdiği fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçler açısından farklılık gösterebilir, farklı durum değişkenlerine sahip olabilir veya farklı bir teorik yapı kullanılarak inşa edilmiş olabilirler. Bu nedenle, modellerin karmaşıklığı farklı olabilir. Bununla birlikte hepsi de geçerli olabilir ancak yine de farklı tepkiler gösterebilirler. Model yapısı hakkında belirsizliğin ölçülebilmesi ve standart bir duyarlılık analizine nasıl dahil edilebileceği konusu, ele alınması gereken önemli bir konudur. Yapısal belirsizlik, Bayezyan formülüyle sayısallaştırılabilir. Bununla birlikte, model tahminlerindeki değişkenlik, yapısal belirsizliğe dayanan belirsizliğin doğrudan bir ölçüsüdür (Scott 1996).

Çevre bilimlerindeki araştırmaların çoğu (niceliksel) modellerin geliştirilmesine

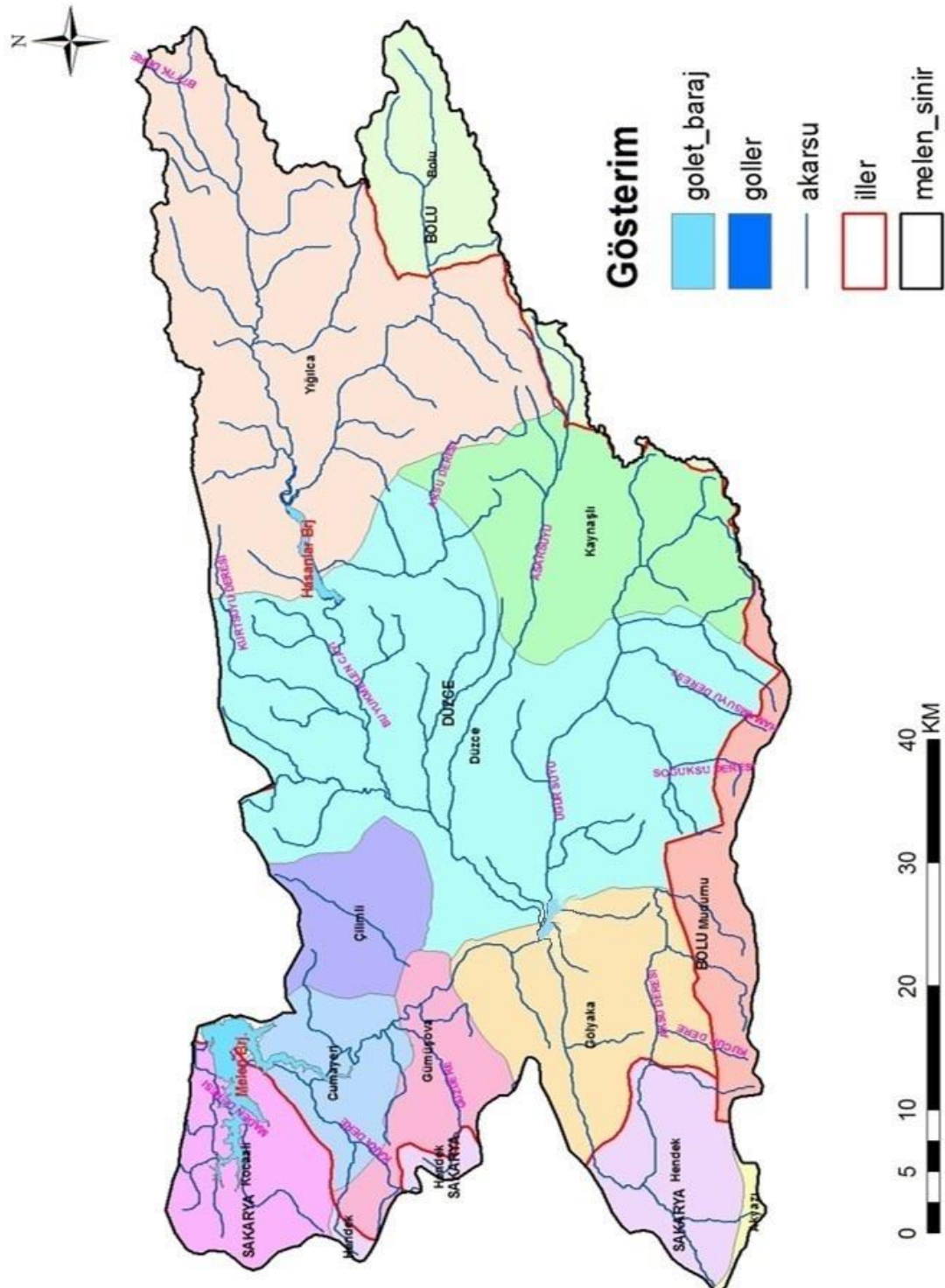
harcanmaktadır. Modeller fiziksel sistemlerin anlaşılmasına yardımcı olmak için kullanılır. Model kurmanın amacı genellikle iki yönlüdür ve ilk olarak, verileri analiz etmek için bir çerçeve oluşturmak, ikinci olarak da modele tanımlanan değişkenleri tahmin eden bir aracın geliştirilmesidir. Bir model, gerçek dünyanın basitleştirilmiş bir temsili olarak uygun bir şekilde tanımlanır. Bu basitleştirmeden kaynaklanan hatalar veya belirsizlikler ve modelin girdileri, model çıktısına dağılacaktır. Model çıktısındaki belirsizlikler, özellikle modelin tahmin amaçlı kullanıldığı durumlarda yüksek mertebede olabilir. Son yıllarda, çevresel modellemede hataların çıktılarına dağılımına dikkat edilmiş ve bu tür dağılımın ölçüsünü belirlemek amacıyla belirsizlik analizlerini gerçekleştirmekte çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Çevre bilimlerindeki bir diğer önemli konu, belirsizliğin ele alınması kadar zorlayıcı olan ölçeklendirmeyeyle ilgilidir. Çalışılan ve modeli oluşturulan süreçlerin çoğu, çeşitli mekânsal ve zamansal ölçeklerde yer almaktadır (Heuvelink 1998). Büyük ölçeklerdeki çevresel süreçler, daha küçük ölçeklerdeki süreçlerin sonucudur. Ancak bu süreçleri temsil eden modeller ölçekten ölçeğe önemli derecede değişebilir. Bunun üç nedeni vardır. İlk olarak, farklı süreçlerde farklı ölçekler hakimdir ve bu nedenle model gelişiminin sadeleştirme aşamasında farklı süreçler göz ardı edilir. İkinci olarak, girdi verileri genellikle daha büyük ölçeklerde yok veya düşük kalitededir, bu da daha geniş ölçekte daha basit, ampirik modelleri kullanma eğilimi ile sonuçlanır. Üçüncüsü, bir modelin girdileri ve çıktıları ölçeğin değişmesiyle değişir. Belirsizlik analizi, ölçek değiştirildiğinde, girdi ve model çıktısı arasındaki hata düzeyi oranının nasıl değiştiğini ve aynı zamanda bu oranın nasıl geri kazanılacağını gösterecektir (Heuvelink 1998).

3. ÇALIŞMA ALANI

3.1. Melen Havzası

3.1.1. Genel Bilgiler ve Coğrafi Durum

Melen Nehri Alt Havzası Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Batı Karadeniz Havzası'nda yer almaktadır ve alanı 2437 km²'dir. Bu havzada yerleşim yeri olarak Düzce İli merkezi ve ilçeleri Akçakoca İlçesi hariç tutulduğunda Melen Nehri Alt Havzası'nın %80'ini kapsamaktadır. Akçakoca İlçesi ise bu havzanın %3'ünü kapsamaktadır. Melen Havzası'nın konumu 41° 5' - 40° 40' kuzey enlemleri ve 30° 50' - 31° 40' doğu boylamları arasındadır. İdari yapısı, il, ilçe ve havza sınırları aşağıdaki Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



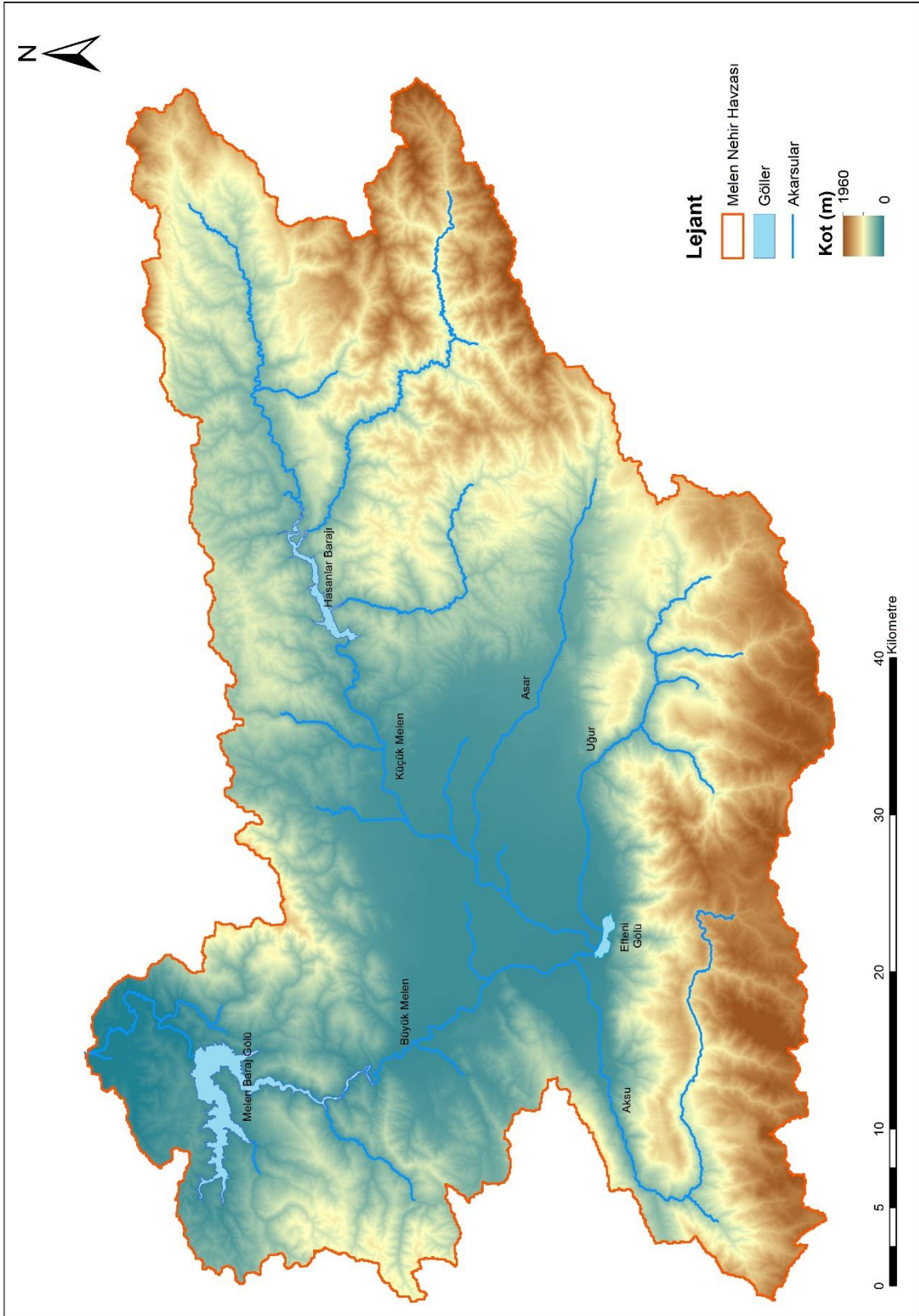
Şekil 3.1 : Melen Nehir Alt Havzası idari yapısı, il, ilçe ve havza sınırları

Melen Havzası'nın büyük bir kısmını Düzce İli oluştursa da Havza'nın geri kalan küçük bir bölümü Zonguldak, Sakarya ve Bolu İlleri'nin sınırları içinde kalmaktadır. Melen Havzası'nda Akçakoca hariç tutulduğunda Düzce İli ilçelerinin tamamı havza sınırının içindedir (OSIB 2015). Aşağıda Melen Nehir Havzası'nda bulunan illerin alansal dağılımı Çizelge 3.1 ile verilmektedir (TÜBİTAK MAM 2017).

Çizelge 3.1 : Melen Barajı Havzası'nda bulunan illerin havza içerisindeki alansal dağılımları

İl	İlin Toplam Alanı (km ²)	İlin Havzaya Giren Alan (km ²)	Havza Alanının İllere Göre Dağılımı (%)	İl Alanının Havzaya Giren Kısmı (%)
Bolu	8313	191	8	2
Düzce	2491	1888	81	76
Sakarya	4821	248	11	5

Dağlar, platolardan ve ovalar genel olarak havzada bulunan coğrafik oluşumlardır. Dağlık ve engebelik olan ve Düzce İli'nin yaklaşık %80'ine karşılık gelen 1950 km²'si, Karadeniz kıyı dağlarının batı tarafındadır. Batıdan doğuya ve kuzeyden güneye gidildikçe dağların yükseldiği görülür. Düzce İli'nin en yüksek noktası 1830 m yükseklikle Elmacık Dağı'ndaki Kardüz Yaylası'dır. Düzce fay hattı Elmacık Dağı'nın kuzeyinde yer alırken Kuzey Anadolu Fay Hattı yine bu dağın güneyinde yer almaktadır. Çiçekli, Şehirli Yayla, Torkul, Kocayayla, Kütüklü, Topuk, Odayeri, Derinoba, Mantarlı, Kelik, Oflu, Pakı, Kardüz, Abaza Yayla, Eğreltilik, Pürenli ve Sakarca başlıca yaylalardır. Bu yaylalardan turizm bölgesi olma potansiyeline sahip olan Topuk, Odayeri, Kardüz ve Torkul Platoları'dır (OSIB 2015; Tavşan 2008). Aşağıda Melen Havzası'nın coğrafi haritası Şekil 3.2 ile gösterilmiştir (TÜBİTAK MAM 2017).



Şekil 3.2 : Melen Barajı Havzası coğrafi haritası

3.1.2. İklim-Meteoroloji

Marmara Bölgesi'nde gözlenen Akdeniz İklimi ile Karadeniz İklimi arasında geçiş özelliği gösteren Düzce İli'nin iklimi aynı zamanda Melen Havzası'nda etkilidir. Kışları soğuk veya ılık geçebilirken yazları sıcak geçer. Aynı iklim tipinin hakim olduğu havzanın bazı bölümlerinde farklı iklim özelliklerinin ortaya çıkması yükseltilerden ve yüzey şekillerinden kaynaklanmaktadır. Bu duruma örnek olarak Düzce, Akçakoca ve Yığılca ilçelerinin farklı iklim özellikleri verilebilir. Bölgedeki yoğun yağışın sebebi Karadeniz kıyısında yer alan Düzce İli'nin, denizden (kuzeyden) gelen nemin çok yüksek olmayan ve kıyı boyunca uzanan dağlar tarafından engellenemiyor olmasıdır (Tavşan 2008; TÜBİTAK MAM 2017).

Düzce İstasyonu (İstasyon No: 17072) Melen Havzası'ndaki tek aktif olan meteoroloji istasyonudur. Daha önce aktif olan istasyonlar (Gümüşova, Bakacak ve Darıyeri Hasanbey) mevcut durumda kapalı konumdadır. Melen Havzası'nda aktif olan meteorolojik istasyonlara ait özet bilgiler Çizelge 3.2 ile verilmiştir (TÜBİTAK MAM 2017).

Çizelge 3.2 : Melen Barajı Havzası'nda değerlendirilen Meteorolojik Gözlem İstasyonları

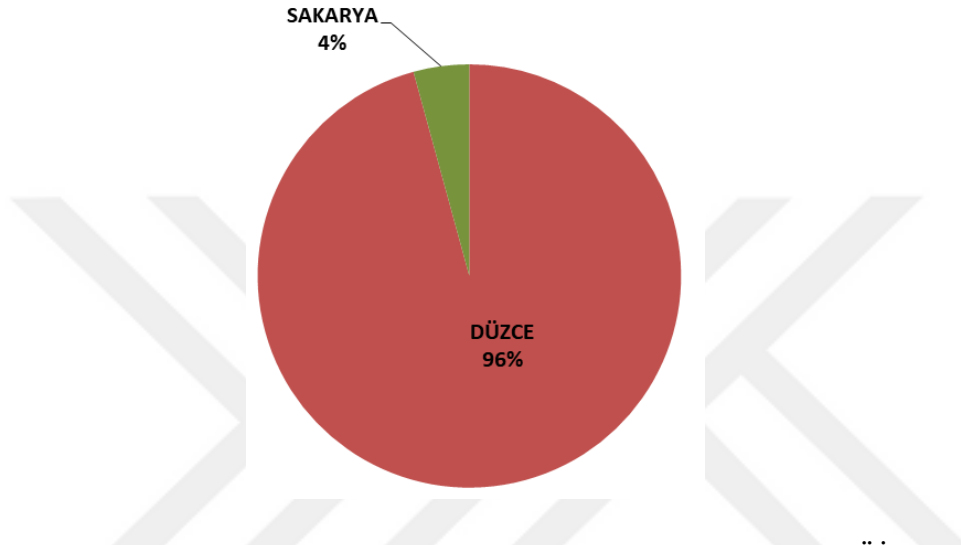
İstasyon Adı	İstasyon No	Rakım	Enlem	Boylam	Gözlem Süresi
Düzce	17072	146	40	31	1970-2015
Akçakoca	17015	41	31	10	1970-2015
Sakarya	17069	40	30	31	1960-2015
Karasu	17644	41	30	4	2007-2015

Havzada hava kirliliğinin özellikle kış aylarında olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi havzanın etrafı dağlarla çevrili olduğundan dolayı rüzgar süresinin ve hızının kısa süreli olmasıdır. Kış aylarında ısınma amaçlı yakıt kullanımındaki artışla motorlu taşıtların ve sanayinin oluşturduğu hava kirliliğiyle birleştiğinde sirkülasyonun da az olması sebebiyle, kirleticilerin alçak bölgelerde yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca kirliliğin alçak bölgelerdeki soğuk hava tabakasında birikmesinin sebebi olarak

havanın düşey olarak birbiriyle karışmadığı, sıcak havanın soğuk hava üzerinde bulunduğu (enverziyon), durum ile bağdaşmaktadır (TÜBİTAK MAM 2017).

3.1.3. Nüfus

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2015 Nüfus sayım sonuçlarına göre, havzanın kentsel nüfusu 213.415 kişi (toplam havza nüfusuna oranı %64) ve kırsal nüfusu 113.731 kişi (toplam havza nüfusuna oranı %36) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.3 : Melen Barajı Havzası'nda yer alan illerin nüfus dağılımı (TÜİK, 2015)

Melen Havzası'ndaki illerin nüfus dağılımı Şekil 3.3 ile gösterilirken Havzadaki ilçe ve köy nüfuslarına ait bilgiler Çizelge 3.3 ile verilmiştir (TÜBİTAK MAM 2017).

Çizelge 3.3 : Melen Barajı Havzası'nda yer alan ilçe ve köy nüfusları

İL	İLÇE	Havzaya Giren Şehir Nüfusu	Toplam Şehir Nüfusu	Havzaya Giren Köy Nüfusu	Toplam Köy Nüfusu	Havzaya Giren Şehir + Köy Nüfusu	Toplam Şehir+Köy Nüfusu	Havza Nüfusunun İlçelere göre Dağılımı	İlçe Nüfusunun Havzaya Giren Kısımı
Düzce	Merkez İlçe	153.504	153.504	58.044	66.029	211.548	219.533	65	96
	Çilimli	8.575	8.575	9.811	10.259	18.386	18.834	6	98
	Cumayeri	8.954	8.954	4.499	4.499	13.453	13.453	4	100
	Gölyaka	9.433	9.433	10.724	10.724	20.157	20.157	6	100
	Gümüşova	6.761	6.761	7.505	7.957	14.266	14.718	4	97
	Kaynaşlı	9.711	9.711	10.839	10.839	20.550	20.550	6	100
	Yığılca	3.220	3.220	12.309	12.353	15.529	15.573	5	100
Sakarya	Hendek	3.299	78.179	0	0	3.299	78.179	1	4
	Kocaali	9.958	21.050	0	0	9.958	21.050	3	47
Toplam		213.415		113.731		327.146			

Bununla birlikte havzadaki toplam nüfus 327.146 kişi olarak belirlenmiştir ve toplam kentsel nüfus havza nüfusunun %64'ü iken kırsal nüfus %36'dır.

3.1.4. Arazi Kullanımı

Melen Havzası'nın %51'lik kısmını orman ve yarı doğal alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlar çoğunlukla havzanın güneyinde ve doğusunda bulunan dağlık alanlara doğru yer almaktadır. Havzadaki arazi kullanımının %45'ini tarımsal alanlar oluşturmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin önemli bir kısmı Düzce Ovası'nda yapılmaktadır. Bunun dışında Sakarya'nın Havzaya giren kısımları, inşaatı süre Melen Barajı civarında da tarım faaliyetleri gözlenmektedir. Havzadaki yapay alanlar, toplam arazi kullanımının %3'ünü oluşturmaktadır. Bu değer genel olarak havza sınırları içerisinde yer alan 7 ilçe merkezinde yer alan yapılaşmaya karşılık gelmektedir. Havzadaki yapay alan dağılımı, nüfusa bağlı olarak Düzce Merkez'de daha fazla gözlenmektedir (TÜBİTAK MAM 2017). Melen Nehri Alt Havzası için arazi kullanım bilgileri şekil 3.4'te gösterilmektedir (OSIB 2015).

MELEN HAVZASI ARAZI KULLANIM HARİTASI

Legend

SEMBOL

ÇAYIR

DİĞER

DİKİLİ DİĞER

DİKİLİ FİNDİK

DİKİLİ MEYVE

KURU MUTLAK TARIM

KURU MARJİNAL TARIM

MERA

ORMAN

SULU MUTLAK TARIM

SULU MARJİNAL TARIM

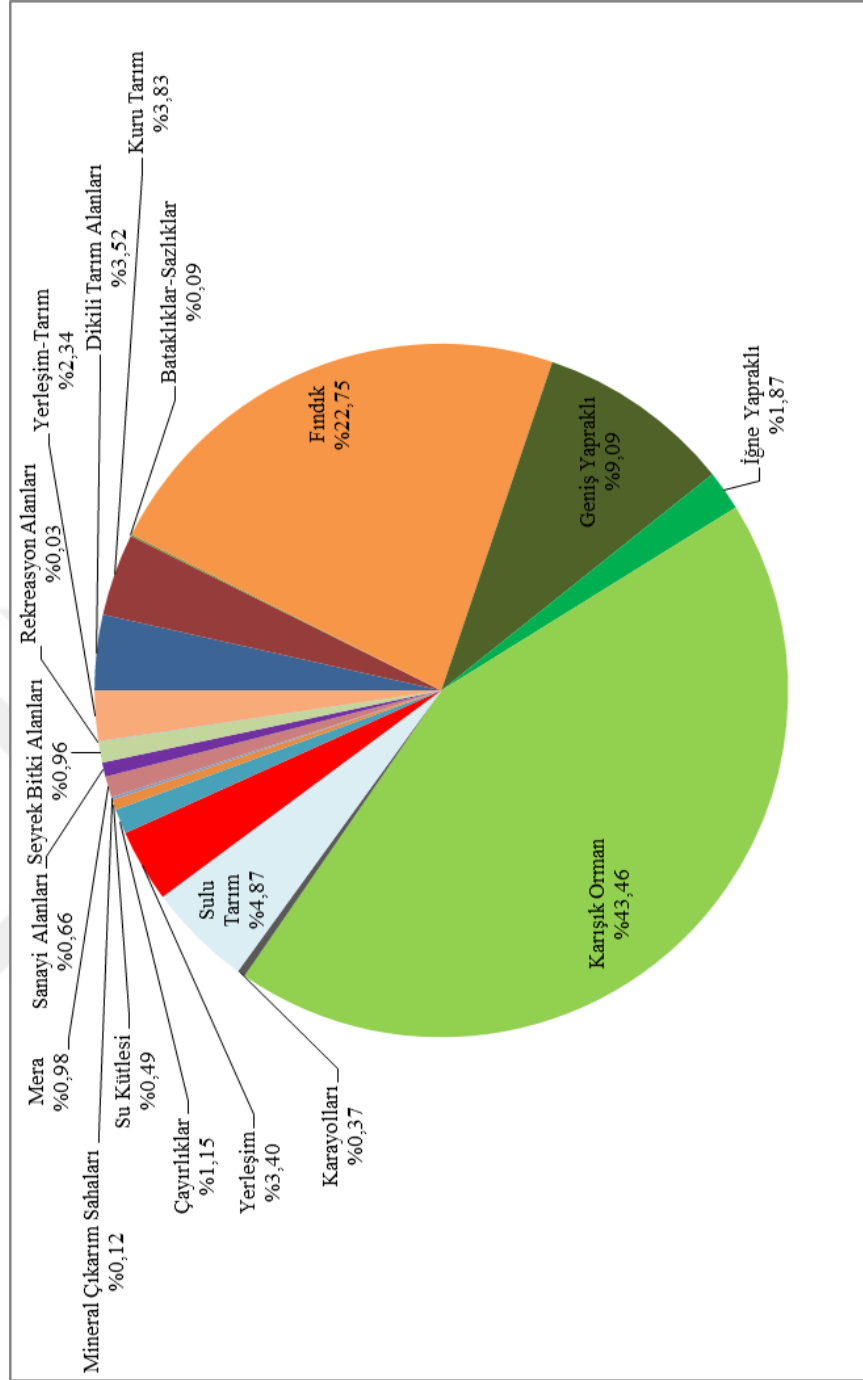
DİĞER ALANLAR

YERLEŞİM

1:350.000

N

Şekil 3.4 : Melen Nehri alt havzası arazi kullanım haritası



Şekil 3.5 : Güncel arazi kullanım grafiği - STATİP 2017

İnşaatı devam eden Melen Barajı etrafında yer alan Gümüşova, Kocaali, Çilimli ve Cumayeri İlçelerinin çevresindeki ormanlık alanların 1990 ve 2000 yıllarına ait Arazi Örtüsü Haritalarına ve 2006 ve 2012 yılına ait haritalarına bakıldığında büyük oranda tarım alanlarına dönüştüğü görülmüştür. Bu çalışmalar STATİP-2017 verileri ile yapılmış olup STATİP verisi Düzce İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Tarım alanlarının çoğunda fındık ekimi tercih edildiği görülmüş ve Havza'nın %43,46'sında karışık ormanlar hakimken %22,75'ini fındıklıklar oluşturur.

Aşağıda Çizelge 3.4’te (TÜBİTAK MAM 2017) arazi kullanımı dağılımı ve bunlara karşılık gelen yüzdeleri, yukarıda Şekil 3.5’da ise güncel arazi kullanım grafiği verilmiştir (TÜBİTAK MAM 2017).

Çizelge 3.4 : Güncel arazi kullanımı dağılımı ve yüzde değerleri – STATİP 2017

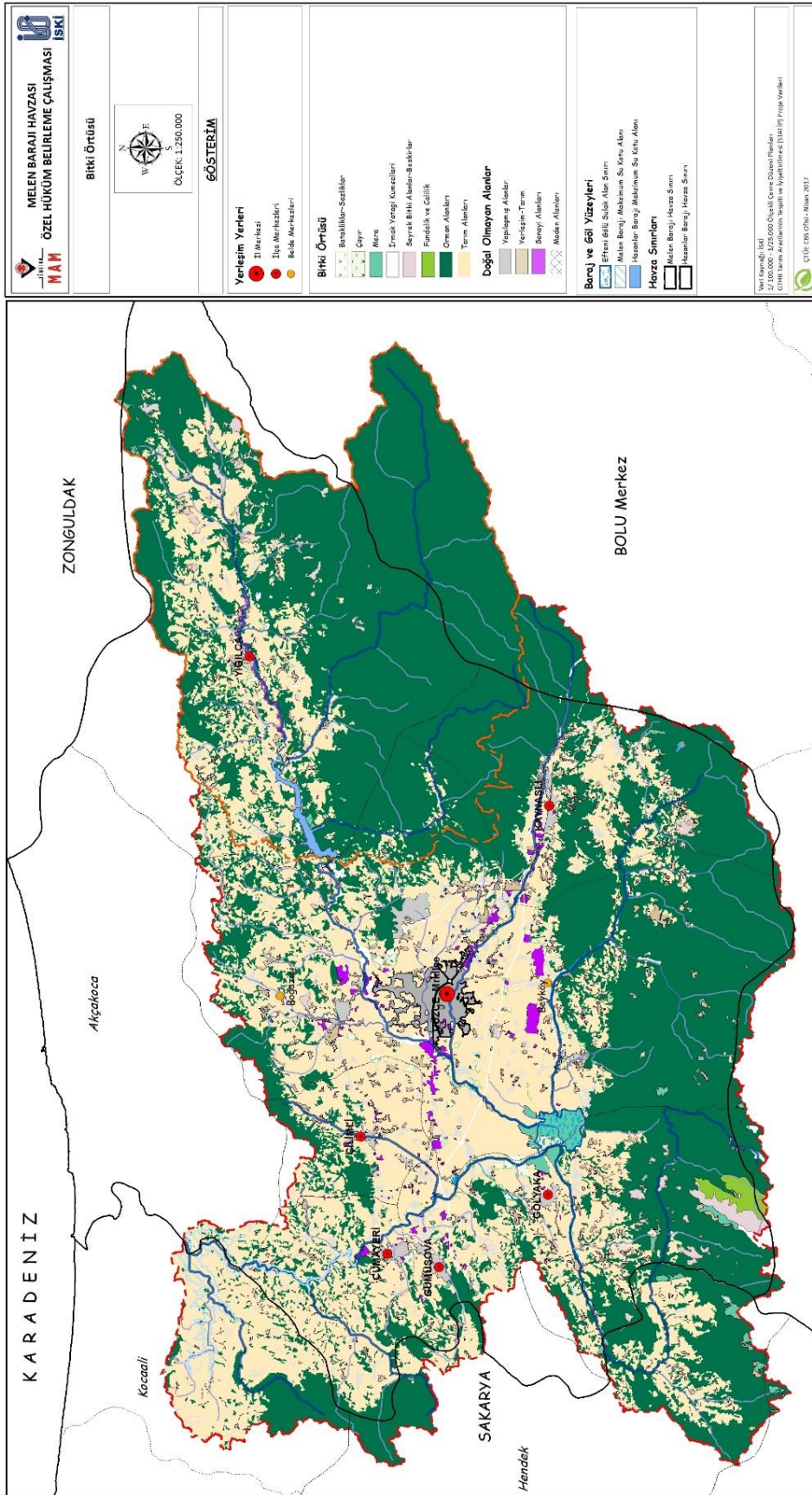
2017	Yüzölçümü (ha)	%
Dikili Tarım	8199,63	3,52
Kuru Tarım	8919,94	3,83
Bataklıklar-Sazlıklar	199,63	0,09
Fındık	52981,97	22,75
Geniş Yapraklı	21180,27	9,09
İğne Yapraklı	4348,40	1,87
Karışık Orman	101222,56	43,46
Karayolları	854,20	0,37
Sulu Tarım	11349,23	4,87
Yerleşim	7927,04	3,4
Çayırliklar	2687,89	1,15
Su Kütlesi	1142,50	0,49
Mineral Çıkarım Sahaları	275,83	0,12
Mera	2288,09	0,98
Sanayi Alanları	1545,75	0,66
Seyrek Bitki Alanları	2243,54	0,96
Rekreasyon Alanları	75,99	0,03
Yerleşim-Tarım	5455,78	2,34

3.1.5. Bitki Örtüsü

Düzce İli’ndeki çeşitli ve zengin doğal bitki örtüsü özellikleri aynı zamanda Karadeniz Bölgesi’nin bitki örtüsünün karakteristik bir özelliğidir. Bu bölgedeki hareketli coğrafi yapı bitki örtüsünün çeşitliliğine sebep olmuştur. Dar bir şerit halinde kıyı kesimlerinde makiler bulunur. Bu tür bitkiler yıl boyunca yeşilliğini korumakla birlikte bu alanda bulunan başlıca türler çeşitli fundalar, sarmaşık, katran ağacı, taflan kızılçık, tespih ve sumaktır. Bu şeride yakın bazı bölgelerde ayrıca orman ağaçlarının da bulunduğu gözlenebilir. Kıyı şeridinden iç bölgelere gidildikçe sıradağlar başlar ve

buralar aynı zamanda sık ormanların başladığı kısımdır. Kayın bu orman örtüsünün baskın türüdür. Ayrıca kestane türleri, meşe, ıhlamur, adi kızılâğaç, gürgen, dişbudak, titrek kavak ve yabani fındık bu bölgede bulunan diğer ağaç türleridir. Bölgenin doğu tarafındaki dağlık arazide iğne yapraklı ağaçlara daha sık rastlanır. Bu tür yüksek kesimlerde (600 m'den sonra) orman ağaçları arasında baskın tür olmaya başlar (Tavşan 2008). Aşağıda Şekil 3.6 (TÜBİTAK MAM 2017) ile Melen Baraj Havzası'nın bitki ürün denseni haritası verilmiştir.

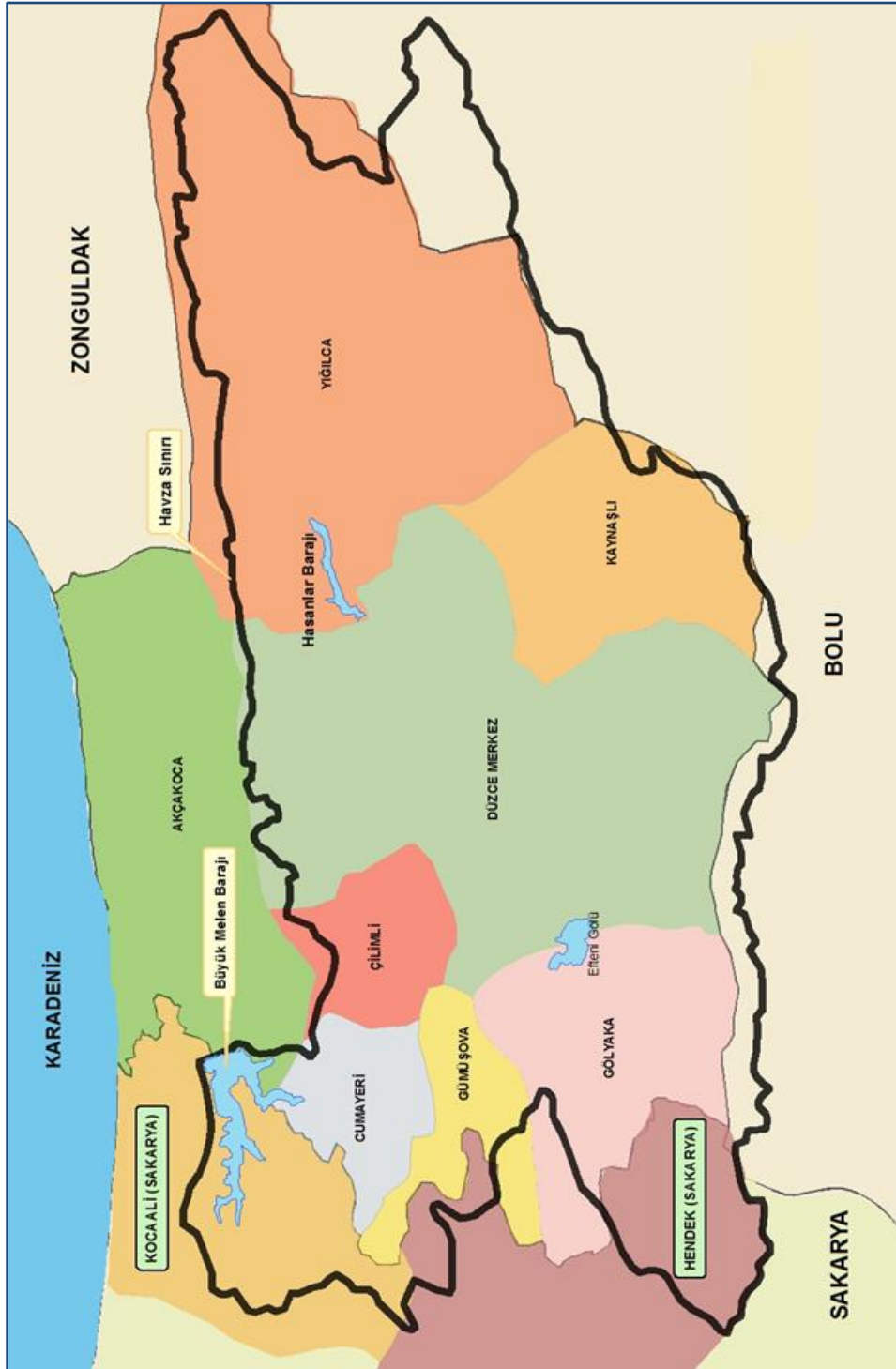




Şekil 3.6 : Melen Barajı Havzası bitki ürün deseni haritası

3.1.6. Su Kaynakları

Akarsular, dereler, Efteni Gölü ve bir baraj gölü (Hasanlar Baraj Gölü) Melen Nehri Alt Havzası'nın yerüstü su kaynaklarını oluşturmaktadır. Ayrıca yapım aşamasında olan Melen Baraj Gölü ilerleyen zamanlarda bir su kaynağı olarak dahil edilebilir durumda olacaktır. Bu su kaynakları Küçük Melen Nehri, Kocasu Deresi, Hasanlar Baraj Gölü, Asar Deresi, Uğur Deresi, Aksu Deresi, Efteni Gölü, Büyük Melen Nehri, Lahana Deresi'dir. İnşaatı devam eden Melen Barajı, Büyük Melen Nehri ve Lahana Deresi'nin Karadeniz'e dökülmeden önce birleştiği bölgenin mansabında yer alır ve tamamlandığı durumda Melen Havzası'nın ikinci baraj gölü olacaktır. Aşağıda Şekil 3.7'te Melen Havza sınırları gösterilirken Melen Baraj Gölü'ne ve Havzaya ait özet hidrolojik özellikler Çizelge 3.5'da (TÜBİTAK MAM 2017) verilmiştir (OSIB 2015).



Şekil 3.7: Melen Barajı Havza Sınırları ve idari yapısı

Çizelge 3.5 : Büyük Melen Barajı hidrolojik özellikleri

Parametre	Değer
Yıllık ortalama yağış	950 mm

Çizelge 3.5 (devam) : Büyük Melen Barajı hidrolojik özellikleri

Parametre	Değer
Yıllık buharlaşma	796,60 mm/yıl
Yıllık ortalama sıcaklık	12,8 °C
Aks yeri drenaj alanı	2317
Aks yeri yıllık ortalama akım	1599,42 hm ³ /yıl
Regüle edilen akım	1077,27 hm ³ /yıl
Regülasyon oranı	%67

Büyük ve zengin bir yeraltı suyu rezervine sahip Melen Nehri Alt Havzası aynı zamanda yerüstü su kaynakları bakımından da zengindir ve havzanın yerüstü su kaynakları potansiyeli yaklaşık 1.6 milyar m³/yıldır (DSİ 2008). Geniş bir yayılım alanına sahip olan Düzce Ovası alüvyonu toplam 200 m'nin üzerindeki alüvyon kalınlığıyla havzanın en önemli akiferidir. Basınçlı akifer alanları üstteki serbest akiferin altında yer almaktadır. Havzanın yer altı suyu işletme rezervi 120 hm³/yıl olarak belirlenmiştir (OSIB 2015).

3.1.7. Tarım ve Hayvancılık

Toplam arazinin %15'si I, II. ve III. sınıf arazi tarıma elverişli alan olarak tanımlanmış olup Düzce İli'nde I. Sınıf tarım arazisi küçük bir yer kaplamaktadır. Düzce Ovası Merkez İlçesi bölgenin önemli ve alan bakımından en büyük tarıma elverişli alanlarına sahiptir. Ayrıca Gölyaka, Gümüşova ve Çilimli ilçeleri de bölgenin tarıma elverişli alanlar arasında sıralanabilir. Meyve üretiminde fındık bahçeleri büyük yer kaplamakla birlikte meyve üretimi için ekili alanların %60'ı bunun için kullanılmaktadır. Mısır ve buğday gibi tahıl grupları da ekimi yapılan ürünlerdir. Diğer önemli sayılabilecek ürünler ise şeker pancarı, şeker ve patatestir.

Kümes hayvanları, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığına göre Düzce'de önemli bir paya sahip olan yetiştiriciliktir. Düzce'nin hemen hemen tüm ilçelerinde sığır, manda, koyun, keçi ve tavuk yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ticaret maksatlı yapılan kümes hayvancılığı canlı kümes hayvanı olarak Bolu, Zonguldak ve Sakarya gibi illere pazarlanmaktadır.

Havzaya gelen yayılı kirletici kaynakları arasında, hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerinin gerçekleştirildiği otlaklar, meralar (%25,7), tarım alanları (%17,6) ve ormanlar (%51,9) yer alırken bunlar havzadaki zirai amaçlardan ve arazi kullanımından kaynaklanan kirliliklerdir.

Gölyaka İlçesi'nde iki büyük besi çiftliğinde toplam 2500 büyükbaş hayvan yetiştiriciliği yapılmaktadır. Buradaki hayvansal atıklar tekrar buradaki tarım arazilerinde gübre olarak değerlendirilmektedir.

Düzce ve ilçelerinde çok sayıda tavuk çiftliği bulunmaktadır. Her ne kadar tavuk atıkları gübre olarak tarım alanlarında değerlendirilmeye çalışılsa da üretilen gübrenin fazla olması çevresel sorunlara sebep olmaktadır.

Düzce bölgesindeki arazinin hemen altında bulunan yer altı suyu rezervleri burada üretilen tavuk gübrelerinin tehlikesi altında olduğu gözlemlenmiştir.

Arazide gübre olarak kullanılan tavuk atıklarının uygulamasında çevresel sorunlarla karşılaşıldığı gözlenmiştir. Bu alanlarda görüntü kirliliği, koku ve sinekler tespit edilmiştir. Bununla birlikte yağışın da etkisiyle tarım alanlarına uygulanan gübrelerle taşınan kirleticilerin yüzey ve yeraltı sularına taşınabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Havzada noktasal baskılarla birlikte yayılı baskılar da önemli bir unsurdur. Yayılı baskıların daha etkili olduğu bölgeler yoğun tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yapıldığı Yığılca, Beyköy, Gölyaka, Aydınpınar ilçe ve beldeleridir.

Tarımsal kaynaklı problemler uygunsuz gübreleme, tarım arazilerine yakın olan su kaynaklarının bulunması, bilinçsiz sulu tarım uygulamalarıdır. Özellikle bilinçsiz gübreleme ile yeraltı sularında nitrat, toprakta ise fosforlu bileşiklerin birikmesi söz konusudur. Bu da canlıları olumsuz etkileyen sorunlardır.

Havzadaki bir diğer problem ise yer altı su seviyesinin yüksek olması sebebiyle de su ortamına sızma riski bulunan zirai ilaçlardır.

Bu bağlamda;

Gübrelemenin çevresel sorunlara sebebiyet vermemesi için gübrelerin fermente edildikten sonra uygulanması gerekmektedir.

Besi çiftliklerinden kaynaklanan yayılı kirleticilerin engellenmesi veya azaltılması için bu alanların üstü kapalı ve altı sızdırmaz olması gerekmektedir (OSIB 2015).

Ayrıca 2015 yılına ait Düzce İli'ndeki mevcut büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlara ait bilgiler Çizelge 3.6'de aşağıda verilmiştir (TÜBİTAK MAM 2017).

Çizelge 3.6 : Düzce ili 2015 yılı büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan varlığı ve işletme varlığı

İLÇE	Büyükbaş Hayvan Sayısı (Adet)	Büyükbaş İşletme Varlığı	Küçükbaş Hayvan Sayısı (Adet)	Küçükbaş İşletme Varlığı	Kanatlı Hayvan Sayısı (Adet)	Broiler (Etlik Piliç) İşletme Sayısı
Düzce Merkez	22.073	6.054	4.700	105	3749960	116
Cumayeri	2.803	1.057	20	1	230503	9
Çilimli	4.562	986	450	18	448560	25
Gölyaka	6.916	1.302	4.235	58	189032	15
Gümüşova	3.695	766	1.104	22	300460	10
Kaynaşlı	3.200	1.134	600	12	194620	16
Yığılca	5.619	2.712	2.349	30	1061100	76
Toplam	48.868	14.011	13.458	246	6.174.235	267

3.1.8. Sanayi

Düzce OSB (51 adet tesis) ve Düzce II OSB (11 adet tesis) Melen Nehri Alt Havzası'ndaki 2 adet organize sanayi bölgesidir. Bölgede tekil sanayi olarak plastik profil tesisi, gıda tesisi, alüminyum işleme tesisi, maya üretim tesisi, halı sanayi ve taş ocağı madencilik tesisi yer almaktadır. Havzadaki Sanayi Sicil Belgesine Sahip Firmaların adedi ve çalışan sayısı Çizelge 3.7 (TÜBİTAK MAM 2017) ile verilirken, nispeten daha büyük ölçekli olanlar Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da (OSIB 2015), OSB'lere ait bilgilerle aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Havzada Bulunan İlçelere göre Sanayi Sicil Belgesine Sahip Firmaların adedi ve çalışan sayısı

İLÇE ADI	FİRMA ADEDİ	ÇALIŞAN
MERKEZ	318	15.253
I.OSB	51	5.570
II.OSB	8	1.037
Gümüşova OSB	17	1.255
BEYKÖY	9	135
GÜMÜŞOVA	46	1.394
ÇİLİMLİ	33	2.534

Çizelge 3.7 (devam) : Havzada Bulunan İlçelere göre Sanayi Sicil Belgesine Sahip**Firmaların adedi ve çalışan sayısı**

İLÇE ADI	FİRMA ADEDİ	ÇALIŞAN
KAYNAŞLI	62	1.796
CUMAYERİ	16	675
GÖLYAKA	20	1.141
YİĞİLCA	10	160
BOĞAZIÇI	3	28
TOPLAM	593	30.978

Endüstriler genellikle su ihtiyaçlarını kendi alanlarındaki mevcut su kuyularından karşılamaktadır. Hem OSB’lerde hem de tekil endüstrilerde endüstriyel amaçlı su tüketim verilerine ulaşılamamaktadır. 2024 yılında tam kapasiteye ulaşılacağı tahmin edilen OSB’lerin su tüketimi 30000 m³/gün ve tekil endüstrilerin gelecekte de sabit kalacağı ve 10178 m³/gün olacağı öngörülmektedir.

Çizelge 3.8 : Melen Nehri Alt Havzası Büyük Ölçekli Tekil Sanayi Durumu

Sanayi Tesisi	Sektörü	İlçesi	Deşarj Yeri	Arıtma Durumu
AS Madencilik	Kalker taşı (agrega) (SKKY 10.6)	Yığılca	Deşarj yok. Bütün su geri kullanılıyor.	Birincil (Fiziksel çöktürme ile).
Confetti Halı Sanayi	Halı İmalatı	Gümüşova	İnce Dere, Büyük Melen Çayı	İkincil (Oksidasyon Havuzu) Deşarj izni Melen Projesi’nden dolayı bekletiliyor.
Gibor Alfa Çorap Tekstil San. Tic. A.Ş.	Tekstil (SKKY 10.5)	Çilimli	Deşarj taşıma ile Düzce AAT’ye veriliyor.	İkincil (Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur)
Pak Gıda Üretim ve A.Ş. Pazarlama	Yaş Maya ve İstant (kuru) Maya	Cumayeri	Büyük Melen Çayı	İleri Biyolojik (Anerobik+Aerobik +BNR)
Standart Profil	Araç Fitali	Merkez-Konuralp	Küçük Melen Çayı DSI kanalı	İkincil (Uzun havalandırmalı aktif çamur)
Uluslu Alüminyum San. Tic. A.Ş.	Alüminyum Profil (SKKY 15.7)		Tamamı geri kazanılıyor	Birincil (Fiziksel çöktürme)

Çizelge 3.9 : Melen Nehri Alt Havzası OSB Bilgileri

OSB Adı	Sektörü	Alanı	İlçesi	Deşarj Yeri	Atıksu	
					Arıtma Durumu	Katı Atık Bertarafı
Düzce OSB	metal, mobilya imalatı, tekstil, gıda, makine, otomotiv, orman ürünleri	1.730.000 m ²	Beyköy	Düzce AAT-Küçük Melen Çayı	Ön Arıtma	Firmaların tekil girişimleri ile lisanslı taşıma ve bertaraf hizmetleri veren firmalarca sağlanmaktadır.
Düzce II OSB	cam, alüminyum, ısıtma-soğutma, mobilya, otomotiv, klima	810.000 m ²	Düzce-Merkez	Düzce AAT-Küçük Melen Çayı	Ön Arıtma	Firmaların tekil girişimleri ile lisanslı taşıma ve bertaraf hizmetleri veren firmalarca sağlanmaktadır.

3.2. Melen Baraj Gölü

Dünyanın sayılı metropoller arasında sayılan İstanbul şehrinin artan nüfusu ve buna paralel olarak artan içme, kullanma suyu ve endüstriyel su ihtiyacını karşılamak için halihazırda hizmete sunulan Avrupa ve Asya yakasındaki çeşitli barajların inşaatı yapılmış ve Melen Barajı'nın inşaatına başlanmıştır. Melen Regülatörü'nün 2007 yılında hizmete açılmasıyla 2006 yılında İstanbul iline verilen su 1025,4 hm³/yıl iken 2007 yılından itibaren bu değer 1293,4 hm³/yıl değerine çekilmiştir.

Diğer su ihtiyaçlarının dikkate alınmamasının ve hesaplara dahil edilmemesinin sebebi Melen Barajı'nın İçme ve Kullanma Suyu amaçlı bir proje olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte mansap şartları veya çevresel akış için baraj mansabına devamlı olarak 2,25 m³/s su bırakılması düşünülmektedir.

Melen Barajı, Melen Nehri üzerine kurulmasının yanında gereksinimlere paralel olarak İstanbul iline 3 kademede su sağlanacaktır. İstanbul İli'ne I. kademede 536 hm³/yıl (268 + 268 hm³/yıl), II. kademede 804 hm³/yıl ve son durumda ise 1077,27 hm³/yıl su verilecektir.

Hidrolojik çalışmalarda Melen Barajı için 46,34 hm³ sediment hacmindeki minimum su seviyesi 37,0 m ve minimum işletme su seviyesi 55,0 m olacağı tahmin edilmiştir. Normal ve maksimum su seviyesi 110 m olan Melen Barajı, kapaklı dolusavak yapısına sahiptir. 110 m maksimum su kotu, Düzce Ovası'nın kotu olması sebebiyle bu yönde belirlenmiştir. 689,10 hm³'lük maksimum hacim maksimum su seviyesine karşılık gelen değerdir.

Aralarında yer alan ve CE-QUAL-W2 modeline de doğrudan girilen detaylı baraj işletme bilgileri aşağıda Çizelge 3.10’de (TÜBİTAK MAM 2017) sıralanmıştır.

Çizelge 3.10 : Melen sistemi Tesisleri, Kapasiteleri ve Aşamaları

Melen Sistemi	İşletmeye açılma yılı	Verilen su (hm ³ /yıl)	Su alma/Depolama Tesisi	Bou hatları çapı (mm)	Pompa istasyonları kapasitesi (m ³ /s)	Arıtma Tesisi Kapasitesi m ³ /gün
I.Aşama	2007	268	Melen Regülatörü	2540	8,5	720000
II.Aşama	2014	268	Melen Barajı	3000	8,5	750000
III.Aşama	2022	268	-	3000	8,5	750000
IV.Aşama	2032	273	-	-	8,66	750000
Toplam		1077			34,16	2970000

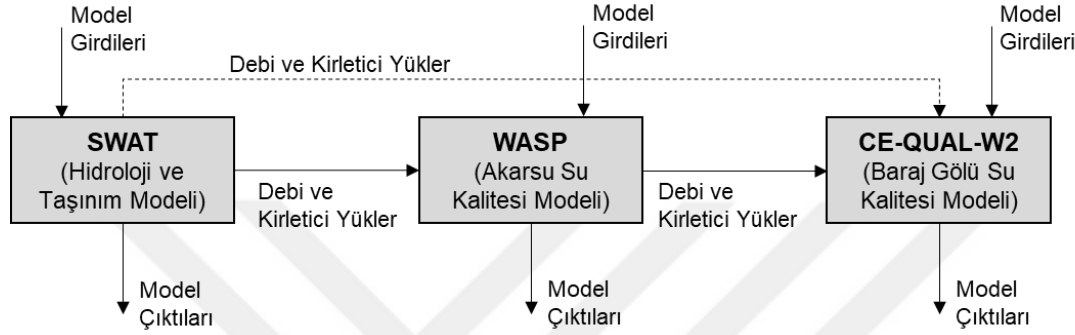
4. MATERYAL VE METOT

Su yönetiminde kapsamlı bir şekilde süreçlerin tanımlanması doğru karar almak için önemlidir. Bu sebeple yukarı havzalarda ve daha büyük su kütlelerinde eş zamanlı olarak farklı hidrodinamik ve su kalitesi değişkenlerini simüle etme kapasitesine sahip olan tek bir modelin mevcut olmadığı göz önüne alındığında, her bir durum için modellerin birbirine bağlanması vazgeçilmezdir. Bu durumda, uygun bir model kullanarak yukarı havza hidrolojik ve su kalitesi değişkenlerini simüle etmemizi ve modelden zaman serisi çıktıları daha büyük su kütlesi için uygun bir hidrodinamik ve su kalitesi modeline girdi olarak kullanılması gerekmektedir. Bu düzenleme her modelin en iyi özelliklerini kullanır ve her bir görev için uygun modeller seçildiğinde iyi yönetim kararları alınmasını sağlayabilir.

Modellerin bağlantısı ayrıca yukarı havzadaki kirleticilerin mekansal kaynaklarının belirlenmesine yardımcı olabilir, böylece aşağı akışlı su kütlesindeki sorunları ele almak için uygun yönetim kararları alınabilir. Hem SWAT hem de CE-QUAL-W2 iyi kurulmuş ve doğrulanmış halka açık modellerdir. Bu nedenle, hem yukarı havzadaki hem de aşağı akışlı su kütlesindeki su ve bileşenlerinin hareketlerini, etkileşimlerini ve dönüşümlerini daha iyi anlamak için iki güçlü hidrolojik ve su kalitesi modeli (SWAT ve CE-QUAL-W2) entegre edilebilir (Debele ve diğ. 2006).

Melen Barajı Gölü'nün simülasyonunu yapmak için birkaç model birbirine bağlanmıştır. Bu sebeple 1 hidrolojik model ve 2 su kalitesi modeli Melen Barajı Özel Hüküm Belirleme Çalışması kapsamında kullanılmıştır (Gürel ve diğ. 2018). Melen Nehir Havzası için Texas A&M Üniversitesi Sistemi'nin bir parçası olan Texas A&M AgriLife Research ve USDA Tarımsal Araştırma Servisi (USDA-ARS) tarafından, birlikte geliştirilen ve halka açık SWAT modeli, akarsular için Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı (USEPA) tarafından geliştirilmiş olan WASP modeli (sürüm 8.1) ve Melen Barajı için ise US Army Corps of Engineers (USACE) ve Portland Eyalet Üniversitesi (PSU) tarafından geliştirilmekte olan ve Portland Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından ücretsiz olarak dağıtılmakta olan CE-QUAL-W2 (Sürüm 4.1) modeli kullanılmıştır.

Öncelikle Melen Nehir Havzası genelinde hidrolojik model ve yayılı kirletici yük tahmini için kullanılan SWAT modeli ile simülasyon yapılmıştır. WASP modelinin debi ve kirletici yük girdileri SWAT modelinin çıktılarından oluşturulmuş ve WASP modeli çalıştırılmıştır. Daha sonra WASP modeli çıktıları CE-QUAL-W2 modeline sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Ayrıca SWAT model çıktıları Melen Baraj Gölü için yapılandırılan CE-QUAL-W2 modelinde kullanılmıştır. Özet olarak aşağıda Şekil 4.1 (Gürel ve diğ. 2018) verilmiştir.



Şekil 4.1 : Melen Nehir Havzası'nın modellenmesinde kullanılan modellerin akış şeması

SWAT modeli Melen Nehir Havzası için kurulmuş ve hem hidrolojik modelin hem de ve yayılı kirletici yüklerinin model çıktı sonuçları değerlendirilerek kalibrasyonu yapılmıştır.

WASP modelinin girdi dosyaları oluşturulmadan önce model ağı tanımlanmıştır. Buna göre sistem, havzada bulunan 4 ana akarsu koluna ayrılmıştır. Ana kol Karadeniz'e dökülen, ardında Büyük Melen ve Küçük Melen akarsuları olan ve Hasanlar Barajı ile başlatılmıştır. Efteni Gölü olmak üzere Asar Suyu, Aksu ve Uğur Suyu kolları ise bu ana kola bağlanan su kütleleridir. Bu 4 kol için WASP modeli segmentlere ayrılmıştır. Bu modelin kalibrasyonu TÜBİTAK-MAM tarafından izleme çalışmalarıyla sağlanan su kalite verileriyle yapılmıştır (Gürel ve diğ. 2018).

4.1. Melen Baraj Gölü'ne Uygulanan CE-QUAL-W2 Su Kalitesi Modelinin Yapılandırılması

CE-QUAL-W2 modelinde, Tez'in 2. kısmında da verildiği gibi, su kütleleri (nehir ve rezervuarın model kollarının benzer türbülans kapama ve su kalitesi parametre değerleri ve meteorolojik etkileri), model kolları (değişken bir model eğimine sahip model

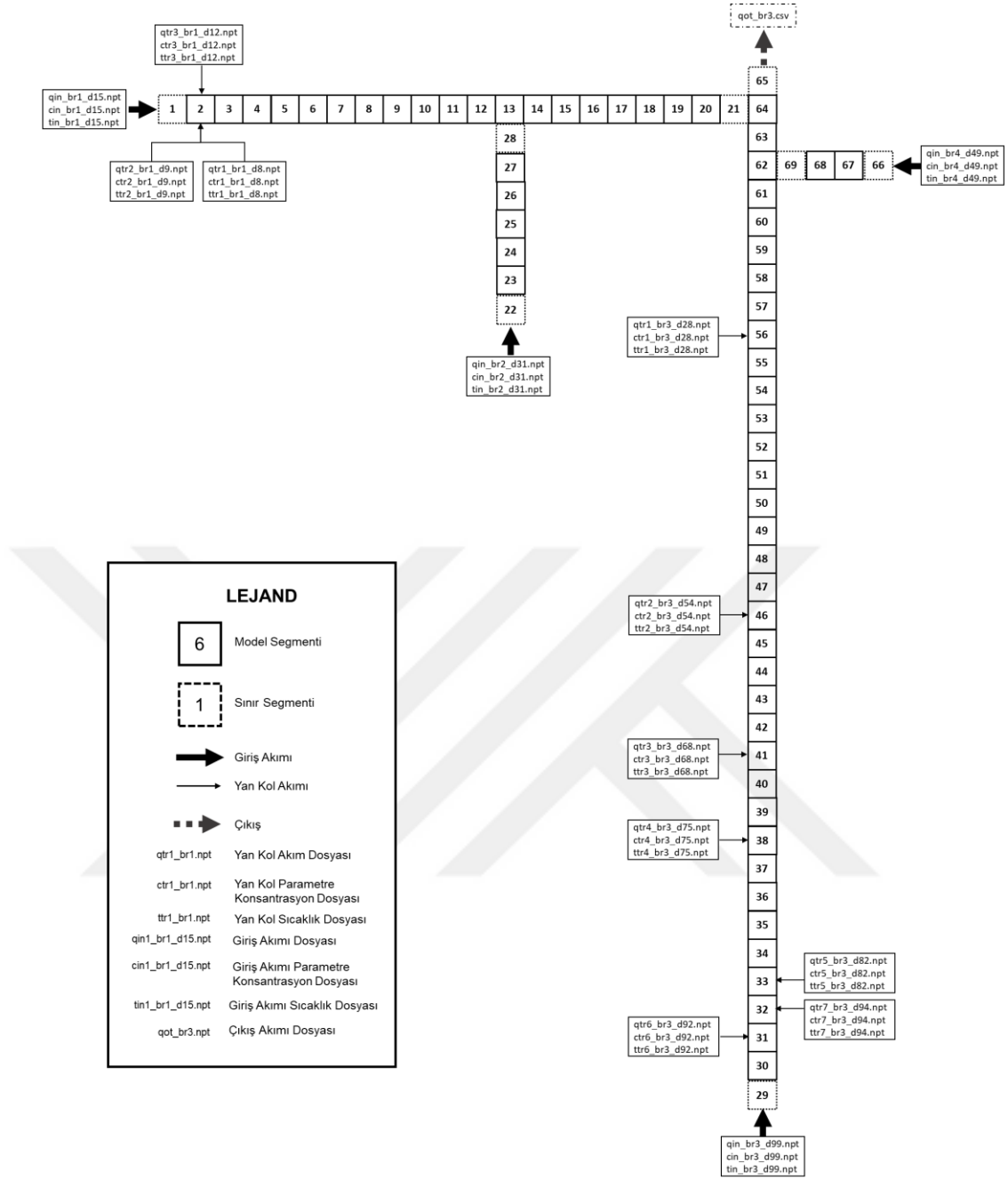
4.2. CE-QUAL-W2 Modelinin Girdi Dosyalarının Oluşturulması

CE-QUAL-W2 modelinin uygulanmasında başlangıç koşulları için batimetri, su seviyesi, sıcaklık ve su kalitesi bileşenleri, sınır koşulları için ise giriş / çıkış debileri, sıcaklık, su kalitesi ve meteoroloji verilerine ihtiyaç vardır. Bu veriler, bir model çalışmasının başlangıcındaki başlangıç koşullarını ayarlamak ve bir simülasyon sırasında modeli yönlendiren zamanla değişen girdileri sağlamak için kullanılır. Prototipin fiziksel tanımlamasını tamamlamak için çıkış tanımları, yan akarsu kolu ve su çekim konumları gibi ek veriler de gereklidir. Ayrıca modelin performansını değerlendirmek için model kalibrasyonu sırasında su seviyelerini, sıcaklıkları ve bileşen konsantrasyonlarını içeren izleme verilerine ihtiyaç vardır (Cole ve Tillman 2001).

CE-QUAL-W2 modelini çalıştırabilmek için öncelikle su kütlesinin batimetrisi modelin istediği formata göre oluşturulmalıdır. Ayrıca sınır koşulları için debi, sıcaklık ve su kalitesi bileşenlerinin içeriği oluşturulurken eğer modele tanımlanmış ise yan akarsular ve noktasal kaynaklar da modele girdi olarak işlenmelidir. Bunun yanında model için meteoroloji veri dosyası hazırlanırken hava sıcaklığı, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar yönü, rüzgar hızı, bulutluluk süresi ve kısa dalgalı solar radyasyon verilerine ihtiyaç vardır. Bunlar model simülasyonunda kullanılan ve modele girdi niteliği taşıyan verilerdir (Smith ve diğ. 2012).

Batimetri dosyası oluşturulurken her bir segment için segment uzunluğu, su yüzey kotu, yatayda yaptığı açı, taban sürtünme katsayısı ve her bir katman için de katman genişliği dikkate alınır ve batimetri dosyasına işlenir (Zorlutuna 2007).

Havza modelinde (SWAT'ta) debi ve su kalitesi parametrelerinin konsantrasyonu her bir akarsu kolu için hesaplanmış olup ilgili CE-QUAL-W2 segmentine girilmiştir. Bu işlem için kod geliştirilmiştir böylelikle SWAT çıktıları otomatikleştirilerek CE-QUAL-W2 model girdilerine dönüştürülmesi sağlanmıştır. CE-QUAL-W2 birimleri ve havza modeli arasındaki ilişkiyi gösteren şema Şekil 4.3'te verilmiştir. Bununla birlikte 27. segment için debi ve konsantrasyon değerleri WASP modelinde hesaplanmış ve bu veriler bir ara kod yardımıyla CE-QUAL-W2 modeline girdi olacak şekilde düzenlenmiştir. Şekil 4.1 ile verildiği üzere, SWAT-WASP, SWAT - CE-QUAL-W2 ve WASP - CE-QUAL-W2 ilişkisi kurulmuştur (Gürel ve diğ. 2018).



Şekil 4.3 : CE-QUAL-W2 modeli segmentleri ve akarsu kolları arasındaki ilişkiler

Çiy noktası sıcaklığı hava sıcaklığının ve bağıl nemin bir fonksiyonudur. Meteoroloji dosyasına eklenmesi gereken çiy noktası sıcaklığı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$T_c = \sqrt[8]{\frac{R_H}{100}} \cdot [112 + (0,9 \cdot T)] + (0,1 \cdot T) - 112 \quad (4.1)$$

Burada:

T_C = Santigrat cinsinden çiy noktası

$R_H = \%$ olarak bağıl nemdir.

T = Santigrat cinsinden sıcaklık

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden derece biriminde gelen rüzgar yönü verileri radyana dönüştürülmüştür. Bunun sebebi CE-QUAL-W2 modelinin rüzgar yönü verisini hesaplamalarında radyan cinsinden kullanmasıdır. Sözü edilen dönüşüm işlemi aşağıdaki formülle gerçekleştirilmiştir.

Radyan/Derece, Derece/Radyan Dönüşümleri:

$$\text{Derece biriminde açı} = \text{Radyan biriminde açı} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (4.2)$$

$$\text{Radyan biriminde açı} = \text{Derece biriminde açı} \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \quad (4.3)$$

Çizelge 4.1 (Gürel ve diğ. 2018) ile gösterilen, model girdi dosyalarının isimlendirilişi ve açıklamalarıdır. Bu dosyalar CE-QUAL-W2 modelinin çalıştırılmasında kullanılmıştır. Tabloda verilen isimlerin ne olacağına kullanıcı karar vermektedir. Farklı kullanıcılar bu isimlendirmeyi farklı şekilde yapabilmekteledir. Modelin kullanacağı bütün girdi dosyalarının isimleri w2_con.npt isimli dosyada tanımlanmak zorundadır. Bu dosyanın ismi sabittir, kullanıcılar tarafından farklı isimlendirmeler atanarak kullanılamaz (Gürel ve diğ. 2018).

Çizelge 4.1 : CE-QUAL-W2 Modeli'nin çalışabilmesi için gerekli olan girdi dosyaları adları ve açıklamaları

Girdi Dosyası Adı	Açıklama
w2_con.npt	Model kontrol dosyası
bth.npt	Batimetri verisini içeren dosya
met.npt	Meteoroloji verilerini içeren dosya
graph.npt	Model parametrelerinin format ve birimlerine ait dosya
shade.npt	Gölgelenme dosyası
wsc.npt	Rüzgar engellenme dosyası
qin_br1_d15.npt*	Giriş akımı dosyası
tin_br1_d15.npt	Giriş akımı sıcaklığı dosyası
cin_br1_d15.npt	Giriş akımı parametrelerinin konsantrasyonlarını içeren dosya

Çizelge 4.1 (devam) : CE-QUAL-W2 Modeli’nin çalışabilmesi için gerekli olan girdi dosyaları adları ve açıklamaları

Girdi Dosyası Adı	Açıklama
qtr1_br1_d8.npt**	Yan kol akımı dosyası
ttr1_br1_d8.npt	Yan kol akımı sıcaklığı dosyası
ctr1_br1_d8.npt	Yan kol akımı parametrelerinin konsantrasyonlarını içeren dosya
qdt_br1_d16.npt	Yayılı giriş akımı dosyası
cdt_br1_d16.npt	Yayılı giriş akımı sıcaklığı dosyası
cdt_br1_d16.npt	Yayılı giriş akımı parametrelerinin konsantrasyonlarını içeren dosya
qot_br3.npt	Çıkış akımı dosyası

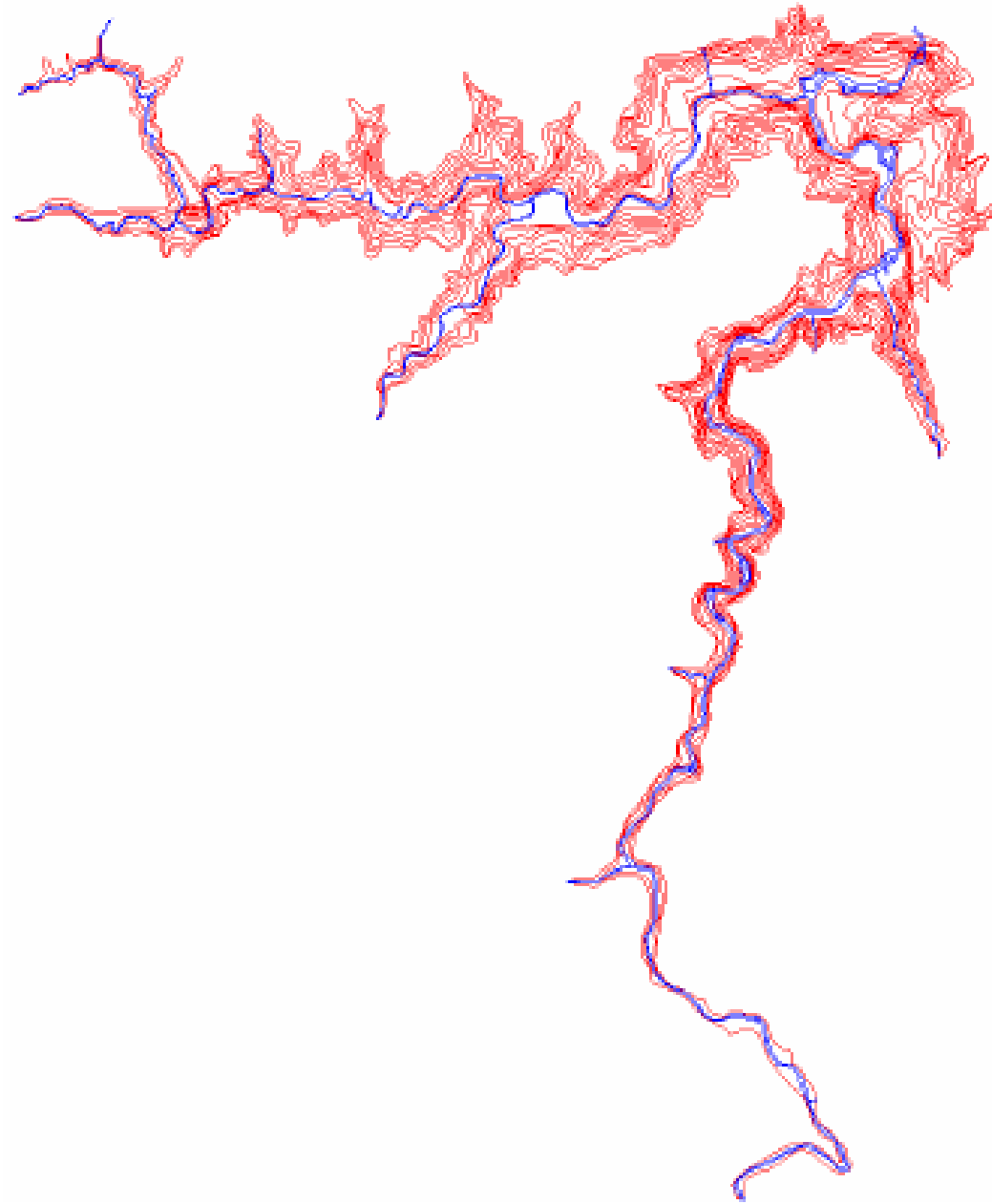
* Bu genel bir dosya adı olup “qin” giriş akımı olduğunu “br1” ise 1. kol olduğunu ve “d70”ise hidrolojik modellerde bu giriş akımını besleyen drenaj alanının numarasını ifade etmektedir.

** Bu genel bir dosya adı olup “qtr1” 1. yan kol giriş akımı olduğunu ve “d70”ise hidrolojik modellerde bu yan kolu besleyen drenaj alanının numarasını ifade etmektedir (Gürel ve diğ. 2018).

4.2.1. Batimetri Verisi

Segmentlerin ve katmanların kesişme noktalarında hidrodinamik ve su kalitesi hesaplamaları yapılır. Batimetri ve batimetrik yüzeyin ızgaralanmış temsili bir simülasyon boyunca sabitlenmiştir (Vandenberg ve diğ. 2015).

Yiğit Zorlutuna Tezinde (Zorlutuna 2007) yapılan çalışmada batimetri dosyası için Baraj Gölü’nün topografik haritası üzerinde sayısallaştırıldıktan sonra elde edilen veriler CE-QUAL-W2 modelinde istenen formata uygun olacak şekilde düzenlenmiştir. Aşağıda Şekil 4.4 sayısallaştırılmış Melen Baraj Gölü’yle birlikte model için oluşturulan Şekil 4.5’te batimetri dosyası verilmiştir.



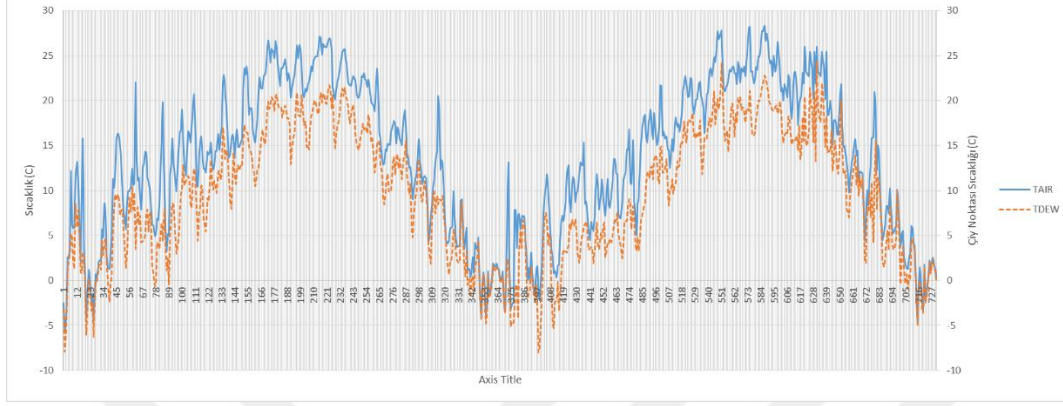
Şekil 4.4 : Melen Baraj Gölü'nün sayısallaştırılmış görüntüsü

Batimetri.txt - Notepad									
File Edit Format View Help									
Bathymetry file for waterbody 1 Melen Baraj Golu									
DLX									
100.00	617.00	715.00	180.00	412.00	736.00	460.00	384.00	658.00	388.00
403.00	409.00	973.00	665.00	624.00	505.00	604.00	655.00	769.00	409.00
100.00	100.00	244.00	493.00	489.00	561.00	909.00	100.00	100.00	549.00
458.00	506.00	327.00	380.00	341.00	550.00	646.00	465.00	324.00	515.00
549.00	400.00	387.00	605.00	187.00	427.00	347.00	482.00	322.00	449.00
416.00	260.00	463.00	271.00	280.00	342.00	403.00	397.00	392.00	471.00
512.00	500.00	500.00	1898.00	100.00	100.00	357.00	200.00	100.00	
ELWS									
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
Angle									
1.54	1.54	2.83	2.90	2.60	1.55	1.36	1.80	1.43	2.11
1.50	1.26	1.85	1.76	1.01	0.99	0.30	0.94	1.54	2.56
2.56	0.51	0.51	0.51	0.84	0.72	0.47	0.47	1.10	1.10
2.23	2.86	2.42	5.65	5.69	5.08	5.34	5.27	6.00	6.18
5.27	0.37	0.75	0.33	0.26	0.63	0.40	5.65	0.89	6.04
0.63	5.98	6.18	5.39	6.04	0.44	0.30	1.38	0.87	0.99
0.82	1.15	0.38	6.21	6.21	5.95	5.95	5.95	5.95	
Friction									
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
DZ									
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Segment 1									
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segment 2									
0.0	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5	27.5	27.5	27.5	27.5
27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

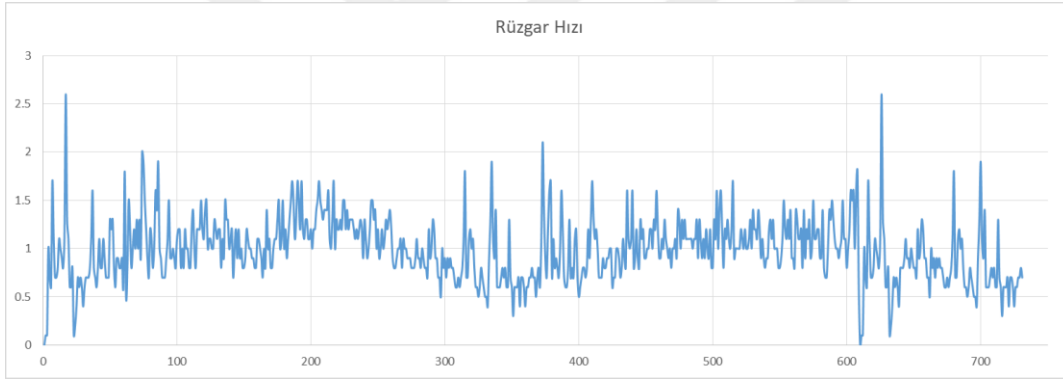
Şekil 4.5 : Melen Baraj Gölü'nün CE-QUAL-W2 modelinde kullanılan batimetri dosyasından bir örnek

4.2.2. Meteoroloji Verisi

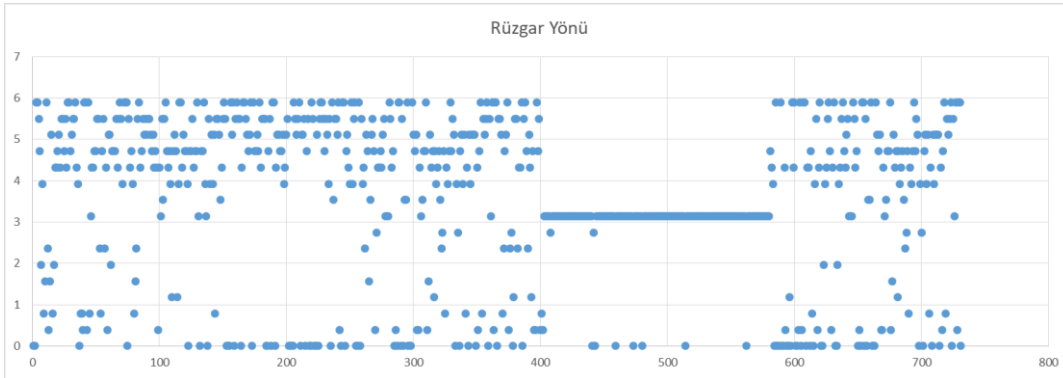
Modele girdi verisi olarak tanımlanan dosyanın içeriği aşağıda Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da hava sıcaklığı, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulutluluk ve solar radyasyon zaman serisi olarak verilmiştir.



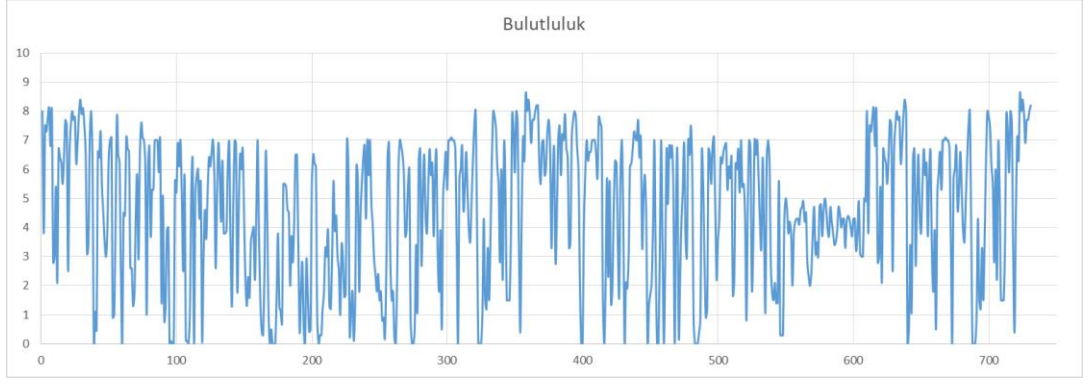
Şekil 4.6 : Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı zaman serileri



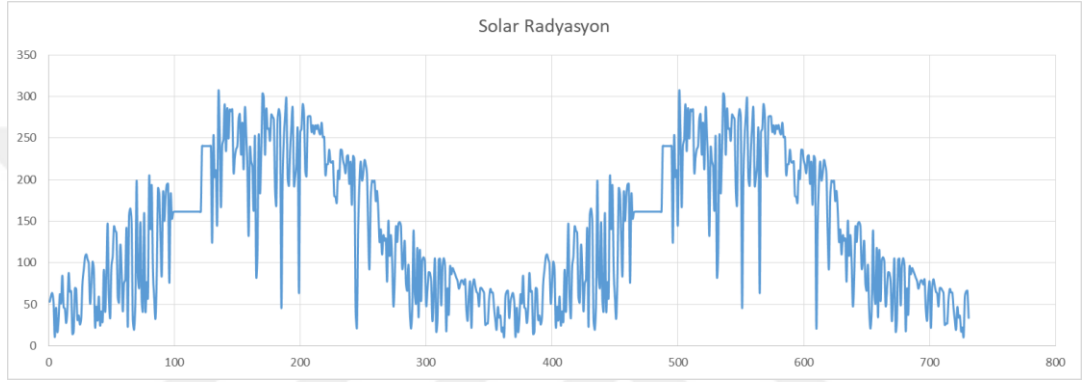
Şekil 4.7 : Rüzgar hızı zaman serileri



Şekil 4.8 : Rüzgar Yönü zaman serileri



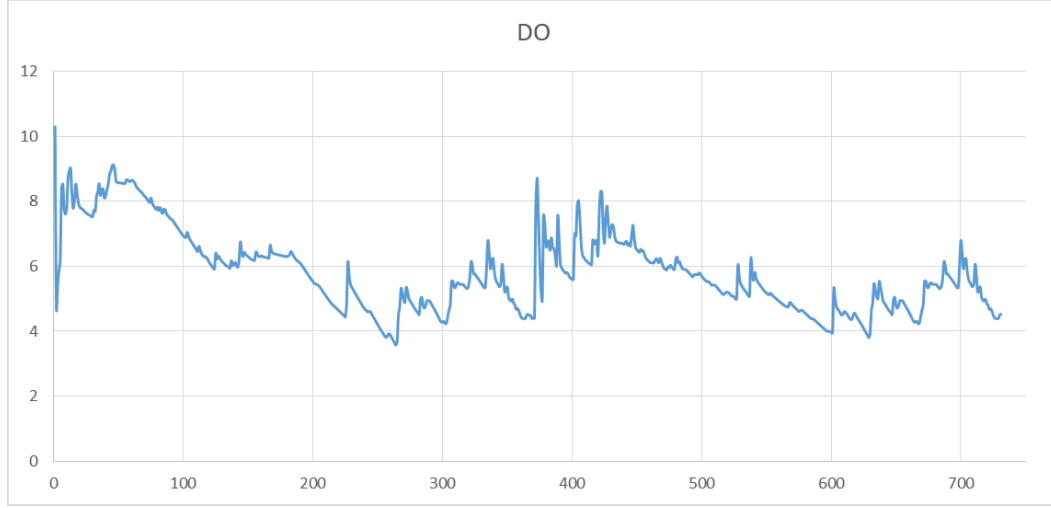
Şekil 4.9 : Bulutluluk zaman serileri



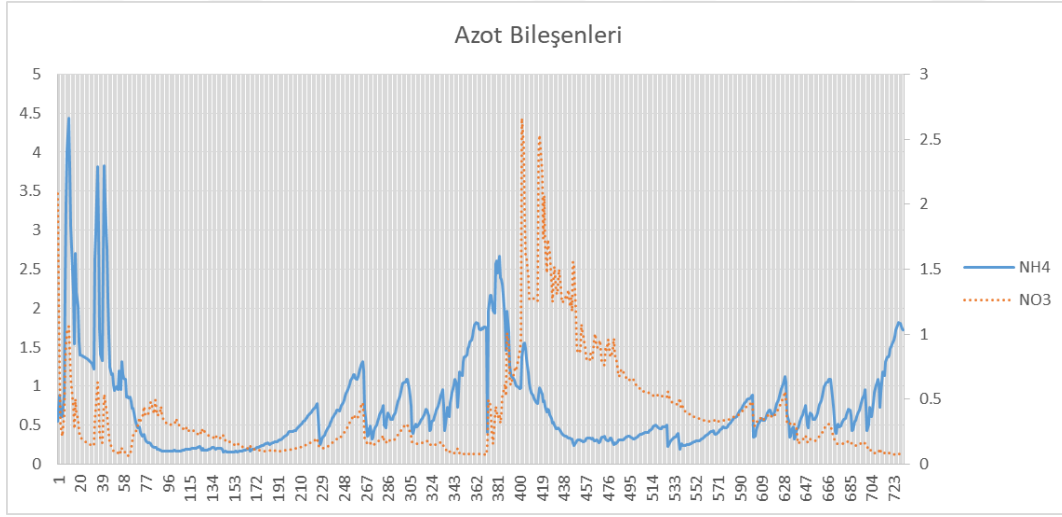
Şekil 4.10 : Solar Radyasyon zaman serileri

4.2.3. Debi, Konsantrasyon ve Sıcaklık Verileri

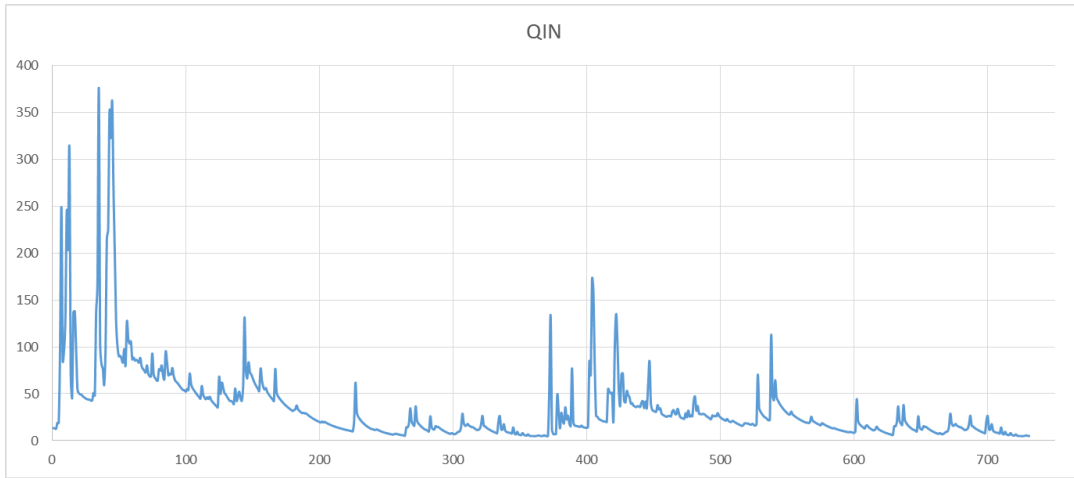
Modele girdi dosyaları 4'er adet yayılı, 4'er adet giriş ve 10'ar adet yanıl akarsu kollarından gelen debi, konsantrasyon ve sıcaklık verileri olarak tanımlanmıştır. Bu kısımda Segment 27'den giriş olarak tanımlanan ve aynı zamanda WASP model sonucunun CE-QUAL-W2 modeline giriş olarak tanımlandığı debi, konsantrasyon ve sıcaklık verileri modelde kullanıldığı şekilde zaman serisi olarak aşağıda Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir.



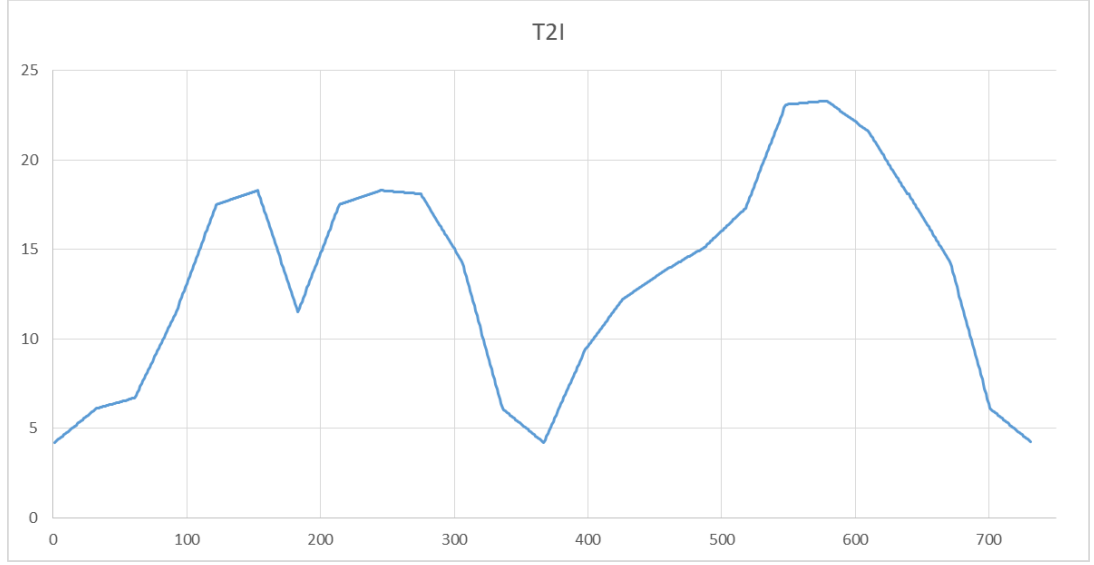
Şekil 4.11 : Segment 27 Çözünmüş oksijen konsantrasyonu zaman serisi



Şekil 4.12 : Segment 27 Azot bileşenleri konsantrasyonu zaman serisi



Şekil 4.13 : Segment 27 Giriş Debisi Zaman Serisi



Şekil 4.14 : Segment 27 Giriş Sıcaklık Zaman Serisi

4.3. CE-QUAL-W2 Modeli için Kullanılan Ara/Son İşlemciler

CE-QUAL-W2 modelinde girdi dosyalarının fazla oluşu ve model çıktıların da iki boyutta (2D) konumsal ve zamana göre değişen değerleri olduğu için veri düzenlenmesi ve analizi için kodlar geliştirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında modelin yüzlerce kez çalıştırılmasını ve model çıktısının değerlerinin grafikleştirilmesini otomatikleştirmek için bu kodlar faydalı olmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan kodlar Ek A1, Ek A2, Ek A3 ve Ek A4'te verilmiştir.

4.4. Duyarlılık ve Belirsizlik Analizlerinin Uygulanışı

Çalışma kapsamında parametredeki belirsizliğin model çıktıları üzerindeki etkisinin düzeyinin belirlenmesi hedeflenmiştir ve bunun için duyarlılık analizini takiben belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizinin uygulanmasında öncelikle modelde su kalitesi bileşenlerini etkileyen kinetik parametreler seçilmiştir. Bu kapsamda modeldeki Alg parametresi için AG (algal growth, alg çoğalması), AR (algal respiration, alg solunumu), AM (algal mortality, alg ölümü), AE (algal excretion, alg salgılaması), AS (algal settling, alg çökmesi) kinetik parametreleri ve AHSP (algal half saturation constant for phosphorus), AHSN (algal half saturation constant for nitrogen) sabitleri; Amonyum Azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) için NH_4DK (Ammonium Decay, nitrifikasyon sabiti) ve Nitrat Azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) için NO_3DK (nitrate decay, denitrifikasyon sabiti) sabitleri olmak üzere toplam 9 kinetik parametre seçilmiştir. Bu

kinetik parametrelerin, trofik seviyelerin belirlenmesi için önemli olan su kalitesi bileşenlerine (Toplam Azot , Toplam Fosfor ve Çözünmüş Oksijen parametrelerine) etkisinin büyük olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu kinetik parametrelerin incelenmesine ihtiyaç duyulmuş ve bu parametreler bu sebeple seçilmişlerdir. Ayrıca burada NH₄DK parametresi nitrifikasyon prosesini tanımlarken NO₃DK ise denitrifikasyon prosesini tanımlamaktadır.

Belirlenen 9 kinetik parametre için literatürde tanımlanan aralıklar çıkartılmıştır. Bu aralıklar 10 eşit parçaya bölünerek her bir parametrenin değeri CE-QUAL-W2 kontrol dosyasında (w2.con.npt) diğer bütün kinetik parametreler sabit tutularak (modeldeki varsayılan değerlerle) değiştirilmiştir. Her bir kinetik parametre için model 10 defa çalıştırılmış ve duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesinde 9 kinetik parametre için toplam 90 simülasyon yapılmıştır. Burada duyarlılık analizinin uygulanma sebebi su kalitesi bileşenlerinde gözlemlenen değişimin mertebesini belirlemek içindir. Bu sebeple ayrıca gözlem sonuçları da olmadığı için model sonuçlarının zamana bağlı değişimi göz önüne alınmayıp zamanın ortalaması alınmıştır. Model sonuçlarından elde edilen medyan değerler Melen Baraj Gölü'nün modelde tanımlanan ilk katmanından alınmıştır. Bunun sebebi göldeki tabakalaşmadan, ışık geçirgenliğinden ve aşağılara gidildikçe alg konsantrasyonunun azalıp sıfırlanacağından, buna bağlı olarak konsantrasyon iyi bir şekilde temsil edilemeyeceği içindir.

Model sonuçlarından elde edilen su bileşenlerinin medyan değerleri, değiştirilen aralıktaki kinetik parametre değerlerine göre grafiği çizilmiş ve kinetik parametrenin sonuçlara olan etkisi gözlemlenip su kalitesi bileşenlerinin hangi aralıkta kinetik parametrelere duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bazı kinetik parametrelerin değerlerinin değiştirilmesine rağmen model sonuçlarına olan etkisinin göz ardı edilebilecek düzeyde olduğu sonucu çıkarılmıştır. Bunlar AE ve NH₄DK kinetik parametreleri olmakla birlikte belirsizlik analizi için, geri kalan 7 parametrenin değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Buna göre seçilen parametreler ve bunların belirlenen aralıklarında belirsizlik analizi için, bu parametrelerin tanımlanan aralıklarındaki rasgele değerleriyle 500 simülasyon yapılmış ve bu 500 simülasyondan tek bir grafik çıkartılmıştır. Böylelikle elde edilen grafikten belirli bir güven aralığında (%5 - %95), göl için Alg, TN, TP ve ÇO parametre değerlerinin bu aralıkta kalacağı sonucu çıkartılmıştır.

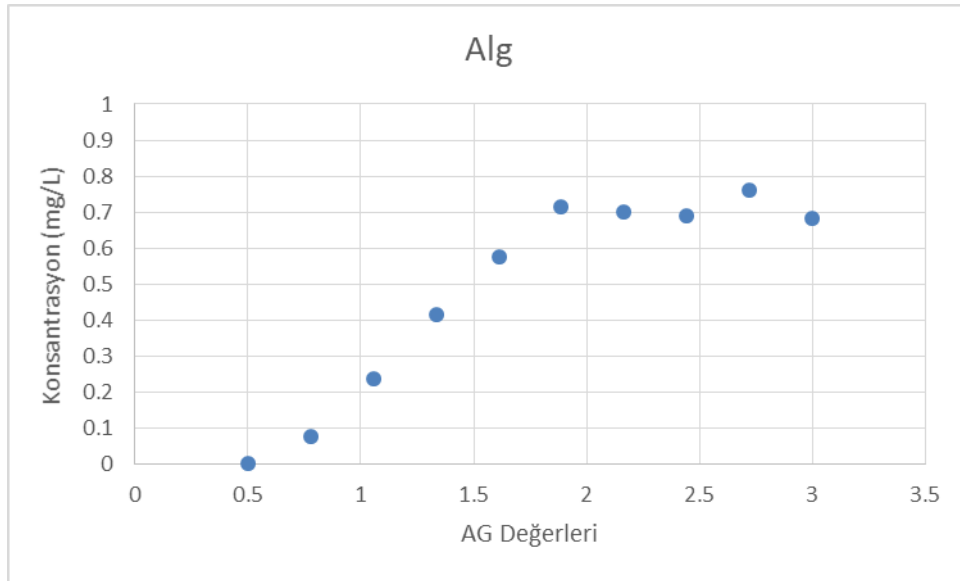
Bütün sonuçlar Segment 64 için alınmış olup bu segment Melen Barajı'nın çıkış segmenti olmakla birlikte barajın en derin segmentidir.

5. SONUÇLAR

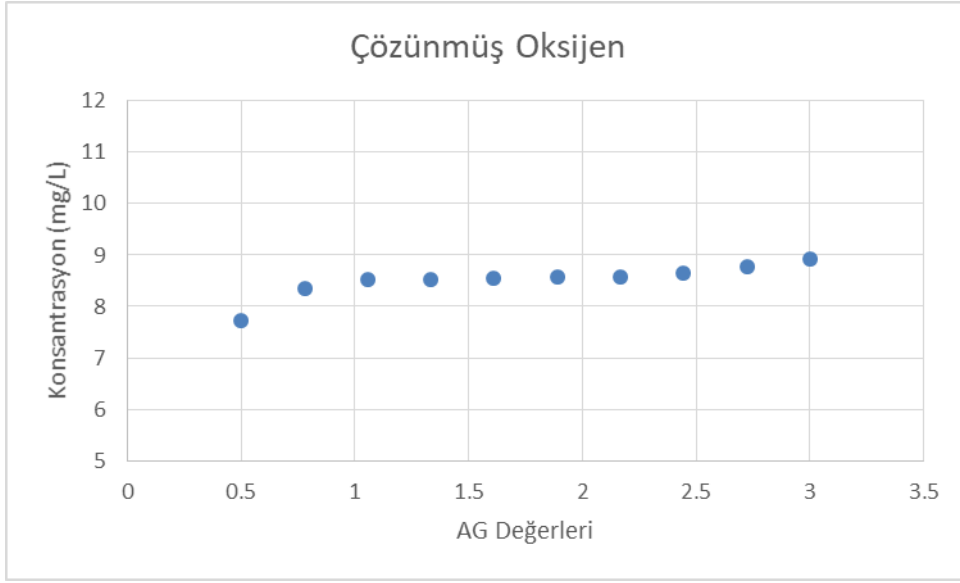
5.1. Duyarlılık Analizi Sonuçları

Duyarlılık analizi için gerçekleştirilen simülasyonlarda her bir kinetik parametre için tanımlanan aralıklarda yer alan değerler için elde edilen model sonuçları aşağıda verilmiştir. AE ve NH₄DK kinetik parametrelerinin bu çalışma kapsamında incelenen Alg, ÇO, TN ve TP parametrelerine olan etkisinin düşük derecede olduğu tespit edildiği için bu bölümde gösterilmemiştir. Bu kinetik parametrelerin model sonuçlarına olan etkisi EK B’de verilmektedir. Nitrat, amonyum ve fosfat parametreleri belirli durumlarda TN veya TP konsantrasyonlarını doğrudan etkilediğinden bu parametrelere ait grafikler bazı kinetik parametreler için verilmiştir.

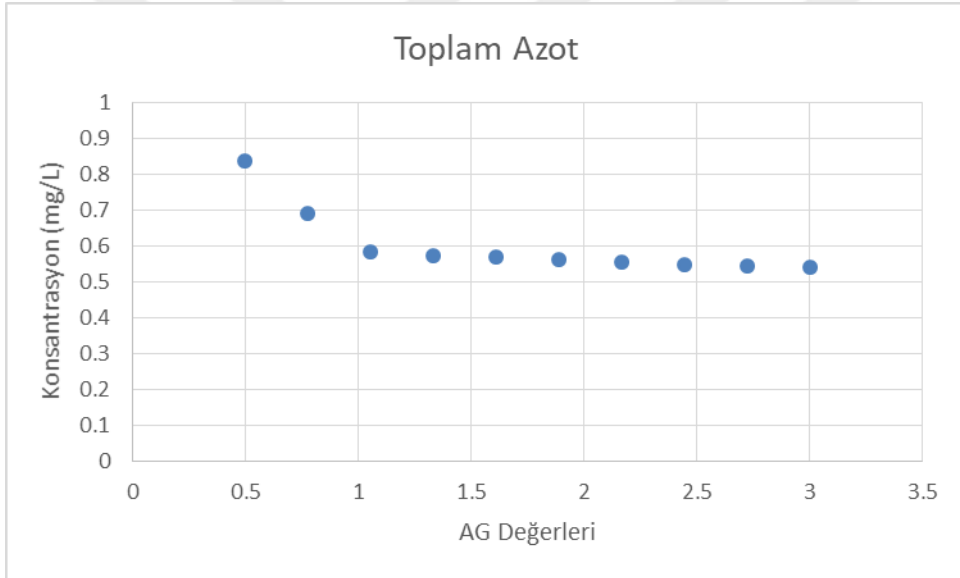
AG kinetik parametresi için seçilen aralıktaki değerler ile simülasyon sonuçları arasındaki ilişki aşağıda Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te gösterilmiştir. AG parametresi için 0,5 ile 3 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler varsayılan değerlerle modele girilmiş ve simülasyonlar yapılmıştır.



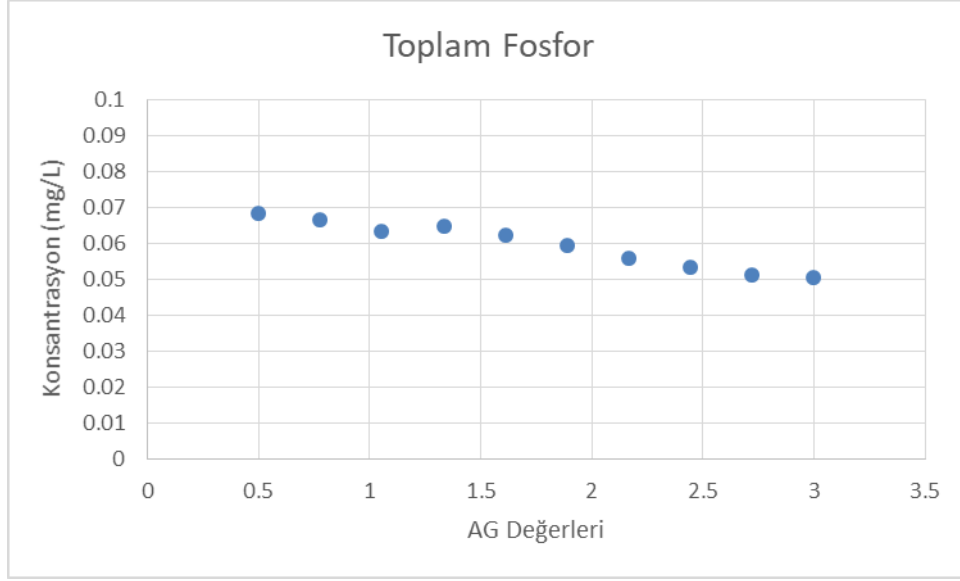
Şekil 5.1 : AG kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi



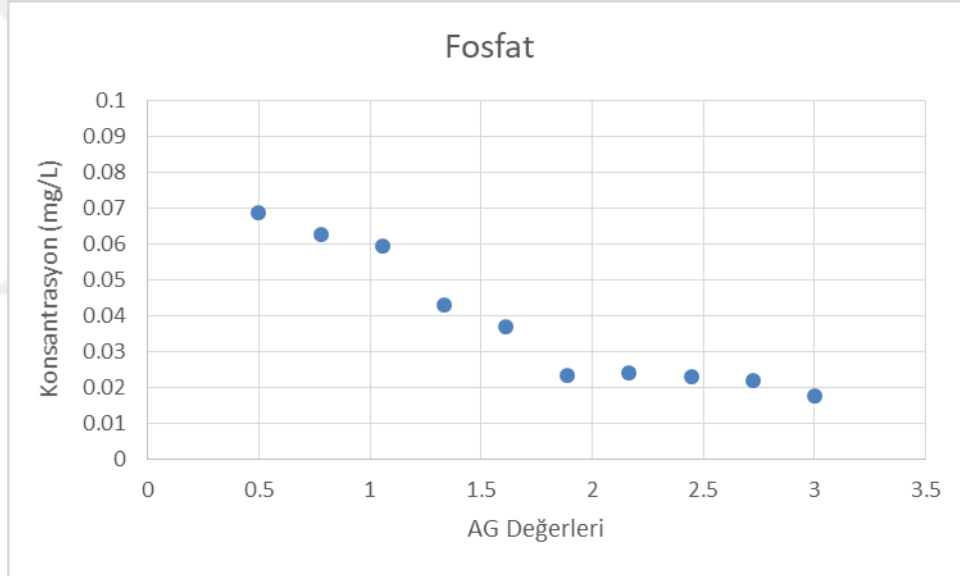
Şekil 5.2: AG kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil 5.3 : AG kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi



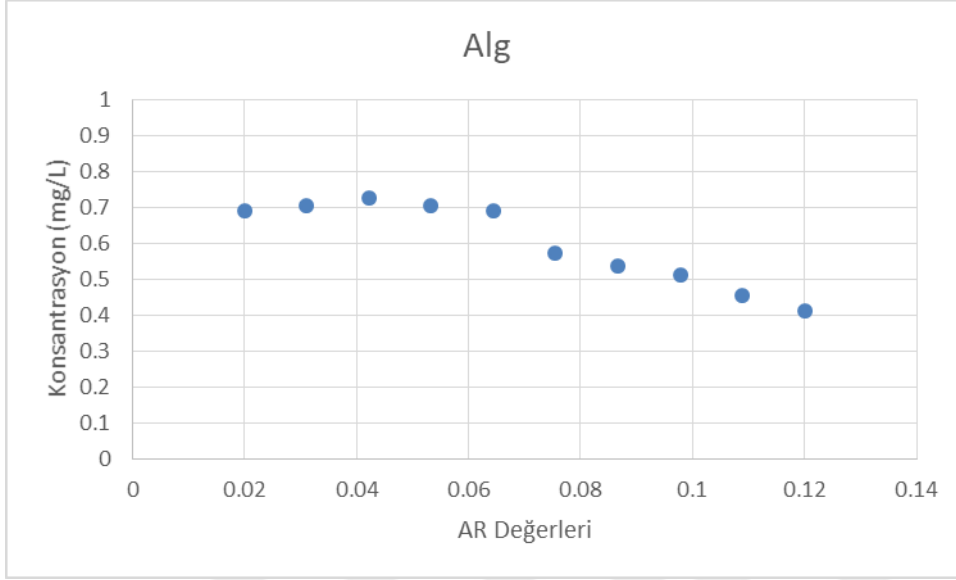
Şekil 5.4 : AG kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi



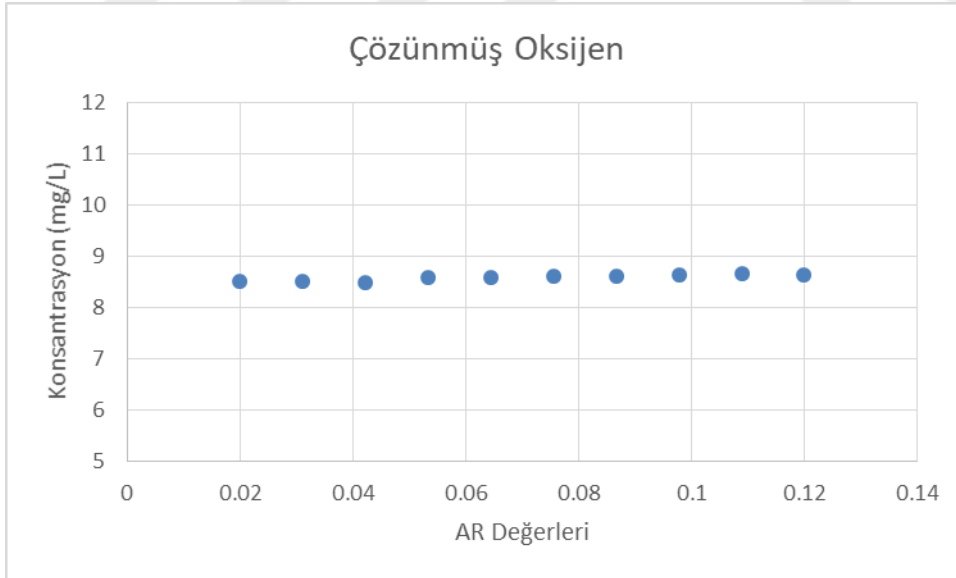
Şekil 5.5 : AG kinetik parametresinin fosfata olan etkisi

Alg çoğalma hızı, AG kinetik parametresinin, Alg konsantrasyonuna olan etkisinin yüksek derecede olduğu tespit edilmiş ve bu etki özellikle AG'nin 0,5 ile 2 değerleri arasında görülürken 2 – 3 değerleri arasında sabit olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Alg çoğalma hızının artışı ile sistemdeki fosfat konsantrasyonun azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi alg çoğalırken, fosfatı bünyesine alıp bu bileşeni çoğalması için kulanmasındandır. Ayrıca AG'nin TN değerleriyle doğrudan bir ilişkisi olduğu Şekil 5.3'te açıktır ve TP ve ÇO parametrelerine olan etkisinden daha yüksektir.

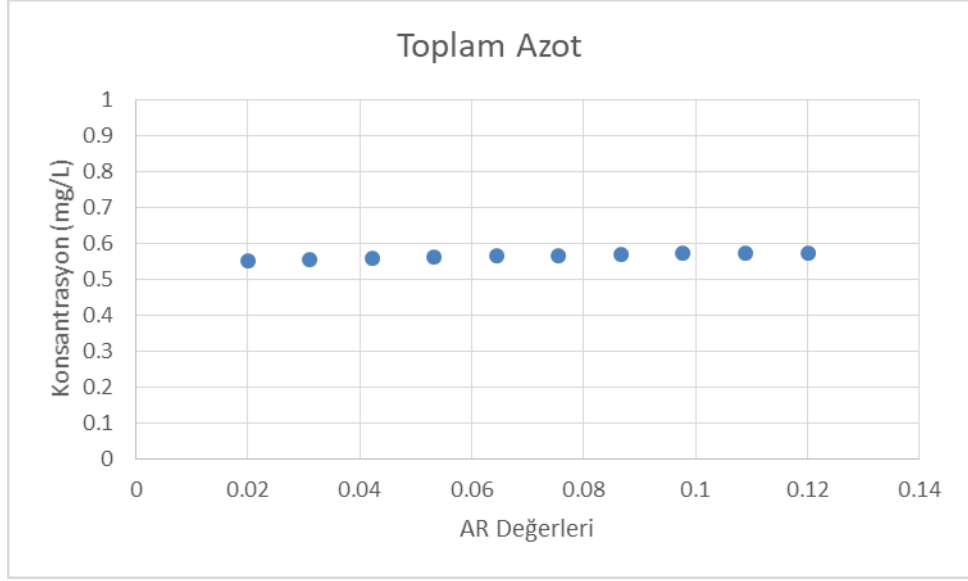
AR kinetik parametresi için seçilen aralıktaki değerler ile simülasyon sonuçları arasındaki ilişki aşağıda Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 ile verilmiştir. AR parametresi için 0,02 ile 0,12 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler için ise varsayılan değerlerle simülasyonlar yapılmıştır.



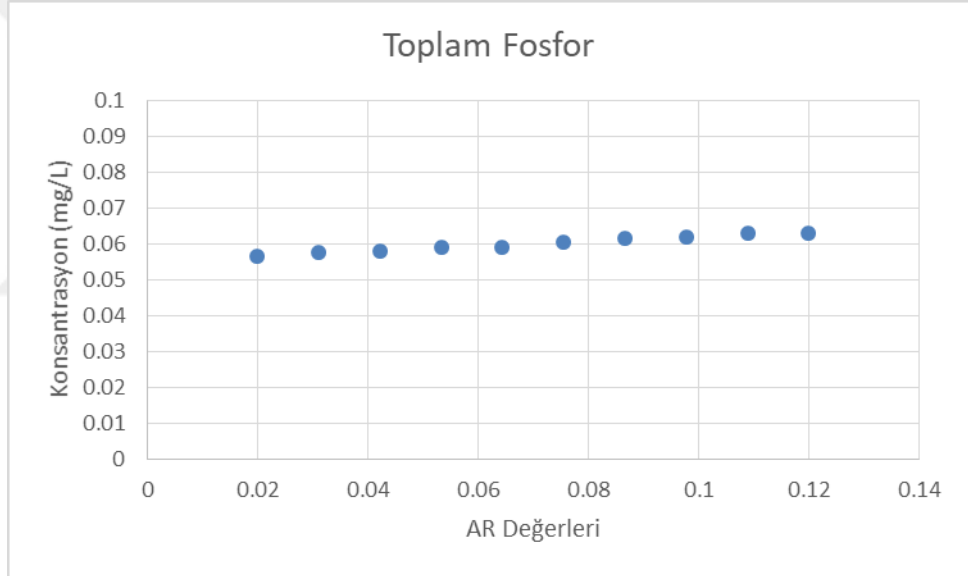
Şekil 5.6 : AR kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi



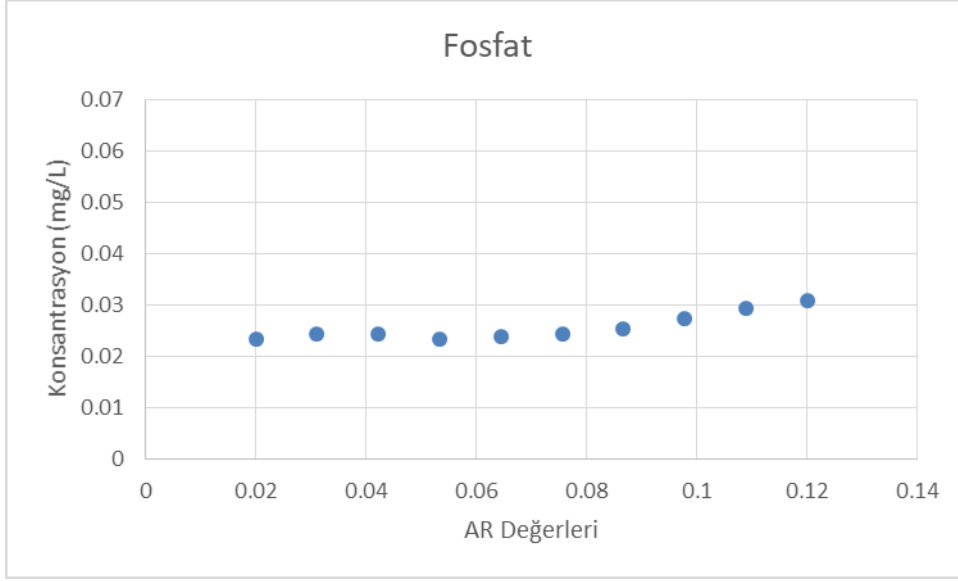
Şekil 5.7 : AR kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil 5.8 : AR kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi



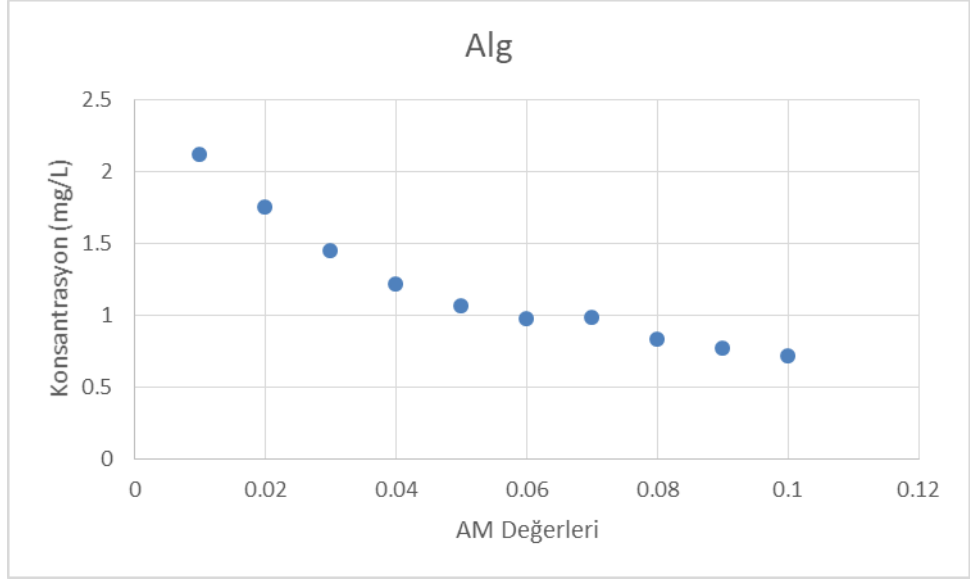
Şekil 5.9 : AR kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi



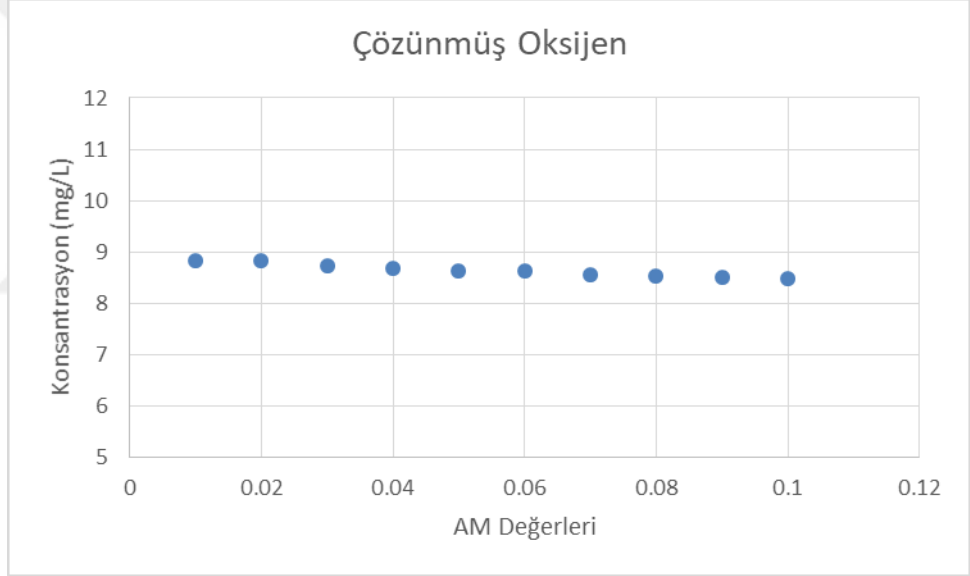
Şekil 5.10 : AR kinetik parametresinin fosfata olan etkisi

Burada Alg solunum hızının (AR) her ne kadar ÇO, TN ve TP'ye olan etkisi yüksek derecede olmasa da bu parametrenin değişimiyle Alg parametresinin konsantrasyonu (Şekil 5.6) değişmektedir ve bu etki özellikle AR'nin 0,06 ile 0,12 değerleri arasında gözlemlenmektedir. Ayrıca Alg konsantrasyonu dışındaki diğer parametreler için yüksek derecede bir etkisinin olmadığı tespit edildiği göz önünde bulundurulduğunda AR kinetik parametresi Alg parametresinin kalibrasyonu için kullanılabilir. Bununla birlikte kinetik parametrenin 0,08 ve 0,12 aralığındaki değerleriyle model sonucundaki fosfor konsantrasyonlarının doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

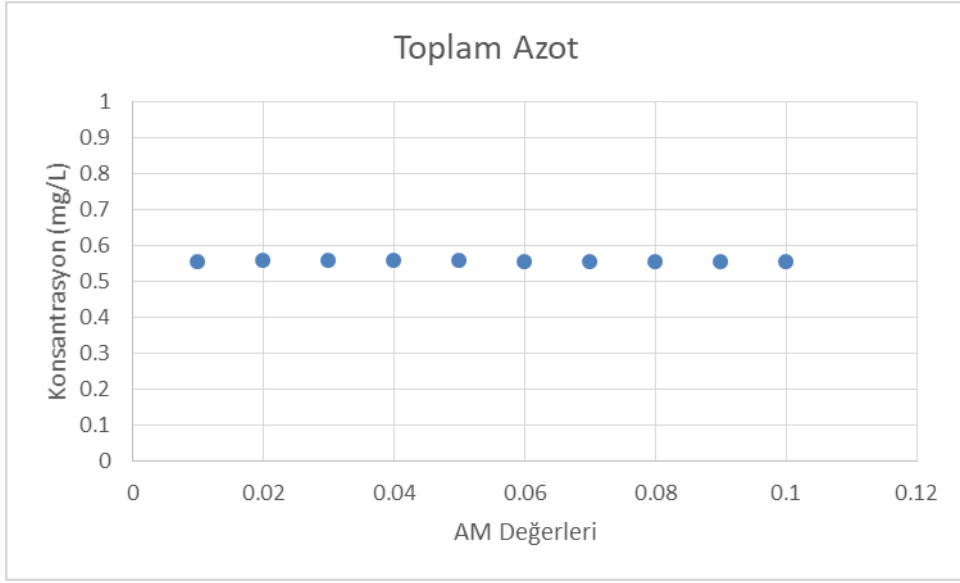
AM kinetik parametresi için seçilen aralıktaki değerler ile simülasyon sonuçları arasındaki ilişki aşağıda Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 ile verilmiştir. AM parametresi için 0,01 ile 0,1 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler için ise varsayılan değerlerle simülasyon yapılmıştır.



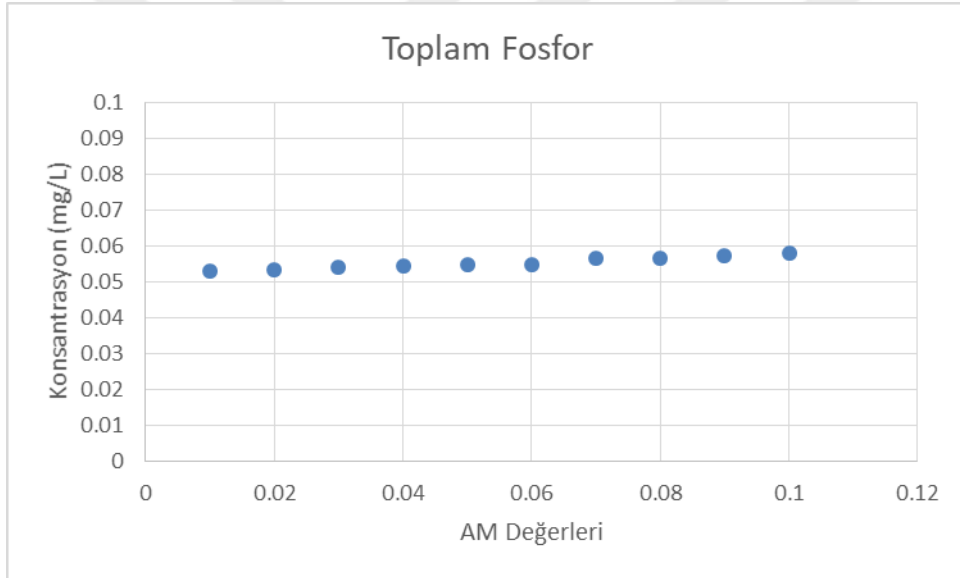
Şekil 5.11 : AM kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi



Şekil 5.12 : AM kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi



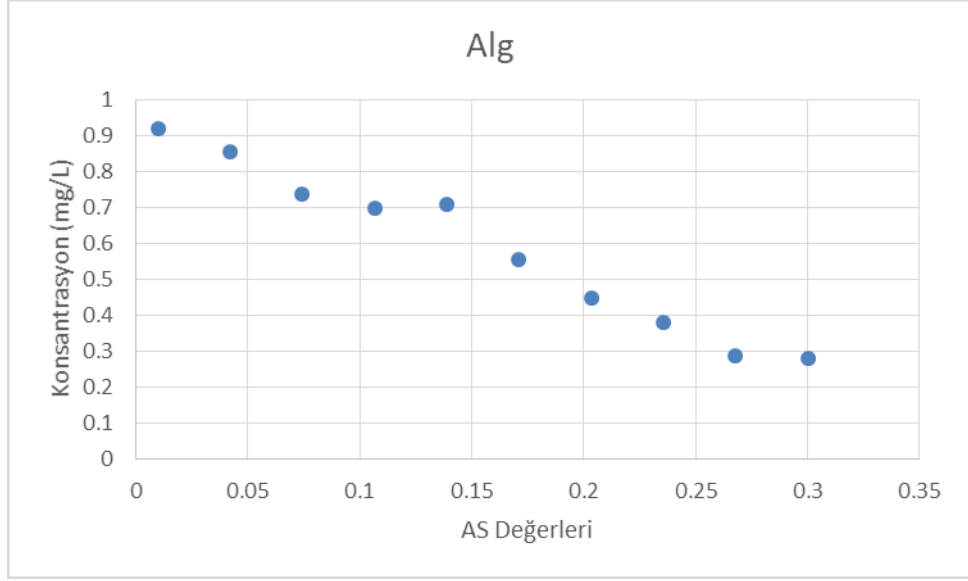
Şekil 5.13 : AM kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi



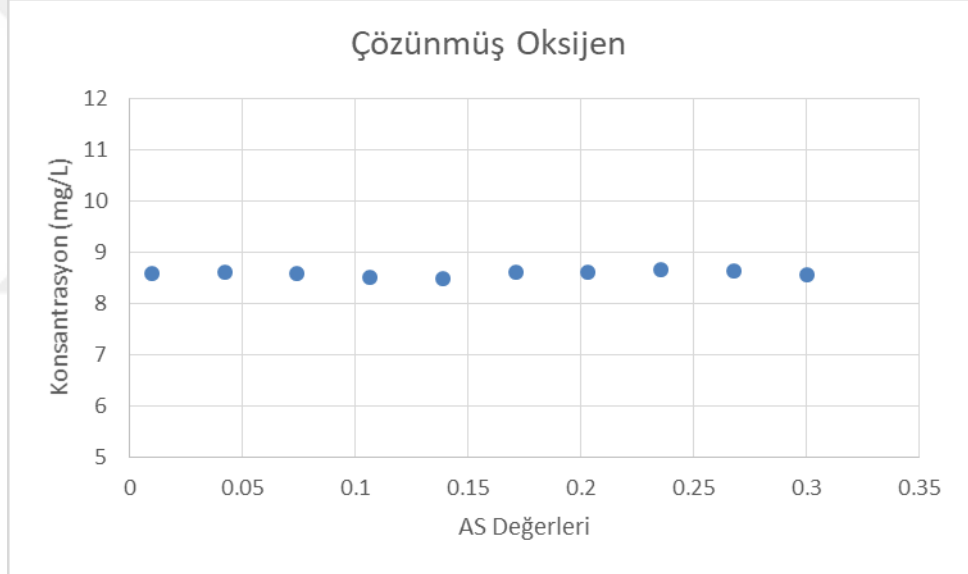
Şekil 5.14 : AM kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi

Alg ölüm hızının (AM) ÇO, TN ve TP sonuçlarına etkisinin çok düşük olduğu ancak Alg konsantrasyonunun özellikle 0,01 ve 0,05 aralığındaki değerleri için etkisinin çok yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.11). AM'de yine AR gibi Alg konsantrasyonu için model kalibrasyon parametresi olarak kullanılabilir.

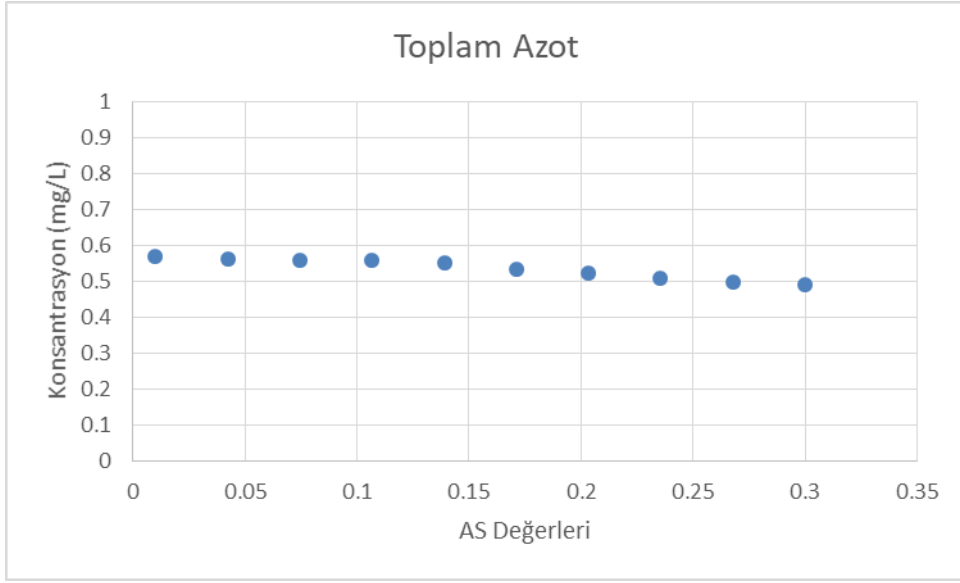
AS kinetik parametresi için seçilen aralıktaki değerler ile simülasyon sonuçları arasındaki ilişki aşağıda Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 ile verilmiştir. AS parametresi için 0,01 ile 0,3 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler için ise varsayılan değerlerle simülasyon yapılmıştır.



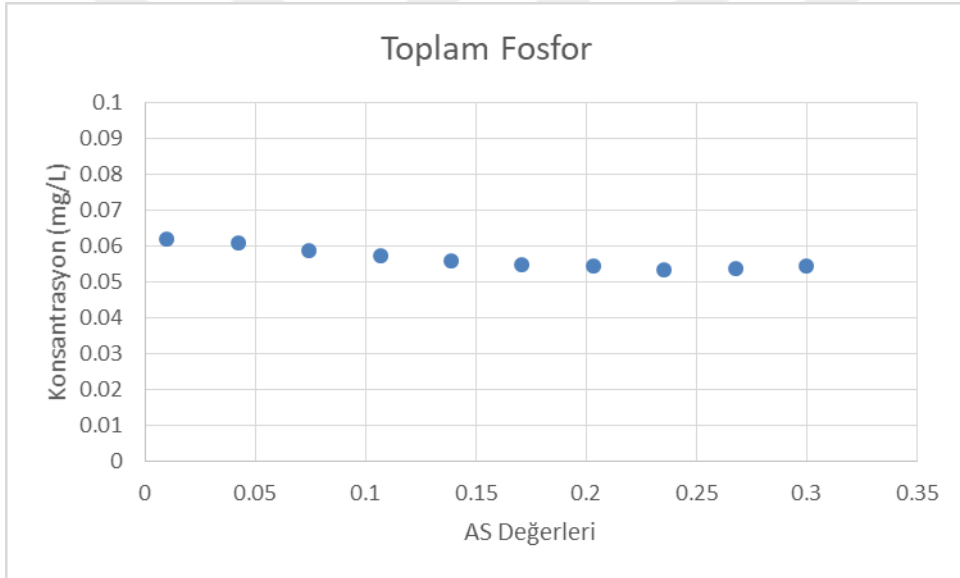
Şekil 5.15 : AS kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi



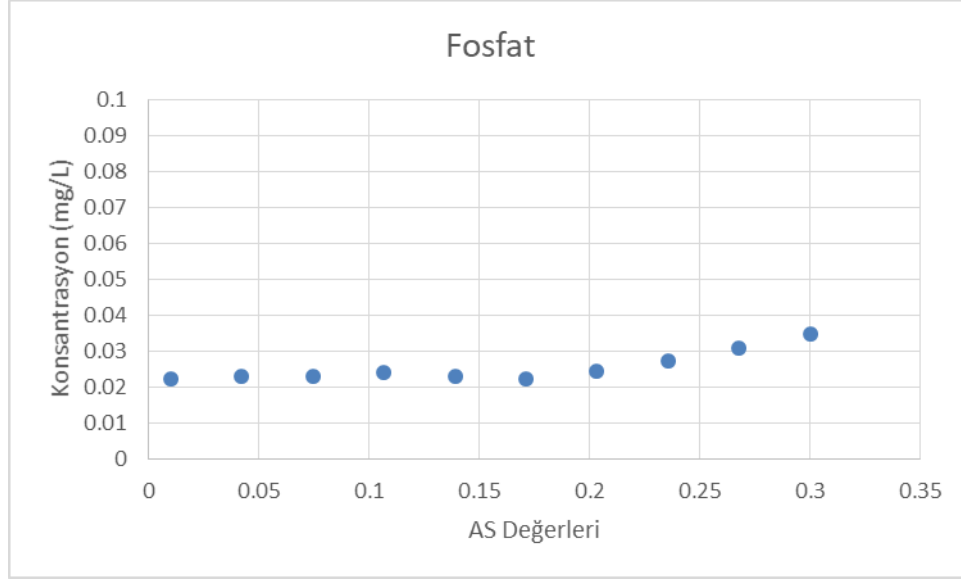
Şekil 5.16 : AS kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil 5.17 : AS kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi



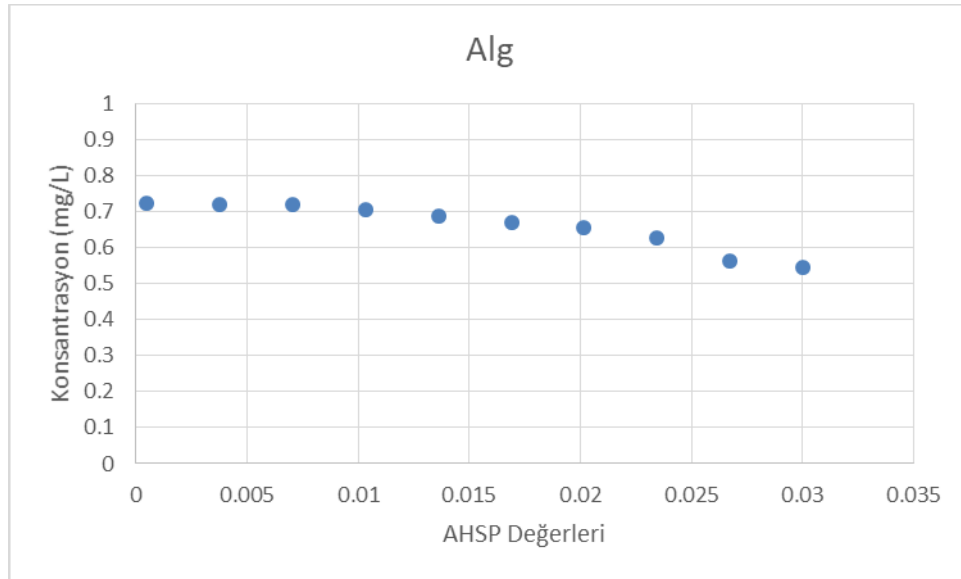
Şekil 5.18 : AS kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi



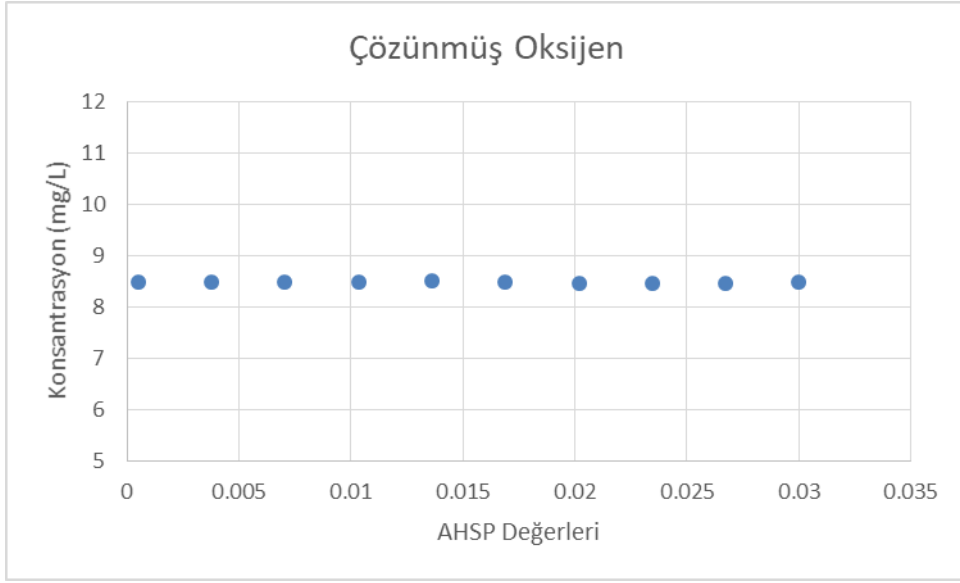
Şekil 5.19 : AS kinetik parametresinin fosfata olan etkisi

Alg konsantrasyonuna, Alg çökeltme hızının (AS) simülasyonu yapılan bütün değerlerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu değişim Alg çökeltme hızı arttıkça Alg konsantrasyonunun azalması yönündedir. Ayrıca AS parametresinin özellikle 0.2 ve 0.3 arasındaki değerleri için ÇO, TN, TP ve fosfat değerlerine düşük seviyelerde de olsa duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

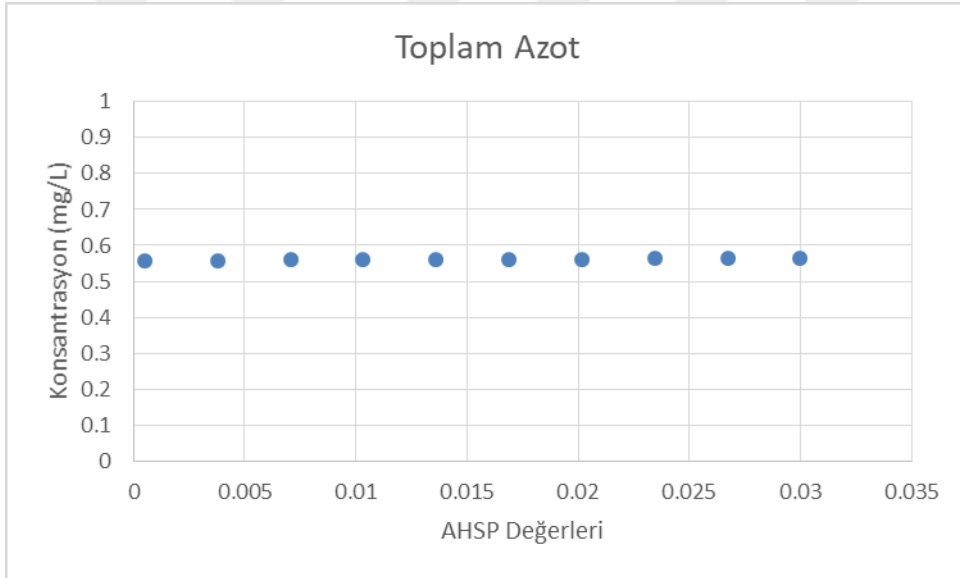
AHSP sabitinin model sonuçlarına etkisi Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 ile verilmiştir. AHSP parametresi için 0,0005 ile 0,03 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler için ise varsayılan değerlerle simülasyonlar yapılmıştır.



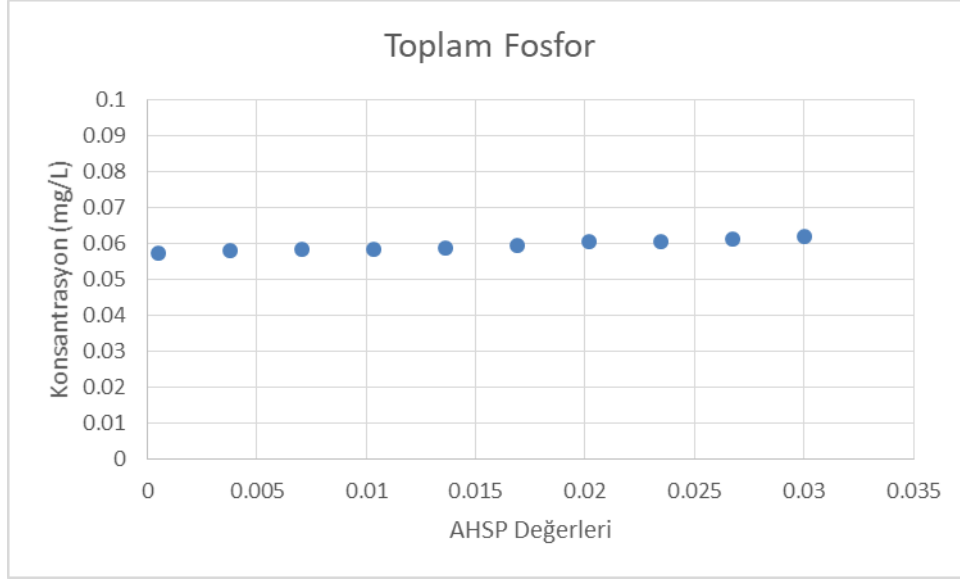
Şekil 5.20 : AHSP sabitinin alg parametresine olan etkisi



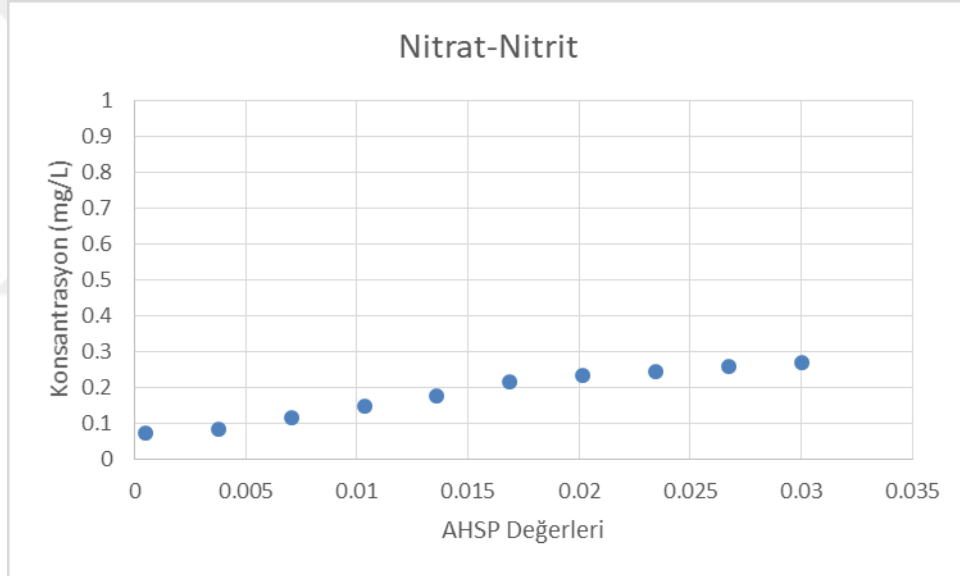
Şekil 5.21 : AHSP sabitinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil 5.22 : AHSP sabitinin TN'ye olan etkisi



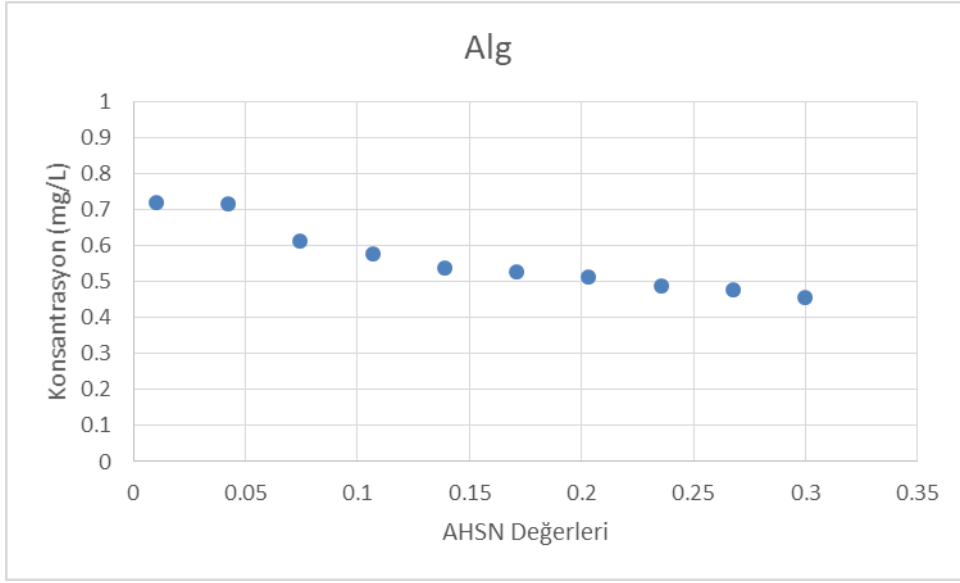
Şekil 5.23 : AHSP sabitinin TP'ye olan etkisi



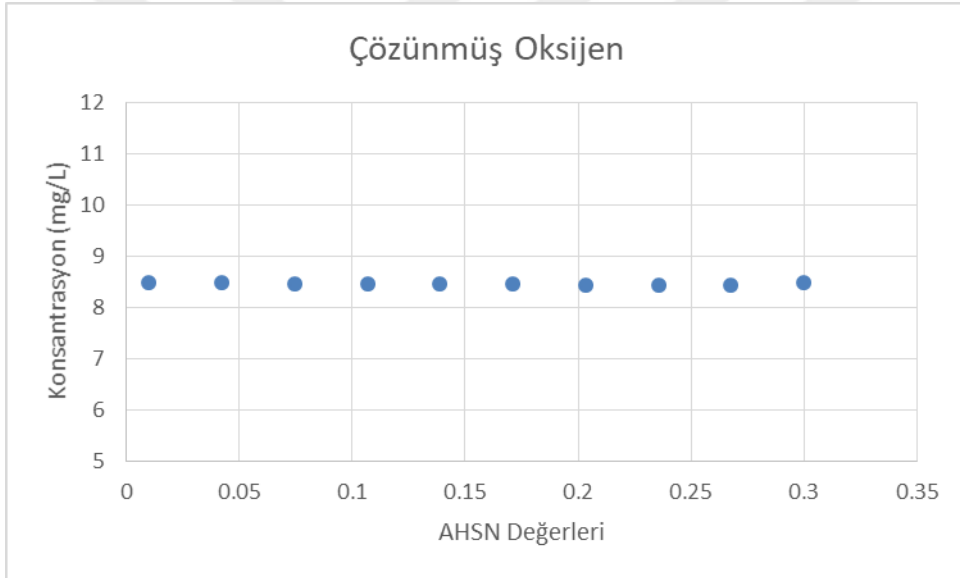
Şekil 5.24 : AHSP sabitinin nitrat-nitrit konsantrasyonuna olan etkisi

Fosfor limitli büyüme hızının alg yarı doygunluk sabiti (AHSP), Alg konsantrasyonunu özellikle AHSP'nin 0,01 ve 0,03 aralığında değerleri arttırdıkça kısmen düşürdüğü ve AHSP'nin 0,005 ve 0,03 aralığında değerler arttırıldıkça nitrat-nitrit sonuçlarını yükselttiği tespit edilmiştir. Diğer yandan AHSP sabitinin ÇO, TN ve TP sonuçlarına etkisi olmadığı (duyarlı olmadığı) gözlemlenmiştir.

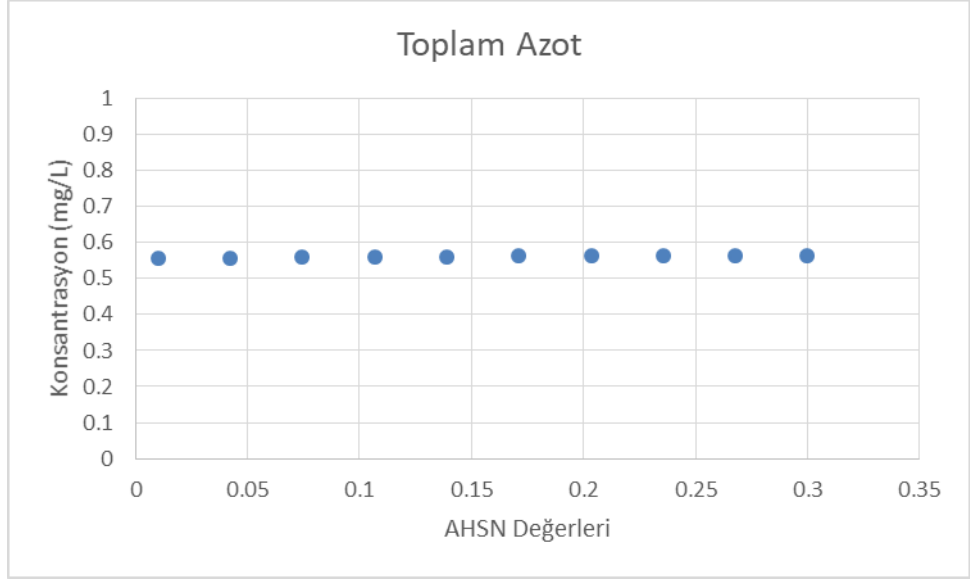
AHSN sabiti model sonuçlarına etkisi aşağıda Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 ile verilmiştir. AHSN sabiti için 0,01 ile 0,3 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler için ise varsayılan değerlerle simülasyonlar yapılmıştır.



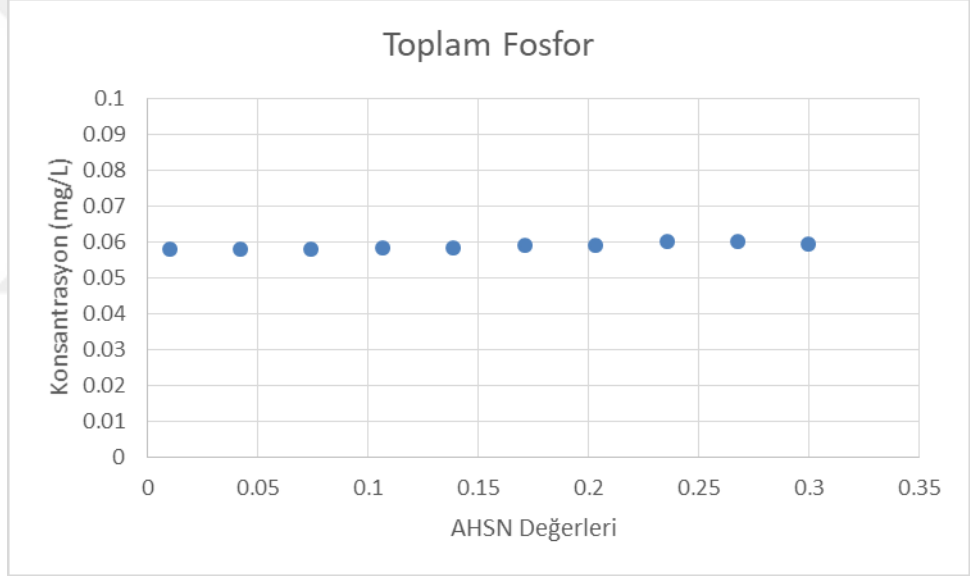
Şekil 5.25 : AHSN sabitinin alg parametresine olan etkisi



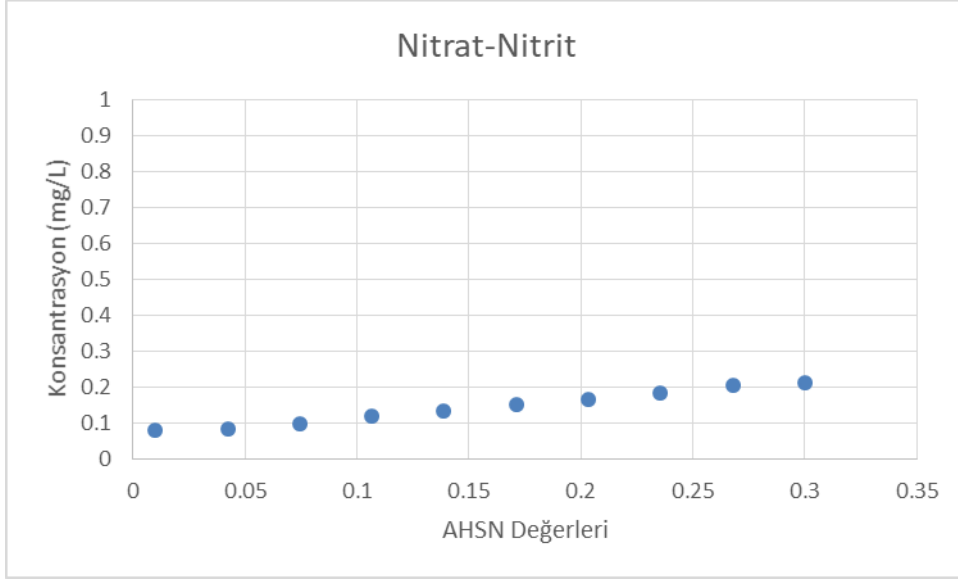
Şekil 5.26 : AHSN sabitinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil 5.27 : AHSN sabitinin TN'ye olan etkisi



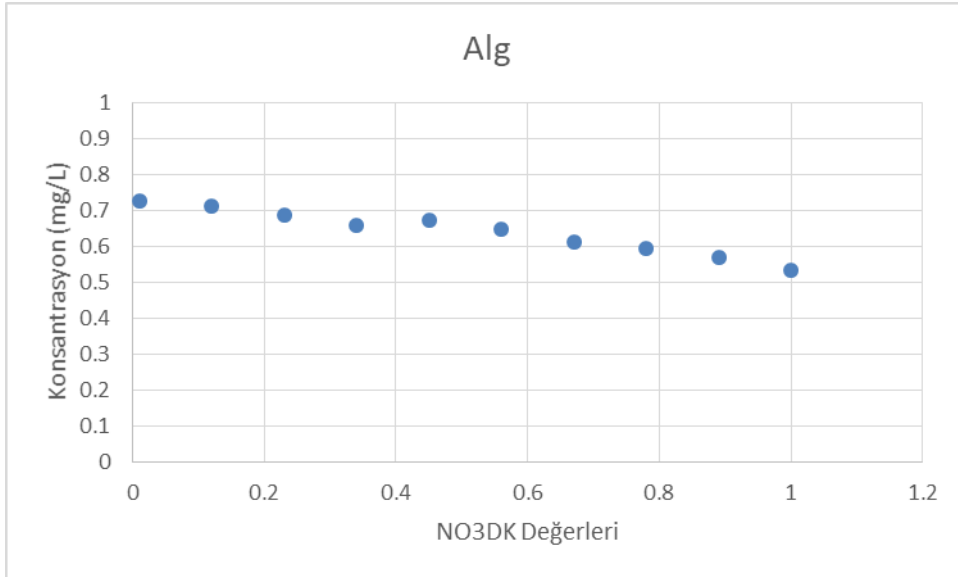
Şekil 5.28 : AHSN sabitinin TP'ye olan etkisi



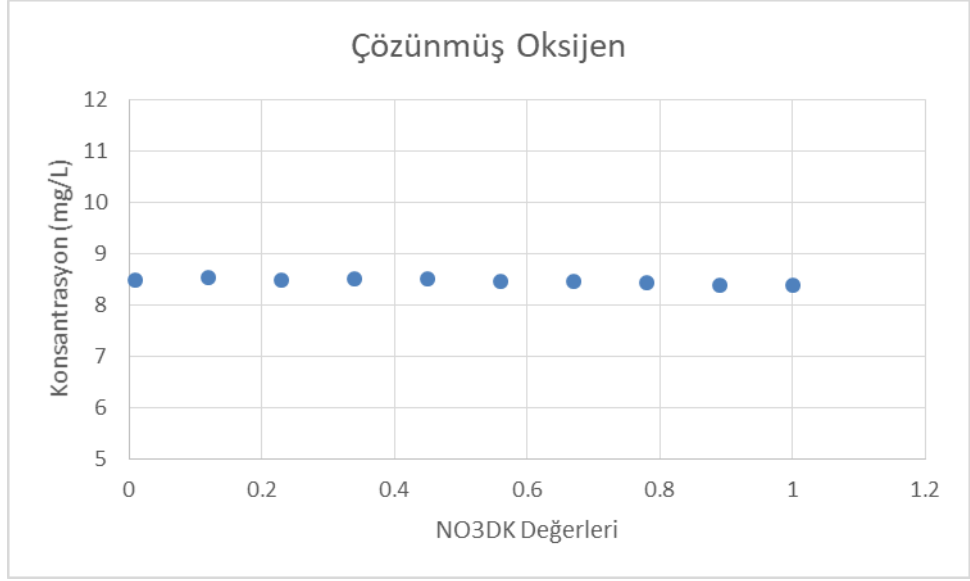
Şekil 5.29 : AHSN sabitinin nitrat-nitrit konsantrasyonuna olan etkisi

Azot limitli büyüme hızının alg yarı doygunluk sabiti (AHSN), alg ve nitrat-nitrit konsantrasyonlarına olan etkisi düşük seviyelerde iken diğer (ÇO, TN, TP) model sonuçlarına etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

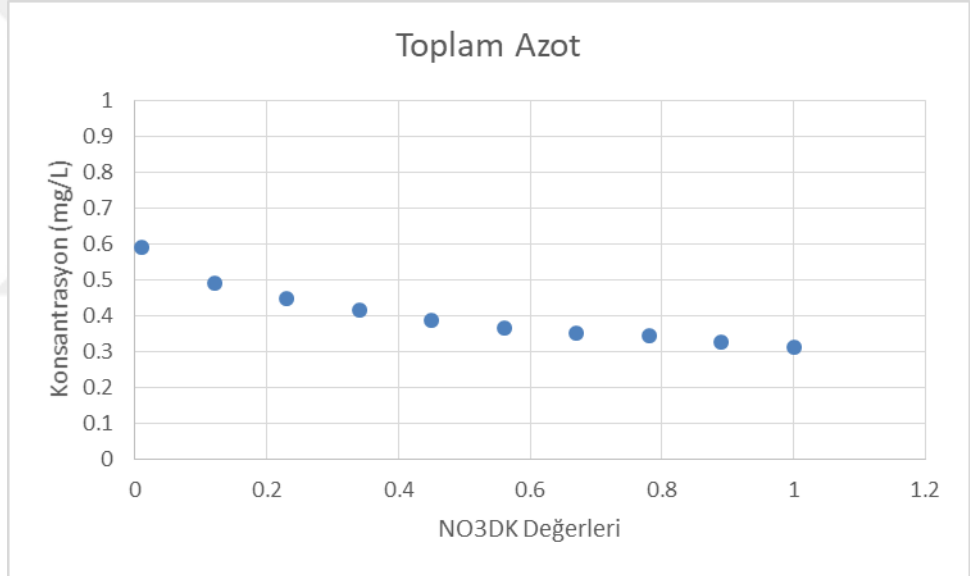
NO₃DK parametresinin model sonuçlarına etkisi Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 ile verilmiştir. NO₃DK kinetik parametresi için 0,01 ile 1 arasında değişen değerler modele tanımlanmış, diğer kinetik parametreler için ise varsayılan değerlerle simülasyonlar yapılmıştır.



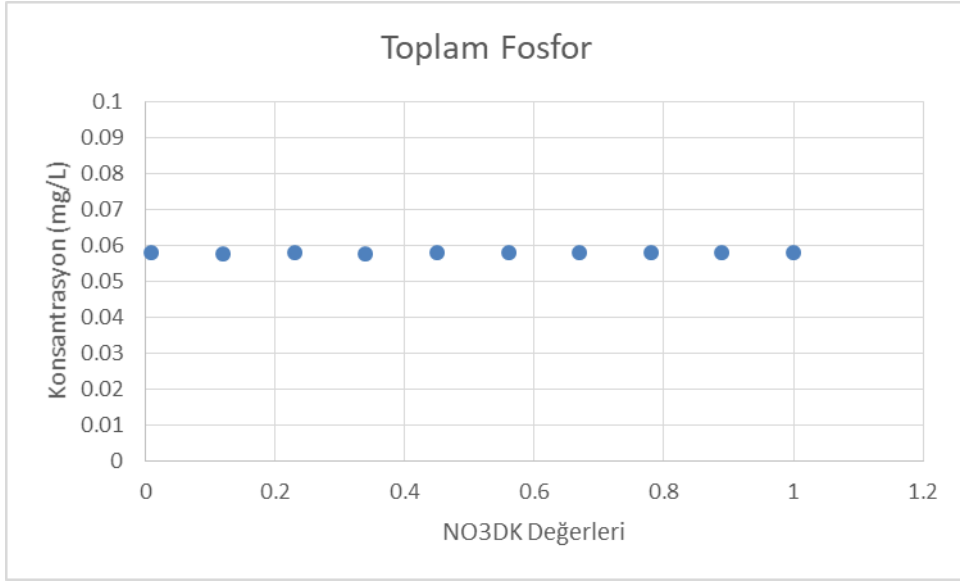
Şekil 5.30 : NO₃DK kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi



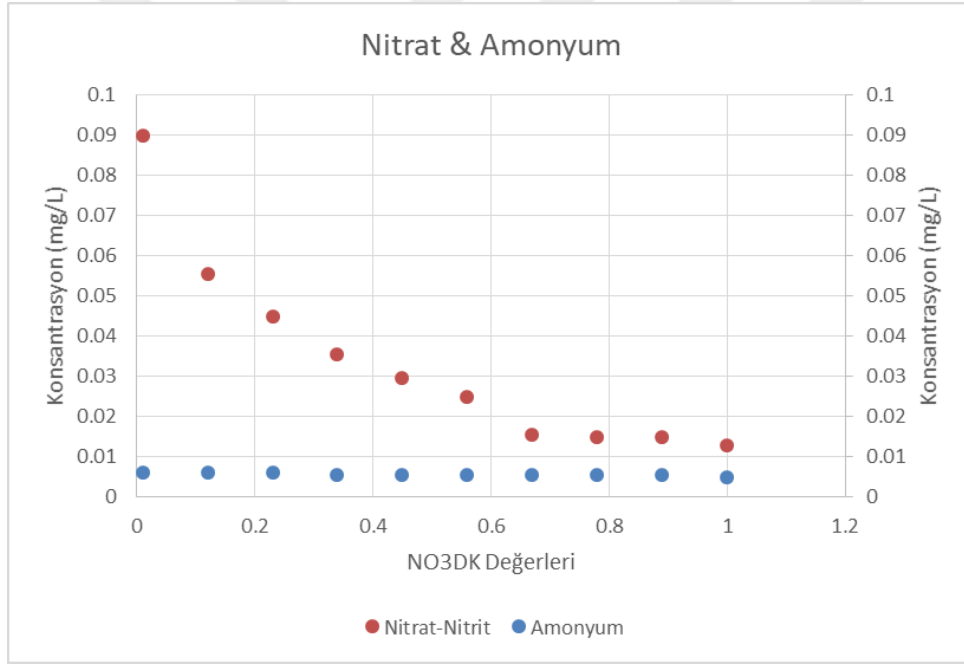
Şekil 5.31 : NO3DK kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil 5.32 : NO3DK kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi



Şekil 5.33 : NO3DK kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi



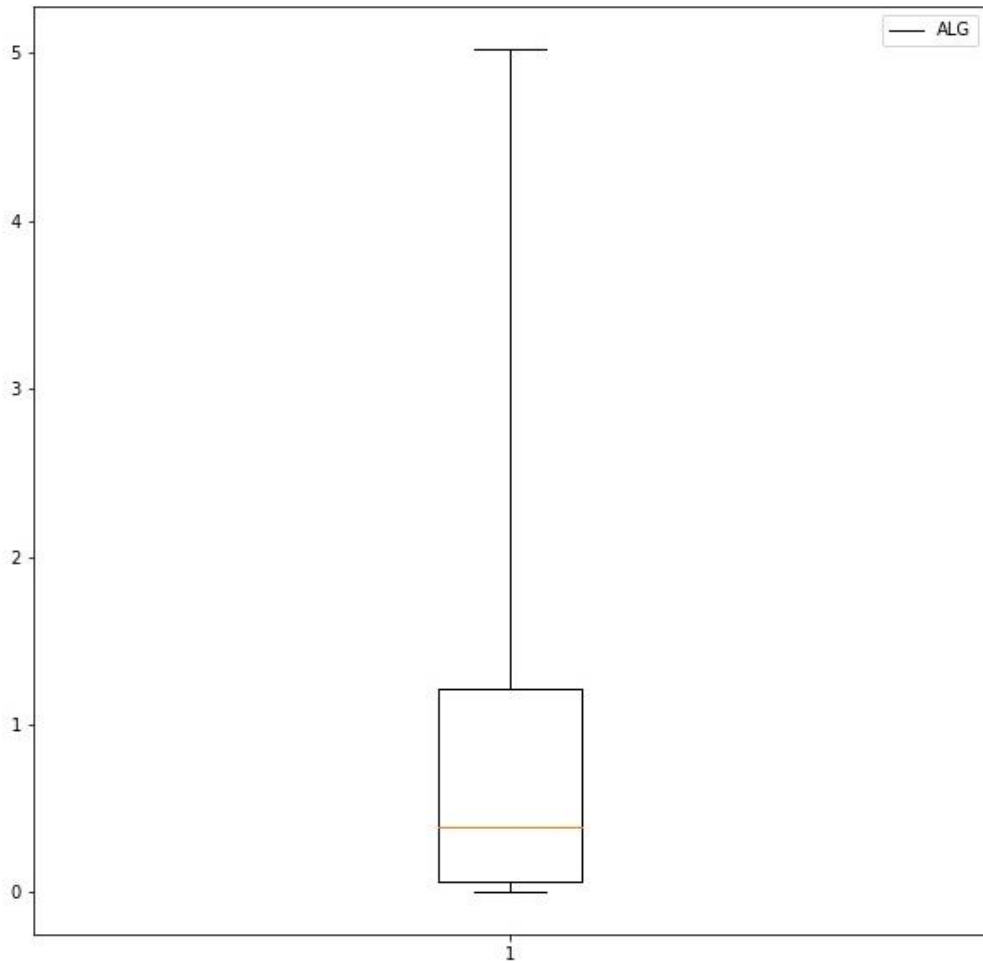
Şekil 5.34 : NO3DK kinetik parametresinin nitrat ve amonyum konsantrasyonlarına olan etkisi

Denitrifikasyon hızının (NO3DK, nitrat bozunma hızı) ÇO ve TP model sonuçlarına etkisinin olmadığı gözlemlenirken, Alg ve TN konsantrasyonlarını (parametre değerlerinin artışıyla model sonuçlarının azalması yönünde, Şekil 5.30 ve Şekil 5.32) etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca NO3DK parametresinin özellikle 0,8 değerine gelinceye kadar nitrat konsantrasyonunda önemli değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.34).

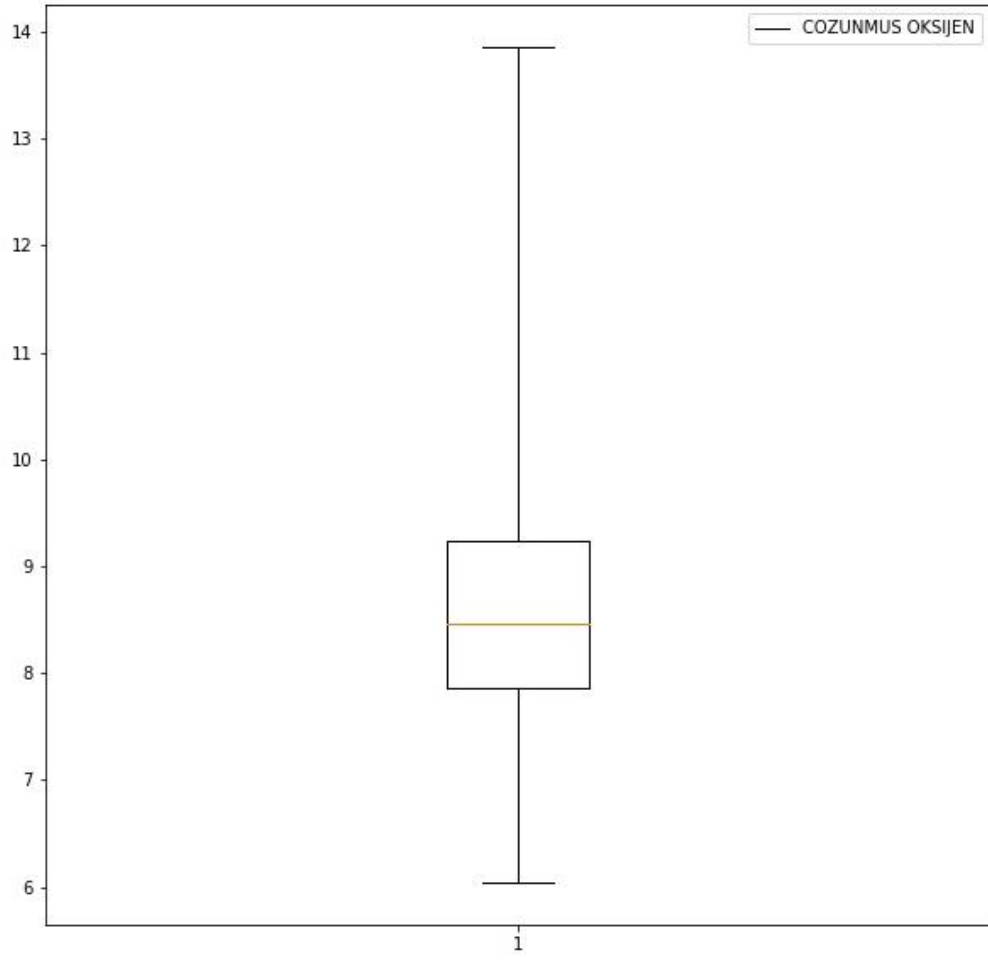
5.2.Belirsizlik Analizi Sonuçları

Duyarlılık analizi sonuçlarından elde edilen bilgilerin yardımıyla belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar, hangi kinetik parametrelerin / sabitlerin ve parametrelerin hangi aralıklarda model sonuçlarına duyarlı oldukları hakkında bilgi vermektedir.

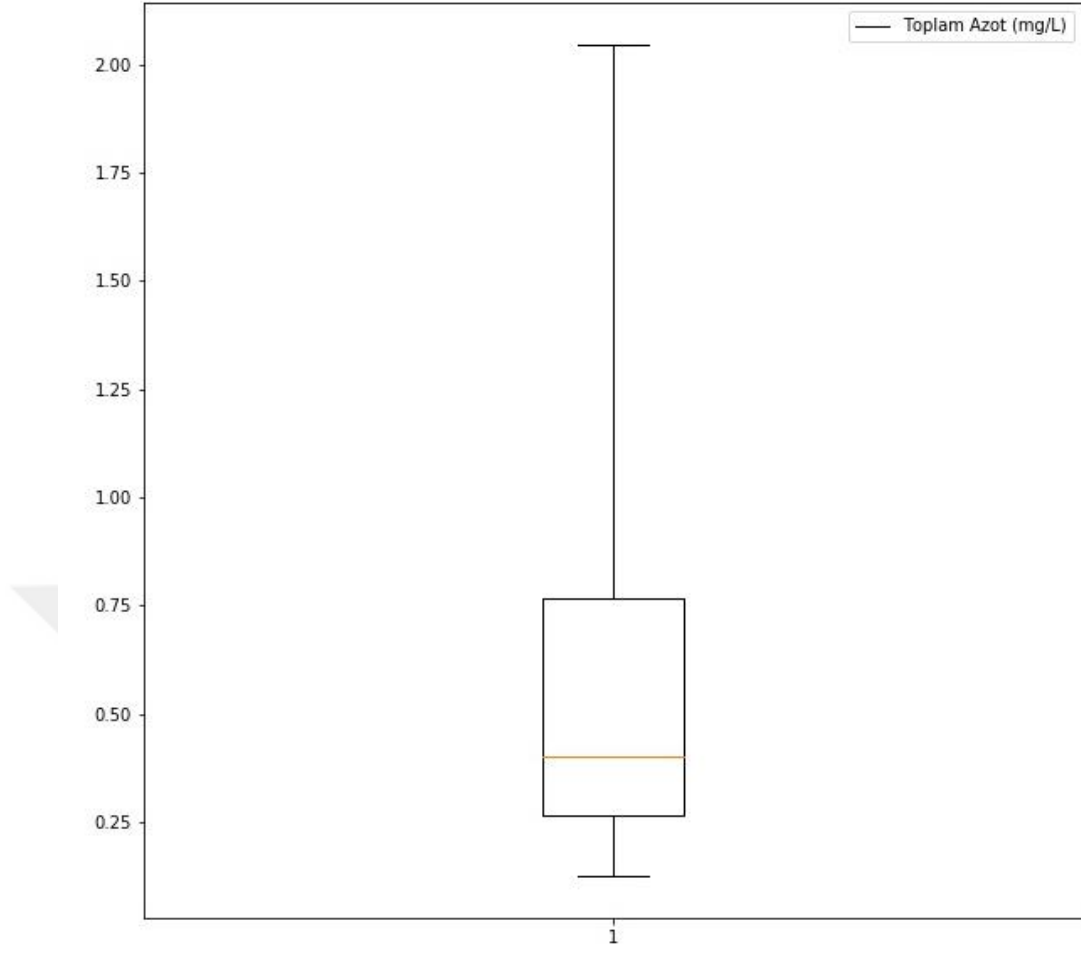
Belirsizlik analizi için duyarlı kinetik parametreler/sabitler, AG, AR, AM, AS, AHSP, AHSN ve NO3DK'dır ve sırasıyla tanımlı oldukları aralıklar 0,5-3, 0,02-0,12, 0,01-0,3, 0,0005-0,03, 0,01-0,3 ve 0,01-0,8'dir. Belirsizlik analizi için parametrelerin tanımlı aralıklarında her bir simülasyon için rastgele sayılar seçilmiştir. Bu işlem 500 defa tekrarlanmıştır ve bunun sonucunda belirsizlik analizini gerçekleştirmek için 500 simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlar sonucunda bütün model çıktıları (500 adet spr.opt dosyası) her bir parametre için bir tane kutu grafiği olacak şekilde kod yardımıyla oluşturulmuştur. Bu grafikler Alg, ÇO, TN ve TP konsantrasyonları için Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de verilmiştir.



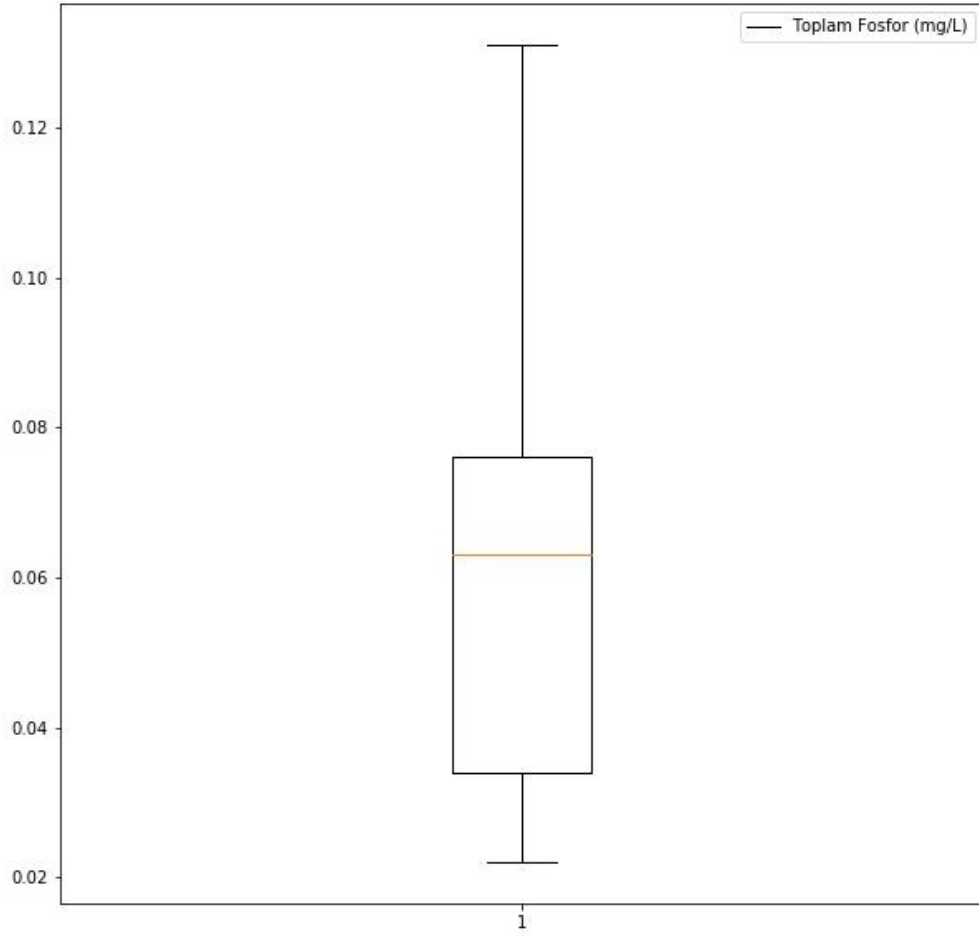
Şekil 5.35 : Alg konsantrasyonunun (mg/L) belirsizlik analizi sonucu



Şekil 5.36 : ÇO konsantrasyonunun (mg/L) belirsizlik analizi sonucu



Şekil 5.37 : TN konsantrasyonunun belirsizlik analizi sonucu



Şekil 5.38 : TP konsantrasyonunun belirsizlik analizi sonucu

Bu grafikler her bir parametrenin %5 ve %95 güven seviyelerinde kalan değerleri için oluşturulmuş olup dışarda kalan veriler (outliers) grafikten çıkartılmıştır. Buradan, Melen Baraj Gölü'nün su kalitesi modelleme çalışmasından elde edilecek sonuçlarından, Alg, ÇO, TN ve TP konsantrasyonlarının %5-%95 güven seviyelerinde sırasıyla 0-5 mg/L, 6,1-13,85 mg/L, 0,125-2,05 mg/L ve 0,021-0,132 mg/L değerleri arasında kalacağı sonucuna varılmıştır.

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

CE-QUAL-W2 su kalitesi modeli ile belirsizlik analizi için 500 simülasyon gerçekleştirilmiş olup tahmin edilen Alg, ÇO, TN ve TP konsantrasyonları kullanılarak Melen Baraj Gölü'nün trofik seviyesi Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmiştir. Bu yönetmelik ilk defa “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği” adıyla 30 Kasım 2012 tarih ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmıştır. Daha sonra 15 Nisan 2015 tarihinde (29327 sayılı Resmi Gazete) ve 10 Ağustos 2016 tarihinde (29797 sayılı Resmi Gazete) değişikliğe uğramıştır (YSKY, 2016). Bu yönetmelik ekinde yer alan Tablo 9 (Çizelge 6.1) ile göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri verilmektedir.

Çizelge 6.1 : Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yer alan Tablo 9: Göl, Gölet ve Baraj gölleri Ötrofikasyon Kriterleri (YSKY, 2016)

Su Kalitesi Sınıfı	TP (µg/L)	TN (µg/L)	Klorofil -a (µg/L)	Secchi Disk Derinliği (m)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)
Oligotrofik	< 10	< 350	< 3,5	> 4	> 7
Mezotrofik	30	650	9	2	6
	50*	1000*	15*	1,5*	4*
Ötrofik	100	1500	25	1	3
Hipertrofik	> 100	> 1500	> 25	< 1	< 3

* Gölet veya baraj göllerinde geçerlidir.

500 simülasyon sonucunda %95 güven seviyesinde Alg için 5000 µg/L, TN için 2050 µg/L ve TP için ise 132 µg/L ve %5 güven seviyesinde ÇO konsantrasyonu 6,1 mg/L tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra model sonuçlarında Klorofil-a değeri Alg konsantrasyonunun tam olarak 20 katı olarak görülmektedir, böylece Klorofil-a

konsantrasyonu 10000 µg/L'ye karşılık gelmektedir. Bu sonuçların baraj gölünün ilk katmanından elde edilen değerler olduğu ve ilk katmanın derinliğinin de bir metre (1 m) olduğu göz önünde bulundurulduğunda secchi disk derinliğinin bir metre ve altındaki değerleri için yapılan değerlendirmeler daha anlamlı olacaktır. Elde edilen medyan değerler Çizelge 6.1 ile karşılaştırıldığında ÇO değerleri meotrofik değerleri sağlarken, TP, TN, Klorofil-a ve secchi disk değerleri için baraj gölünün hipertrofik değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple baraj gölünün hipertrofik seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Klorofil-a sonuçlarının yüksek olmasının sebebi Alg konsantrasyonunun hesaplamalarında kullanılan kinetik parametrelerin SONUÇLAR bölümünde de bahsedildiği üzere alg kalibrasyon parametreleri olmasından ve bu parametrelerin alg konsantrasyonlarını yüksek derecede etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Modelde alg konsantrasyonu değişimleri TN ve TP'nin inorganik bileşenleriyle (PO_4^- , NO_3^- , NO_2^-) sağlandığı için ve TN-TP'deki organik bileşenlerin bu parametrelerdeki inorganik bileşenlerine göre daha baskın olmasından dolayı alg konsantrasyonlarındaki değişimlerin bu parametreler üzerindeki etkisi yüksek düzeylerde değildir.

Bu değerlendirmeler sonucunda Melen Baraj Gölü'nün, inşaatı tamamlandığında kirletici kaynaklarla ilgili herhangi bir önlem alınmaması halinde hipertrofik seviyede olacağı tahmin edilmektedir; bu nedenle, havzadaki noktasal ve yayılı yüklerin azaltılması önerilmektedir.

İzleme çalışmalarından elde edilen gözlem verilerinin mevcudiyeti modelleme çalışmalarında önemlidir. Gözlem verisiyle modelin kalibrasyon ve doğrulama aşaması gerçekleştirilir. Bu sayede daha sağlam (sonuçlar üreten) bir modele sahip olunur. Ayrıca duyarlılık ve belirsizlik analizi gözlem verilerinin mevcudiyetinde ve zaman serileriyle gerçekleştirildiğinde daha kesin sonuçlar elde edilir. Bu çalışmanın, inşaa aşamasında olan bir gölün su kalitesi parametrelerinin tahmini için gerçekleştirilmiş olduğu ve gözlem verilerinin olmadığı göz önünde bulundurulduğunda, baraj inşaatının tamamlanıp barajın işletme kotuna geldiği durumdan sonra izleme çalışmalarıyla elde edilen gözlem verileriyle kurulacak bir su kalitesi modeliyle karşılaştırılıp modelin ve belirsizlik analizinin doğruluğu karşılaştırılabilir. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında sedimentin su sütunuyla olan ilişkisi modele tanımlanmamıştır. İleride gerçekleştirilmesi beklenen Melen Baraj Gölü'nün su kalitesi modeli çalışmasında daha detaylı bir TN, TP tahmini için CE-QUAL-W2'nin

becerileri arasında yer alan sediment modelinin sisteme dahil edilmesi ve modelin çalıştırılarak kalibrasyon ve doğrulama aşamalarının gerçekleştirilip tekrar bir değerlendirmenin yapılması önerilmektedir. Böylelikle Melen Baraj Gölü için yapılan trofik seviye değerlendirmesi çok daha gerçekçi olacaktır.





KAYNAKLAR

- Afshar, Abbas, Hamideh Kazemi, and Motahareh Saadatpour. 2011. "Particle Swarm Optimization for Automatic Calibration of Large Scale Water Quality Model (CE-QUAL-W2): Application to Karkheh Reservoir, Iran." *Water Resources Management* 25(10):2613–32.
- Afshar, Abbas and Motahareh Saadatpour. 2009. "Reservoir Eutrophication Modeling, Sensitivity Analysis, and Assessment: Application to Karkheh Reservoir, Iran." *ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE* 26(7):1227–38.
- Al-Murib, M. and S. Wells. 2014. "Application of CE-QUAL-W2 on the Tigris River in Iraq." *World Environmental and Water Resources Congress 2016: Watershed Management, Irrigation and Drainage, and Water Resources Planning and Management - Papers from Sessions of the Proceedings of the 2016 World Environmental and Water Resources Congress*.
- Ambrose, R.B. ; Wool, T.A. ; Connolly, J.P. ; Schanz, R. W. 1988. "WASP4, a Hydrodynamic and Water-Quality Model - Model Theory, User's Manual, and Programmer's Guide." *Environmental Protection Agency, Athens, GA (USA). Environmental Research Lab*.
- Andres, T. H. 1997. "Sampling Methods and Sensitivity Analysis for Large Parameter Sets." *Journal of Statistical Computation and Simulation* 57(1–4):77–110. Retrieved (<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00949659708811804>).
- Arnold, J. G. and N. Fohrer. 2005. "SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling." *Hydrological Processes* 19(3):563–72.
- Ascough, J. C., H. R. Maier, J. K. Ravalico, and M. W. Strudley. 2008. "Future Research Challenges for Incorporation of Uncertainty in Environmental and Ecological Decision-Making." *Ecological Modelling* 219(3–4):383–99. Retrieved (<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380008003554>).
- Van Asselt, Marjolein B. A. and Jan Rotmans. 2002. "Uncertainty in Integrated Assessment Modelling. From Positivism to Pluralism." *Climatic Change* 54(1–2):75–105.
- Banta, Edward R., Eileen P. Poeter, John E. Doherty, and Mary C. Hill. 2006. "JUPITER: Joint Universal Parameter Identification and Evaluation of Reliability — An Application Programming Interface (API) for Model Analysis." *Environmental Protection*.
- Beck, M. B. 2005. "Environmental Foresight and Structural Change." *Environmental Modelling and Software* 20(6):651–70.
- Beck, M. B. 1987. "Water Quality Modeling: A Review of the Analysis of Uncertainty." *Water Resources Research* 23(8):1393–1442.
- Beven, K. 2002. "Towards a Coherent Philosophy for Modelling the Environment."

- Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 458(2026):2465–84. Retrieved (<http://rspa.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspa.2002.0986>).
- Beven, Keith and Andrew Binley. 1992. “The Future of Distributed Models: Model Calibration and Uncertainty Prediction.” *Hydrological Processes* 6(3):279–98.
- Bocaniov, Serghei. 2002. “Hydrodynamics and Sediment-Related Nutrient Retention in the Lower Reach of the Iron Gate 1 Reservoir (Danube River, Romania).” Delft.
- Borsuk, M. E., C. A. Stow, R. A. Luettich, H. W. Paerl, and J. L. Pinckney. 2001. “Modelling Oxygen Dynamics in an Intermittently Stratified Estuary: Estimation of Process Rates Using Field Data.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52(1):33–49.
- Bowen, J. D. 2000. “Calibration Performance of a Two-Dimensional, Laterally-Averaged Eutrophication Model of a Partially Mixed Estuary.” *Draft Submitted for Publication in the Proceedings of the 6th International Estuarine and Coastal Modeling Conference* 28223(704):1–13.
- Bowen, James D. and Jeffrey W. Hieronymus. 2003. “A CE-QUAL-W2 Model of Neuse Estuary for Total Maximum Daily Load Development.” *Journal of Water Resources Planning and Management* 129(4):283. Retrieved (http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=4Fnlmm9gLip44Dko7Dh&page=1&doc=1).
- Cacuci, Dan G. 1981. “Sensitivity Theory for Nonlinear Systems. Part I and II.” *Journal of Mathematical Physics* 22(12):2794–2802. Retrieved (<http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.525186>).
- Chang, Chih Hua ve diğ. 2015. “Assessment of the Impacts of Climate Change on the Water Quality of a Small Deep Reservoir in a Humid-Subtropical Climatic Region.” *Water (Switzerland)* 7(4):1687–1711.
- Chung, S. W. and J. K. Oh. 2006. “Calibration of CE-QUAL-W2 for a Monomictic Reservoir in a Monsoon Climate Area.” Pp. 29–37 in *Water Science and Technology*, vol. 54.
- Cole, T. and S. Wells. 2006. “CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.5. User Manual.”
- Cole, T. and S. Wells. 2017. “CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 4.1. User Manual.” (October).
- Cole, Thomas M. and Dorothy H. Tillman. 2001. “Water Quality Modeling of Allatoona and West Point Reservoirs Using CE-QUAL-W2.” *Sr-01-3* (July).
- Cole, Thomas M. and Scott A. Wells. 2000. “CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.0.” (August).
- Coleman, Hugh W. and W.Glenn Steele. 2009. *Experimentation, Validation, and Uncertainty Analysis for Engineers: Third Edition*.
- Dausman, Alyssa M., John Doherty, Christian D. Langevin, and Michael C. Sukop. 2010. “Quantifying Data Worth toward Reducing Predictive Uncertainty.”

Ground Water 48(5):729–40.

- Debele, B., R. Srinivasan, and J. Y. Parlange. 2006. “Coupling Upland Watershed and Downstream Waterbody Hydrodynamic and Water Quality Models (SWAT and CE-QUAL-W2) for Better Water Resources Management in Complex River Basins.” *Environmental Modeling and Assessment* 13(1):135–53.
- Deus, Ricardo ve diğ. 2013. “Impact Evaluation of a Pisciculture in the Tucuruí Reservoir (Pará, Brazil) Using a Two-Dimensional Water Quality Model.” *Journal of Hydrology* 487:1–12. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.022>).
- Dewulf, Art, Marc Craps, Rene Bouwen, Tharsi Taillieu, and C. Pahl-Wostl. 2005. “Integrated Management of Natural Resources: Dealing with Ambiguous Issues, Multiple Actors and Diverging Frames.” *Water Science and Technology* 52(6):115–24.
- Doherty, J. 2015. “PEST and Its Utility Support Software, Theory.” *Watermark Numerical Publishing*.
- Downing, D. J., R. H. Gardner, and F. O. Hoffman. 1985. “An Examination of Response-Surface Methodologies for Uncertainty Analysis in Assessment Models.” *Technometrics* 27(2):151–63.
- DSI. 2008. *Büyük Melen Havzası Entegre Koruma ve Su Yönetimi Master Planı*.
- EPA. 1989. *Interim Final: Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I: Human Health Evaluation Manual*. Washington, D.C.
- Etemad-Shahidi, A., A. Afshar, H. Alikia, and H. Moshfeghi. 2009. “Total Dissolved Solid Modeling; Karkheh Reservoir Case Example.” *International Journal of Environmental Research* 3(4):671–80.
- Etemad-Shahidi, Amir, Mostafa Pirnia, Hengameh Moshfeghi, and Charles Lemckert. 2014. “Investigation of Hydraulics Transport Time Scales within the Arvand River Estuary, Iran.” *Hydrological Processes* 28(25):6006–15.
- Ferson, S. and R. Kuhn. 1992. “Propagating Uncertainty in Ecological Risk Analysis Using Interval and Fuzzy Arithmetic.” *Computer Techniques in Environmental Studies* IV:387–401.
- Flowers, Joan D., Larry Hauck, and Richard Kiesling. 2001. *Water Quality Modeling of Lake Waco Using CE-QUAL-W2 for Assessment of Phosphorus Control Strategies*.
- Friedl, Gabriela and Alfred Wüest. 2002. “Disrupting Biogeochemical Cycles - Consequences of Damming.” *Aquatic Sciences* 64(1):55–65.
- Funtowicz, S. .. and J. .. Ravetz. 1990. *Uncertainty and Quality in Science for Policy*.
- Gallagher, Mark and John Doherty. 2007. “Predictive Error Analysis for a Water Resource Management Model.” *Journal of Hydrology* 334(3–4):513–33.
- Goldstein, Michael and David Wooff. 2007. *Bayes Linear Statistics: Theory and Methods*.
- Grant, W. E., W. E. Grant, E. K. Pedersen, S. L. Marin, and S. L. Marin. 1997. *Ecology and Natural Resource Management: Systems Analysis and Simulation*. Wiley. Retrieved (<https://books.google.com.tr/books?id=GcPqDM-Ww-8C>).

- Gürel, M., A. Ekdal, G. Cüceloğlu, and B. Kaynaroğlu. 2018. *Melen Barajı Havzası Özel Hüküm Belirleme Çalışması Kapsamında Havza Modeli ve Su Kalitesi (Su Ekolojisi) Modelinin Yapılması Projesi, Nihai Rapor*. İstanbul.
- GWP. 2000. *Integrated Water Resources Management*. Retrieved (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21547433>).
- Hamby, D. M. 1995. "A Comparison of Sensitivity Analysis Techniques." *Health Physics* 68(2):195–204.
- Hamilton, David P. and S. Geoffre. Schladow. 1997. "Prediction of Water Quality in Lakes and Reservoirs. Part I — Model Description." *Ecological Modelling* 96(1–3):91–110. Retrieved (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380096000622>).
- Hammonds, J. S., F. O. Hoffman, and S. M. Bartell. 1994. "An Introductory Guide to Uncertainty Analysis in Environmental and Health Risk Assessment." *Energy* 47.
- Hanna, R. Blair, Laurel Saito, John M. Bartholow, and Jeff Sandelin. 1999. "Results of Simulated Temperature Control Device Operations on in-Reservoir and Discharge Water Temperatures Using CE-QUAL-W2." *Lake and Reservoir Management* 15(2):87–102.
- Hartnett, M. and S. Nash. 2004. "Modelling Nutrient and Chlorophyll_a Dynamics in an Irish Brackish Waterbody." *Environmental Modelling and Software* 19(1):47–56.
- Hester, Cyrus M. and John Coleman. 2014. "Between an Uncomfortable Decision and an Absurd One." *Groundwater*, 645–46.
- Heuvelink, Gerard B. M. 1998. "Uncertainty Analysis in Environmental Modelling under a Change of Spatial Scale." *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50:255–64.
- Hill, Mary C. ve diğ. 2016. "Practical Use of Computationally Frugal Model Analysis Methods." *Groundwater* 54(2):159–70.
- Hodges, Ben and Chris Dallimore. 2001. "Estuary and Lake Computer Model, ELCOM, Science Manual, Code Version 1.5.0, Centre for Water Research, University of Western Australia 2001. Holland,."
- Hoffman, F. Owen and Charles W. Miller. 1983. "Uncertainties in Environmental Radiological Assessment Models and Their Implications." *Proceedings of the Nineteenth Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection and Measurements* 1–48. Retrieved (http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/14/795/14795412.pdf).
- IAEA. 1989. *Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Retrieved (<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/3703/Evaluating-the-Reliability-of-Predictions-Made-Using-Environmental-Transfer-Models>).
- Iman, Ronald L. and W. J. Conover. 1980. "Small Sample Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models, with an Application to Risk Assessment." *Communications in Statistics - Theory and Methods* 9(17):1749–1842.
- Iman, Ronald L. and Jon C. Helton. 1988. "An Investigation of Uncertainty and

- Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models.” *Risk Analysis* 8(1):71–90.
- Iman, Ronald and M. J. Shortencarier. 1984. *Fortran 77 Program and User’s Guide for the Generation of Latin Hypercube and Random Samples for Use with Computer Models*.
- Imberger, J. and JC Patterson. 1981. “Dynamic Reservoir Simulation Model - DYRESM: 5.” Pp. 310–61 in *Transport Models for Inland and Coastal Waters*.
- Jakeman, A. J. and R. A. Letcher. 2003. “Integrated Assessment and Modelling: Features, Principles and Examples for Catchment Management.” Pp. 491–501 in *Environmental Modelling and Software*, vol. 18.
- James, I. D. 2002. “Modelling Pollution Dispersion, the Ecosystem and Water Quality in Coastal Waters: A Review.” *Environmental Modelling and Software* 17(4):363–85.
- James, Scott C., John E. Doherty, and Al Aziz Eddebbarh. 2009. “Practical Postcalibration Uncertainty Analysis: Yucca Mountain, Nevada.” *Ground Water* 47(6):851–69.
- Jøneh-Clausen, T. 2004. *Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005: Why, What and How*. Retrieved (<http://www.tnmckc.org/upload/document/bdp/2/2.7/GWP/TJC-0401.pdf>).
- Kuo, By Jan-tai, Robert V Thomann, and M. Asce. 1984. “Phytoplankton Modeling in the Embayments of Lakes.”
- Kuo, J. T. ve diğ. 2003. “Water Quality Modeling for the Feitsui Reservoir in Northern Taiwan.” *Journal of the American Water Resources Association* 39(3):671–87.
- Kuo, Jan-Tai and Robert V. Thomann. 1983. *Phytoplankton Modeling in the Embayments of Lakes*.
- Kuo, Jan Tai ve diğ. 2006. “Eutrophication Modelling of Reservoirs in Taiwan.” *Environmental Modelling and Software* 21(6):829–44.
- Kurup, Rajendra G., David P. Hamilton, and Robert L. Phillips. 2000. “Comparison of Two 2-Dimensional, Laterally Averaged Hydrodynamic Model Applications to the Swan River Estuary.” *Mathematics and Computers in Simulation* 51(6):627–38. Retrieved (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378475499001469>).
- Lamping, Jens, Fred Worrall, Huw Morgan, and Sam Taylor. 2005. “Effectiveness of Aeration and Mixing in the Remediation of a Saline Stratified River.” *Environmental Science and Technology* 39(18):7269–78.
- Leaf, Andrew T., Michael N. Fienen, Randall J. Hunt, and Cheryl A. Buchwald. 2015. “Groundwater/Surface-Water Interactions in the Bad River Watershed, Wisconsin.” Retrieved (<http://pubs.er.usgs.gov/publication/sir20155162>).
- Liu, W. C., H. H. Chen, W. H. Hsieh, and C. H. Chang. 2006. “Linking Watershed and Eutrophication Modelling for the Shihmen Reservoir, Taiwan.” Pp. 39–46 in *Water Science and Technology*, vol. 54.
- Liu, Wen Cheng, Wei Bo Chen, and Nobuaki Kimura. 2009. “Impact of Phosphorus Load Reduction on Water Quality in a Stratified Reservoir-Eutrophication Modeling Study.” *Environmental Monitoring and Assessment* 159(1–4):393–

- Lu, Dan, Ming Ye, and Mary C. Hill. 2012. "Analysis of Regression Confidence Intervals and Bayesian Credible Intervals for Uncertainty Quantification." *Water Resources Research* 48(9).
- Lung, Wu Seng and Sen Bai. 2003. "A Water Quality Model for the Patuxent Estuary: Current Conditions and Predictions under Changing Land-Use Scenarios." *Estuaries* 26(2):267–79.
- Martin, James L. 1988. "Application Of Two-Dimensional Water Quality Model." 114(5):1106–19.
- Martz, Harry F. and Ray A. Waller. 1982. "Bayesian Reliability Analysis." *Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. Applied Probability and Statistics Section*. xix, 745.
- Mateus, Marcos, Carina Almeida, David Brito, and Ramiro Neves. 2014. "From Eutrophic to Mesotrophic: Modelling Watershed Management Scenarios to Change the Trophic Status of a Reservoir." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(3):3015–31.
- McCutcheon, S. C. 2000. "Water Quality Modelling: Volume 1. Transport and Surface Exchange in Rivers." *Florida, USA: CRC Press* 212–16.
- McKay, M. D., R. J. Beckman, and W. J. Conover. 1979. "A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code." *Technometrics* 21(2):239–45. Retrieved (<http://www.jstor.org/stable/1268522>).
- Mead, R. and D. J. Pike. 1975. "A Review of Response Surface Methodology from a Biometric Viewpoint." *Biometrics* 31(4):803–51.
- Mooij, Wolf M. de. 2010. "Challenges and Opportunities for Integrating Lake Ecosystem Modelling Approaches." *Aquatic Ecology* 44(3):633–67.
- Moore, Catherine and John Doherty. 2005. "Role of the Calibration Process in Reducing Model Predictive Error." *Water Resources Research* 41(5):1–14.
- Moore, Richard Bridge, Craig M. Johnston, Keith W. Robinson, and Jeffrey R. Deacon. 2004. "Estimation of Total Nitrogen and Phosphorus in New England Streams Using Spatially Referenced Regression Models."
- Morgan, Millett Granger, Max Henrion, and Mitchell Small. 1992. *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge university press.
- Naithani, Jaya, François Darchambeau, Eric Deleersnijder, Jean-Pierre Descy, and Eric Wolanski. 2007. "Study of the Nutrient and Plankton Dynamics in Lake Tanganyika Using a Reduced-Gravity Model." *Ecological Modelling* 200(1–2):225–33. Retrieved April 28, 2018 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380006003656?via%3Dihub>).
- Nielsen, Eric. 2005. "Algal Succession and Nutrient Dynamics in Elephant Butte Reservoir." Brigham Young University.
- O'Neill, R. V, R. H. Gardner, F. O. Hoffman, and G. Schwarz. 1981. "Parameter Uncertainty and Estimated Radiological Dose to Man from Atmospheric ¹³¹I

- Releases: A Monte Carlo Approach.” *Health Physics* 40(5):760–64.
- OSIB. 2015. *Melen Çayı Alt Havzası Koruma Eylem Planı Raporu*. Ankara.
- Ostfeld, Avi and Shani Salomons. 2005. “A Hybrid Genetic - Instance Based Learning Algorithm for CE-QUAL-W2 Calibration.” *Journal of Hydrology* 310(1–4):122–42.
- Pahl-Wostl, C. 2007. “The Implications of Complexity for Integrated Resources Management.” *Environmental Modelling and Software* 22(5):561–69.
- Pahl-Wostl, C. 2002. “Towards Sustainability in the Water Sector - The Importance of Human Actors and Processes of Social Learning.” *Aquatic Sciences* 64(4):394–411.
- Park, Yongeun, Kyung Hwa Cho, Joo Hyon Kang, Seung Won Lee, and Joon Ha Kim. 2014. “Developing a Flow Control Strategy to Reduce Nutrient Load in a Reclaimed Multi-Reservoir System Using a 2D Hydrodynamic and Water Quality Model.” *Science of the Total Environment* 466–467:871–80.
- Rangel-Peraza, J. G., J. De Anda, F. A. Gonzalez-Farias, and M. Rode. 2016. “Sensitivity and Uncertainty Analysis on Water Quality Modelling of Aguamilpa Reservoir.” *Journal of Limnology* 75:81–92.
- Refsgaard, Jens Christian and Hans Jørgen Henriksen. 2004. “Modelling Guidelines – Terminology and Guiding Principles.” *Advances in Water Resources* 27(1):71–82.
- Refsgaard, Jens Christian, Hans Jørgen Henriksen, William G. Harrar, Huub Scholten, and Ayalew Kassahun. 2005. “Quality Assurance in Model Based Water Management - Review of Existing Practice and Outline of New Approaches.” *Environmental Modelling & Software* 20(10):1201–15. Retrieved ([http](http://)).
- Refsgaard, Jens Christian, Jeroen P. van der Sluijs, Anker Lajer Højberg, and Peter A. Vanrolleghem. 2007. “Uncertainty in the Environmental Modelling Process - A Framework and Guidance.” *Environmental Modelling and Software* 22(11):1543–56.
- Risley, John C., Jim Constantz, Hedef Essaid, and Stewart Rounds. 2010. “Effects of Upstream Dams versus Groundwater Pumping on Stream Temperature under Varying Climate Conditions.” *Water Resources Research* 46(6).
- Rounds, Stewart A. and USGS. 2007. “Temperature Effects of Point Sources, Riparian Shading, and Dam Operations on the Willamette River, Oregon.” *Scientific Investigations* 2007-5185 (5185):34. Retrieved (<http://pubs.usgs.gov/sir/2007/5185/pdf/sir20075185.pdf>).
- Rounds, Stuart A. and Norman L. Buccola. 2015. “Improved Algorithms in the CE-QUAL-W2 Water-Quality Model for Blending Dam Releases to Meet Downstream Water-Temperature Targets.” Retrieved (<http://pubs.usgs.gov/of/2015/1027/pdf/ofr2015-1027.pdf>).
- Rubinstein, Reuven Y. 1981. “Simulation and the Monte Carlo Method.” Wiley 278. Retrieved (http://doi.wiley.com/10.1111/j.1751-5823.2009.00074_8.x).
- S., Glasgow Harry, Fortney Matthew D., Lee Jejung, Graettinger Andrew J., and Reeves Howard W. 2005. “MODFLOW 2000 Head Uncertainty, a First-Order Second Moment Method.” *Groundwater* 41(3):342–50. Retrieved

(<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2003.tb02603.x>).

- Sadeghian, Amir, Steven C. Chapra, Jeff Hudson, Howard Wheeler, and Karl Erich Lindenschmidt. 2018. "Improving in-Lake Water Quality Modeling Using Variable Chlorophyll A/algal Biomass Ratios." *Environmental Modelling and Software* 101:73–85. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.009>).
- Saito, Laurel, Brett M. Johnson, John Bartholow, and R. Blair Hanna. 2001. "Assessing Ecosystem Effects of Reservoir Operations Using Food Web-Energy Transfer and Water Quality Models." *Ecosystems* 4(2):105–25.
- Saltelli, A. and T. Homma. 1992. "Sensitivity Analysis for Model Output. Performance of Black Box Techniques on Three International Benchmark Exercises." *Computational Statistics and Data Analysis* 13(1):73–94.
- Scavia, Donald, William F. Powers, Raymond P. Canale, and Jennie L. Moody. 1981. "Comparison of First-order Error Analysis and Monte Carlo Simulation in Time-dependent Lake Eutrophication Models." *Water Resources Research* 17(4):1051–59.
- Scholten, Huub ve diğ. 2007. "A Methodology to Support Multidisciplinary Model-Based Water Management." *Environmental Modelling and Software* 22(5):743–59.
- Scott, E.Marian. 1996. "Uncertainty And Sensitivity Studies Of Models Of Environmental Systems." 255–59.
- Skinner, Daniel J. C., Sophie A. Rocks, and Simon J. T. Pollard. 2014. "A Review of Uncertainty in Environmental Risk: Characterising Potential Natures, Locations and Levels." *Journal of Risk Research* 17(2):195–219.
- Slominski, Spencer, Robert Annear, Christopher J. Berger, Scott A. Wells, and Thomas M. Cole. 2002. *Upper Spokane River Model : Boundary Conditions and Model Setup*.
- Smith, David L., Tammy L. Threadgill, and Catherine E. Larson. 2012. "Modeling the Hydrodynamics and Water Quality of the Lower Minnesota River Using Modeling the Hydrodynamics and Water Quality of the Lower Minnesota River Using." (May).
- Suh, Seung Won, Jung Hoon Kim, In Tae Hwang, and Hye Keun Lee. 2004. "Water Quality Simulation on an Artificial Estuarine Lake Shiwhaho, Korea." Pp. 143–58 in *Journal of Marine Systems*, vol. 45.
- Sullivan, Annett B., Henriette I. Jager, and Ralph Myers. 2003. "Modeling White Sturgeon Movement in a Reservoir: The Effect of Water Quality and Sturgeon Density." *Ecological Modelling* 167(1–2):97–114.
- Tavşan, Ç. 2008. "Melen Havzası'nda Yayılı Besi Maddesi Yüklerinin Azaltılması Amacı İle En İyi Yönetim Uygulamalarının Araştırılması." İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Thompson, Matthew and Jord J. Warmink. 2016. "Natural Hazard Modeling and Uncertainty Analysis." *Natural Hazard Uncertainty Assessment: Modeling and Decision Support* 11–19.
- Thompson, Matthew and Jord J. Warmink. 2016. "Natural Hazard Modeling and Uncertainty Analysis." *Natural Hazard Uncertainty Assessment: Modeling and*

- Tong, S. T. Y. and W. Chen. 2002. “Modeling the Relationship between Land Use and Surface Water Quality.” *Journal of Environmental Management* 66(4):377–93. Retrieved (<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479702905931>).
- Tonkin, Matthew J., Claire R. Tiedeman, D. Matthew Ely, and Mary C. Hill. 2007. “OPR-PPR, a Computer Program for Assessing Data Importance to Model Predictions Using Linear Statistics.” Retrieved (<http://pubs.usgs.gov/tm/2007/tm6e2/>).
- TÜBİTAK MAM. 2017. *Melen Barajı Havzası Özel Hüküm Belirleme Çalışması Projesi, Ara Rapor*. İstanbul.
- Umorin, Mikhail Pavlovich. 2006. “Phytoplankton Growth Model for a Turbid Pulsed Aquatic Ecosystem.” Baylor University.
- Uusitalo, Laura, Annukka Lehtikainen, Inari Helle, and Kai Myrberg. 2015. “An Overview of Methods to Evaluate Uncertainty of Deterministic Models in Decision Support.” *Environmental Modelling & Software* 63:24–31.
- Vandenberg, Jerry A., Shwet Prakash, and Edward M. Buchak. 2015. “Sediment Diagenesis Module for CE-QUAL-W2. Part 1: Conceptual Formulation.” *Environmental Modeling and Assessment* 20(3):239–47.
- Vandenberghe, V., W. Bauwens, and P. A. Vanrolleghem. 2007. “Evaluation of Uncertainty Propagation into River Water Quality Predictions to Guide Future Monitoring Campaigns.” *Environmental Modelling and Software* 22(5):725–32.
- Walker, W. E. ve diğ. 2003. “Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support.” *Integrated Assessment* 4(1):5–17. Retrieved (<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/iaij.4.1.5.16466>).
- Wang, Qinggai, Shibe Li, Peng Jia, Changjun Qi, and Feng Ding. 2013. “A Review of Surface Water Quality Models.” *The Scientific World Journal* 2013:231768. Retrieved (<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3703326&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>).
- Warmink, J. J., J. A. Janssen, M. J. Booij, and M. S. Krol. 2010. “Identification and Classification of Uncertainties in the Application of Environmental Models.” *Environmental Modelling and Software* 25(12):1518–27.
- Welter, David E., Jeremy T. White, Randall J. Hunt, and John E. Doherty. 2015. “Approaches in Highly Parameterized Inversion: PEST ++ Version 3, A Parameter ESTimation and Uncertainty Analysis Software Suite Optimized for Large Environmental Models.” *U.S. Geological Survey (Techniques and Methods 7-C12)*:54. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.3133/tm7C12>).
- White, Jeremy T., John E. Doherty, and Joseph D. Hughes. 2014. “Quantifying the Predictive Consequences of Model Error with Linear Subspace Analysis.” *Water Resources Research* 50(2):1152–73.
- White, Jeremy T., Michael N. Fienen, and John E. Doherty. 2016. “A Python Framework for Environmental Model Uncertainty Analysis.” *Environmental Modelling and Software* 85:217–28. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.08.017>).

- White, Joseph D., Shane J. Prochnow, Chris T. Filstrup, J.Thad Scott, ve diğ. 2010. "A Combined Watershed-Water Quality Modeling Analysis of the Lake Waco Reservoir: I. Calibration and Confirmation of Predicted Water Quality." *Lake and Reservoir Management* 26(2):147–58.
- White, Joseph D., Shane J. Prochnow, Chris T. Filstrup, and Bruce W. Byars. 2010. "A Combined Watershed-Water Quality Modeling Analysis of the Lake Waco Reservoir: II. Watershed and Reservoir Management Options and Outcomes." *Lake and Reservoir Management* 26(2):159–67.
- Wiley, R., D. Smith, and J. Duke. 1996. "Modeling Water-Resource Systems for Water-Quality Management." *Journal of Water Resources Planning and Management* 122(3):171–79. Retrieved ([https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1996\)122:3\(171\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1996)122:3(171))).
- Worley, B. A. 1987. *Deterministic Uncertainty Analysis*.
- Wu, Ray Shyan, Wen Cheng Liu, and Wen Hsiung Hsieh. 2004. "Eutrophication Modeling in Shihmen Reservoir, Taiwan." *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 39(6):1455–77.
- Xu, Zhongyan, Adil N. Godrej, and Thomas J. Grizzard. 2007. "The Hydrological Calibration and Validation of a Complexly-Linked Watershed-Reservoir Model for the Occoquan Watershed, Virginia." *Journal of Hydrology* 345(3–4):167–83.
- Zhang, Zhonglong, Bowen Sun, and Billy E. Johnson. 2015. "Integration of a Benthic Sediment Diagenesis Module into the Two Dimensional Hydrodynamic and Water Quality Model - CE-QUAL-W2." *Ecological Modelling* 297:213–31. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.10.025>).
- Zorlutuna, Yiğit. 2007. "CE-QUAL-W2 Modelinin Baraj Göllerinde Uygulanması: Planlanan Melen Barajı Örneği." İstanbul Teknik Üniversitesi.

EKLER

Ek A1: Çoklu simülasyonlar için girdi dosyasının oluşturulması

Ek A2: Çoklu CE-QUAL-W2 Modeli Çalıştıran Python Kodu

Ek A3: Simülasyonu yapılan CE-QUAL-W2 model dosyasının içinden ‘spr.opt’ dosyalarının alınmasını sağlayan Python kodu

Ek A4 : CE-QUAL-W2 model çıktılarının analizine yardımcı olan Python Kodu

Ek B: Duyarlılık analizi kapsamında AE ve NH4DK parametrelerinin model sonuçlarına etkisi



Ek A1

```
import pandas as pd
import numpy as np
import random

BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI = int(input('BELIRSIZLIK ANALIZI ICIN GERCEKLESTIRILECEK OLAN KOSU
SAYISINI GIRINIZ: '))
MULTI_PYTON_RUN_GIRDI_DOSYASI = pd.read_csv('Senaryolar_BELIRSIZLIK_KOSULARI.csv')

#----- DEFAULT KINETIC PARAMETER
VALUES -----#
k_AG_DEFAULT      = [2]
k_AR_DEFAULT      = [0.04]
k_AM_DEFAULT      = [0.1]
k_AS_DEFAULT      = [0.1]
k_AHSP_DEFAULT    = [0.003]
k_AHSN_DEFAULT    = [0.014]
k_NO3DK_DEFAULT   = [0.03]
#k_AE_DEFAULT      = 0.04
#k_NH4DK_DEFAULT   = 0.12
#----- KINETIC PARAMETER RANGES
-----#
k_AG_R            = [0.5, 3]
k_AR_R            = [0.02, 0.12]
k_AM_R            = [0.01, 0.1]
k_AS_R            = [0.01, 0.3]
k_AHSP_R          = [0.0005, 0.03]
k_AHSN_R          = [0.01, 0.3]
k_NO3DK_R         = [0.01, 0.8]
#k_AE_R           = [0.02, 0.04]
#k_NH4DK_R        = [0.001, 0.5]
```

```

#----- (500)RANDOM VALUE GENERATOR -
-----#
k_AG_RUN_VALs      = [round(random.uniform(k_AG_R[0],k_AG_R[1]),2)      for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]
k_AR_RUN_VALs      = [round(random.uniform(k_AR_R[0],k_AR_R[1]),3)      for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]
k_AM_RUN_VALs      = [round(random.uniform(k_AM_R[0],k_AM_R[1]),3)      for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]
k_AS_RUN_VALs      = [round(random.uniform(k_AS_R[0],k_AS_R[1]),3)      for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]
k_AHSP_RUN_VALs    = [round(random.uniform(k_AHSP_R[0],k_AHSP_R[1]),4)    for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]
k_AHSN_RUN_VALs    = [round(random.uniform(k_AHSN_R[0],k_AHSN_R[1]),3)    for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]
k_NO3DK_RUN_VALs   = [round(random.uniform(k_NO3DK_R[0],k_NO3DK_R[1]),3)  for _ in
range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI)]

k_RUN_VALs         = [
                        k_AG_RUN_VALs,
                        k_AR_RUN_VALs,
                        k_AM_RUN_VALs,
                        k_AS_RUN_VALs,
                        k_AHSP_RUN_VALs,
                        k_AHSN_RUN_VALs,
                        k_NO3DK_RUN_VALs
                      ]

#-----
-----#
SUTUN_ISIMLERI = []
for nums in range(1, int(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI+1)):
    if nums <= 9:
        SUTUN_ISIM_PARCALARI = str('S_00' + str(nums))
        SUTUN_ISIMLERI.append(SUTUN_ISIM_PARCALARI)

```

```

elif nums >= 10 and nums <= 99:
    SUTUN_ISIM_PARCALARI = str('S_0' + str(nums))
    SUTUN_ISIMLERI.append(SUTUN_ISIM_PARCALARI)
else:
    SUTUN_ISIM_PARCALARI = str('S_' + str(nums))
    SUTUN_ISIMLERI.append(SUTUN_ISIM_PARCALARI)

for i in range(BELIRSIZLIK_KOSU_SAYISI):
    RUN_VALs = [
        k_AG_RUN_VALs[i]      ,
        k_AR_RUN_VALs[i]      ,
        k_AM_RUN_VALs[i]      ,
        k_AS_RUN_VALs[i]      ,
        k_AHSP_RUN_VALs[i]    ,
        k_AHSN_RUN_VALs[i]    ,
        k_NO3DK_RUN_VALs[i]
    ]
    Egg = np.array(RUN_VALs)
    MULTI_PYTON_RUN_GIRDI_DOSYASI[str(SUTUN_ISIMLERI[i])] = Egg

MULTI_PYTON_RUN_GIRDI_DOSYASI.to_csv('SENARYOLAR_BELIRSIZLIK.csv', index=False)

print('DONE')

```

Ek A2

```
import pandas as pd
import shutil
from shutil import copyfile
import subprocess
import os

# PARAMETRELER ICIN 2 VEYA DAHA AZ TUR OLDUGU KABUL EDILMISTIR!!!
# Senaryolar.csv DOSYASINDAKI PARA_SPEC SUTUNUNDA HERHANGIBIR HUCRE BOS KALMAMASI
LAZIM!!!!!!

# KOD GIRDİ DOSYALARININ OKUTULMASI
SENARYO_DOSYASI = pd.read_csv('Senaryolar.csv')

# SENARYO SAYISI KADAR DOSYANIN OLUSTURULMASI
KLASORUN_DOSYA_YOLU =
'/Users/Earl/Desktop/w2_con_PYTHON_DUZENLEMESI_v4_KOSULAR_1/MODEL_MELEN_TEZ_V4'
for k in range(len(SENARYO_DOSYASI.columns)-3):
    copyfile('w2_con.npt', 'w2_con' + '_' + SENARYO_DOSYASI.columns[k+3] + '.npt')
    shutil.copytree(KLASORUN_DOSYA_YOLU, KLASORUN_DOSYA_YOLU + '_' +
SENARYO_DOSYASI.columns[k+3])

#-----#
for i in range(len(SENARYO_DOSYASI.columns)-3):
    for j in range(len(SENARYO_DOSYASI)):
        with open(str('w2_con_' + SENARYO_DOSYASI.columns[i+3] + '.npt'), 'r+') as
outfile, open(str('w2_con_' + SENARYO_DOSYASI.columns[i+3] + '.npt'), 'r+', encoding='utf-
8') as infile:
            text1 = SENARYO_DOSYASI['PARAMETRE'][j]
            text2 = SENARYO_DOSYASI['KINETIK_PARAMETRELER'][j]
            text_Val1 = SENARYO_DOSYASI[SENARYO_DOSYASI.columns[i+3]][j]
            text_Val = float(str(round(text_Val1, 5)))
```

```

text_Val_lineStart = SENARYO_DOSYASI['PARA_SPEC'][j]
for line in infile:
    if text1 and text2 in line.split():
        index = line.index(text2)
        line2 = next(infile)
        line3 = infile.readline()
        outfile.write(line)
        if line2.startswith(text_Val_lineStart):
            DEGISTIRILECEK_KISIM_BASLANGIC = index+len(text2)-8
            DEGISTIRILECEK_KISIM_BITIS = index+len(text2)
            DEGISTIRILECEK_KISIM = str((8-len(str(text_Val)))*' ') +
str(text_Val)
            line2_2 = line2[:DEGISTIRILECEK_KISIM_BASLANGIC] +
DEGISTIRILECEK_KISIM + line2[DEGISTIRILECEK_KISIM_BITIS:]
            outfile.write(line2_2)
            outfile.write(line3)
            #elif line3.startswith(text_Val_lineStart):
            #    line3 = line3.replace(line3[index+len(text2)-8 :
index+len(text2)], str((8-len(str(text_Val)))*' ') + str(text_Val))
            #    outfile.write(line2)
            #    outfile.write(line3)
        else:
            outfile.write(line)

for k in range(len(SENARYO_DOSYASI.columns)-3):
    shutil.move('w2_con' + '_' + SENARYO_DOSYASI.columns[k+3] + '.npt', KLASORUN_DOSYA_YOLU
+ '_' + SENARYO_DOSYASI.columns[k+3] + '/' + 'w2_con.npt')

TOPLAM_ISLEM_SAYISI = int(len(SENARYO_DOSYASI.columns)-3)
BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI = int(input('BILGISAYARDAKI CEKIRDEK SAYISI (EGER AKTIV ISE, SANAL
CEKIRDEKLERLE BIRLIKTE): '))

for i in range(TOPLAM_ISLEM_SAYISI//BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI):

```

```

        for j in range(BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI):

            os.chdir(KLASORUN_DOSYA_YOLU + '_' +
SENARYO_DOSYASI.columns[int(BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI*i+j+3)])

            process = subprocess.Popen(KLASORUN_DOSYA_YOLU + '_' +
SENARYO_DOSYASI.columns[int(BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI*i+j+3)] +
                                    '/' + 'w2_v4_64.exe', shell=True,
stdout=subprocess.PIPE)
            process.wait()
            print(process.returncode)

if (TOPLAM_ISLEM_SAYISI//BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI) !=
(TOPLAM_ISLEM_SAYISI/BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI):
    for k in
range(BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI*(TOPLAM_ISLEM_SAYISI//BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI),
TOPLAM_ISLEM_SAYISI):
        os.chdir(KLASORUN_DOSYA_YOLU + '_' +
SENARYO_DOSYASI.columns[int(k+3)])

        process = subprocess.Popen(KLASORUN_DOSYA_YOLU + '_' +
SENARYO_DOSYASI.columns[int(k+3)] +
                                    '/' + 'w2_v4_64.exe', shell=True,
stdout=subprocess.PIPE)
        process.wait()
        print(process.returncode)

elif (TOPLAM_ISLEM_SAYISI//BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI) ==
(TOPLAM_ISLEM_SAYISI/BIR_RUNDAKI_ISLEM_SAYISI):
    print('BOLUM TAM SAYI, TUM SENARYOLAR TAMAMLANDI!!!')
else:
    print('TUM SENARYOLAR TAMAMLANDI!!!')

```

Ek A3

```
import os
import shutil

cwd = os.getcwd()

for i in range(250,500):
    if i+1 < 10:
        DOSYA_ISMI = '\MODEL_MELEN_TEZ_V4_S_00'
        CIKTI_ISMI = '\spr_00'

    elif i+1 >= 10 and i+1 <= 99:
        DOSYA_ISMI = '\MODEL_MELEN_TEZ_V4_S_0'
        CIKTI_ISMI = '\spr_0'

    elif i+1 >= 100:
        DOSYA_ISMI = '\MODEL_MELEN_TEZ_V4_S_'
        CIKTI_ISMI = '\spr_'

    DOSYA_YOLUNDAN = cwd + '\KOSULAR' + DOSYA_ISMI +
str(i+1)
    DOSYA_YOLUNA = cwd + '\SPR_DOSYALARI'
    shutil.copy2(DOSYA_YOLUNDAN + '\spr.opt',
DOSYA_YOLUNA + CIKTI_ISMI + str(i+1) + '.opt')

print('DONE!')
```

Ek A4

```
# BELIRSIZLIK ANALIZI
# AYLIK CIKTILARDAN BOXPLOT CIZILMISTIR.
# AYLIK CIKTI GUNLERI UZERINDEN HESAPLANMISTIR!!!
# -*- coding: cp1254 -*-
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import warnings
import matplotlib
from datetime import datetime
import os
from pandas import ExcelWriter
#-----#
print('DOSYA OKUNUYOR..\n')
SPR_DOSYALARI = [x for x in os.listdir() if x.endswith('.opt')]
cwd = os.getcwd()

CIZILECEK_TEMP = []
CIZILECEK_TDS = []
CIZILECEK_PO4 = []
CIZILECEK_NH3 = []
CIZILECEK_NO3 = []
CIZILECEK_BOD = []
CIZILECEK_BOD_P = []
CIZILECEK_BOD_N = []
CIZILECEK_ALG = []
CIZILECEK_DO = []
CIZILECEK_ALK = []
CIZILECEK_TN = []
CIZILECEK_TP = []
CIZILECEK_CHL_A = []
```

```

# load data file
for SPR_DOSYA_ISMI in SPR_DOSYALARI:

    SPR_DOSYASI = pd.read_csv(SPR_DOSYA_ISMI)
    #data_file = SPR_DOSYASI[SPR_DOSYASI != -99]
    data_file = SPR_DOSYASI
    data_file.columns = data_file.columns.str.replace(' ','')

    data_file.Constituent = data_file.Constituent.str.replace(' ','')
    data_file = data_file.drop(['Depth', data_file.columns[-1]], axis=1) # check for data
to !!! Drop
    ELEV_DATA_FOR_DROP = SPR_DOSYASI.columns[-2][-2:]
    # Load Data
    dataFile = data_file.ix[:, :-1]

    OKUNACAK_JDs = pd.read_csv('$_Code_Input_for_JDAYS_V1_3.csv')

    TUM_DOSYALARIN_ICERIGI = pd.DataFrame()
    for SENARYO_SAYICISI in range(1):
        JDs_SAYISI = OKUNACAK_JDs['Number_of_Julian_Days'][SENARYO_SAYICISI]
        SENARYO_YILI_SUTUN_ISMI = OKUNACAK_JDs.columns[SENARYO_SAYICISI+1]
        CIZILECEK_JDs = OKUNACAK_JDs[SENARYO_YILI_SUTUN_ISMI][:int(JDs_SAYISI)]

        # CIZIMDE ISTENILEN SEGMENT
        CIZILECEK_SEGMENT = 'Seg_64'

#-----DEGISIM_GEREKTIGINDE-----#
    CIKTI_GUNLERI = CIZILECEK_JDs
#-----#
#-----#
#-----#
    PARAMETRE_ISIMLERI = dataFile['Constituent'].unique()

```

```

CIZIM_VERISI = pd.DataFrame()
for GUNLER in CIKTI_GUNLERI:
    CIZIM_VERISI1 = dataFile.loc[dataFile.Julian_day == GUNLER, :]
    ILK_LAYERLAR = pd.DataFrame()
    for PARAMETRE_ISMI in PARAMETRE_ISIMLERI:
        CIZILECEK_VERI_TL_1 = CIZIM_VERISI1.loc[CIZIM_VERISI1.Constituent ==
PARAMETRE_ISMI, :]
        CIZILECEK_VERI_TL_2 = CIZILECEK_VERI_TL_1[:1]
        CIZILECEK_VERI_TL_3 = pd.concat([ILK_LAYERLAR, CIZILECEK_VERI_TL_2], axis=0)
        ILK_LAYERLAR = CIZILECEK_VERI_TL_3
        CIZIM_VERISI2 = pd.concat([CIZIM_VERISI, ILK_LAYERLAR], axis=0)
    CIZIM_VERISI = CIZIM_VERISI2

CSV_BUTUNU = pd.DataFrame()
for PARAMETRE_ISMI in PARAMETRE_ISIMLERI:
    CIZILECEK_VERI = CIZIM_VERISI.loc[CIZIM_VERISI.Constituent == PARAMETRE_ISMI,
CIZILECEK_SEGMENT]
    CIZILECEK_VERI1 = np.array(CIZILECEK_VERI)
    CIZILECEK_CSV_DOSYASI = pd.DataFrame(CIZILECEK_VERI1, columns=[PARAMETRE_ISMI])
    CSV_BUTUNLEMESI = pd.concat([CSV_BUTUNU, CIZILECEK_CSV_DOSYASI], axis=1)
    CSV_BUTUNU = CSV_BUTUNLEMESI
CSV_BUTUNU.reset_index()

TUM_DOSYA_PARCASI = pd.concat([TUM_DOSYALARIN_ICERIGI, CSV_BUTUNU], axis=1)
TUM_DOSYALARIN_ICERIGI = TUM_DOSYA_PARCASI

#-----#
#-----#
#-----#
#-----DEGISIM_GEREKTIGINDE-----#
#-----#
#-----DROPNAN ROWS-----#
TUM_DOSYALARIN_ICERIGI = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI.dropna()

```

```
#-----#  
#-----#  
#-----#  
#-----#  
#-----#
```

```
TEMP    = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[0]].values  
TDS      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[1]].values  
PO4      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[2]].values  
NH3      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[3]].values  
NO3      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[4]].values  
BOD      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[5]].values  
BOD_P    = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[6]].values  
BOD_N    = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[7]].values  
ALG      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[8]].values  
DO       = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[9]].values  
ALK      = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[10]].values  
TN       = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[11]].values  
TP       = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[12]].values  
CHL_A    = TUM_DOSYALARIN_ICERIGI[PARAMETRE_ISIMLERI[13]].values
```

```
CIZILECEK_TEMP.append(list(TEMP))  
CIZILECEK_TDS.append(list(TDS))  
CIZILECEK_PO4.append(list(PO4))  
CIZILECEK_NH3.append(list(NH3))  
CIZILECEK_NO3.append(list(NO3))  
CIZILECEK_BOD.append(list(BOD))  
CIZILECEK_BOD_P.append(list(BOD_P))  
CIZILECEK_BOD_N.append(list(BOD_N))  
CIZILECEK_ALG.append(list(ALG))  
CIZILECEK_DO.append(list(DO))  
CIZILECEK_ALK.append(list(ALK))  
CIZILECEK_TN.append(list(TN))
```

```

CIZILECEK_TP.append(list(TP))
CIZILECEK_CHL_A.append(list(CHL_A))

CIZILECEK_VERILER=[CIZILECEK_TEMP,CIZILECEK_TDS,CIZILECEK_PO4,CIZILECEK_NH3,CIZILECEK_NO3,
                    CIZILECEK_BOD,CIZILECEK_BOD_P,CIZILECEK_BOD_N,CIZILECEK_ALG,CIZILECEK_DO,
                    CIZILECEK_ALK,CIZILECEK_TN,CIZILECEK_TP,CIZILECEK_CHL_A]

PARAMETRE_ISIMLERI_TURKCE = ['Sıcaklık'           ,
                              'TCM'                ,
                              'Fosfat'              ,
                              'Amonyum'             ,
                              'Nitrat'              ,
                              'BOİ'                ,
                              'BOİ-P'              ,
                              'BOİ-N'              ,
                              'ALG'                 ,
                              'COZUNMUS OKSIJEN'    ,
                              'Alkalinite'          ,
                              'Toplam Azot (mg/L)'  ,
                              'Toplam Fosfor (mg/L)' ,
                              'Klorofil-a'         ,
                              ]

labels = []
for i in range(len(SPR_DOSYALARI)):
    labels.append('S_' + str(SPR_DOSYALARI[i][4:7]))

BIRLESIK_MEDYANLAR = pd.DataFrame()
for i in range(len(PARAMETRE_ISIMLERI)):
    PARAMETRE_ISMI = PARAMETRE_ISIMLERI[i]
    plt.figure(figsize=(10,10))
    flat_list = [item for sublist in CIZILECEK_VERILER[i] for item in sublist]
    plt.boxplot(flat_list, whis=[5, 95],
                #labels=labels,

```

```

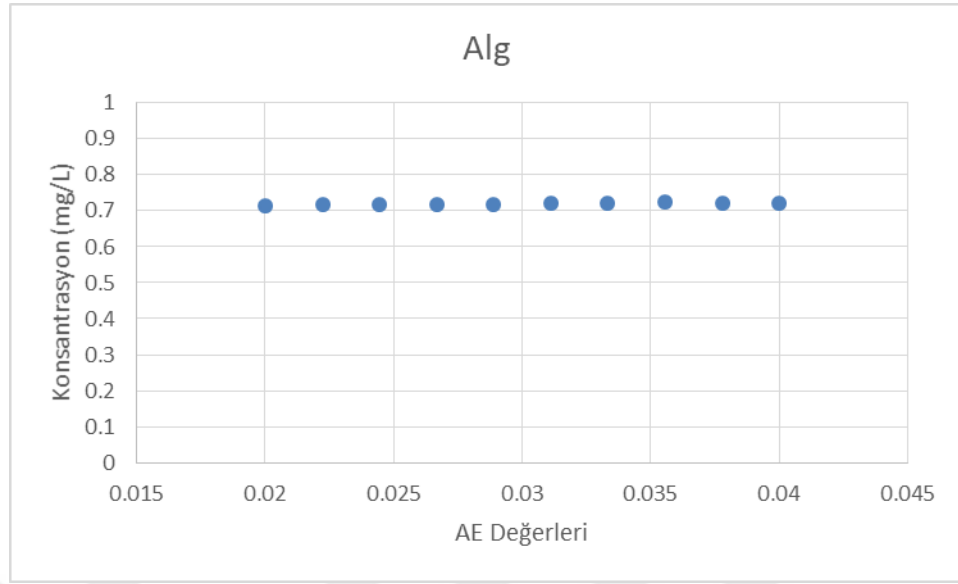
        #showmeans=True,
        #showbox = False,
        #showcaps = False,
        showfliers = False)

MEDYAN_DEGERLER = []
for j in range(len(SPR_DOSYALARI)):
    A=np.median(CIZILECEK_VERILER[i][j])
    MEDYAN_DEGERLER.append(A)

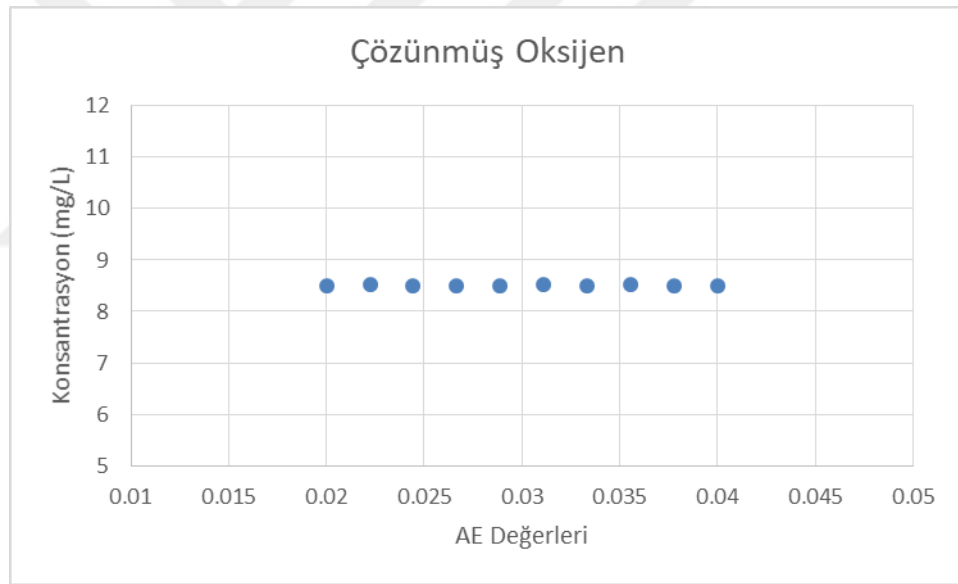
MEDYAN_SONUCLARI = pd.DataFrame(np.array(MEDYAN_DEGERLER), columns=[PARAMETRE_ISMI],
index=labels)
MEDYAN_SONUCLARI2 = pd.concat([BIRLESIK_MEDYANLAR,MEDYAN_SONUCLARI], axis=1)
BIRLESIK_MEDYANLAR = MEDYAN_SONUCLARI2
plt.legend([PARAMETRE_ISIMLERI_TURKCE[i]])
plt.savefig(PARAMETRE_ISIMLERI[i] + '_SENARYOLAR'+ '.jpg')
plt.close()
BIRLESIK_MEDYANLAR.to_csv('MEDYAN_SONUCLARI_' + 'ILK_LAYER' + '.csv')
input('DONE! ')

```

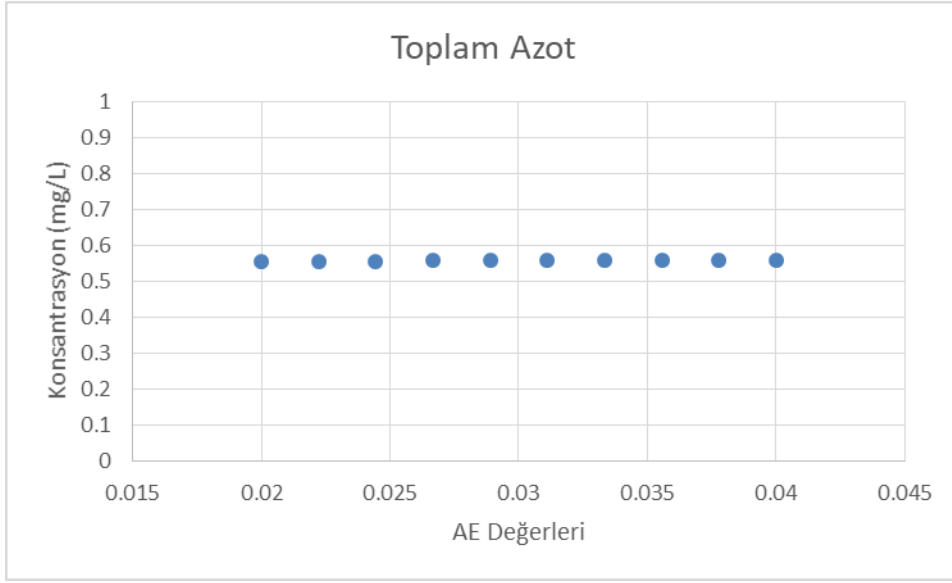
Ek B



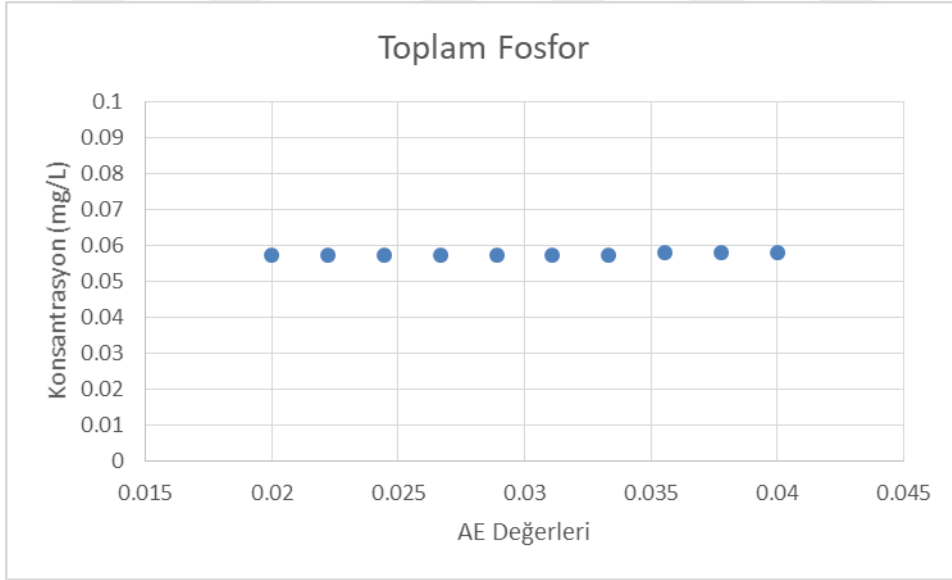
Şekil B.1 : AE kinetik parametresinin alg parametresine olan etkisi



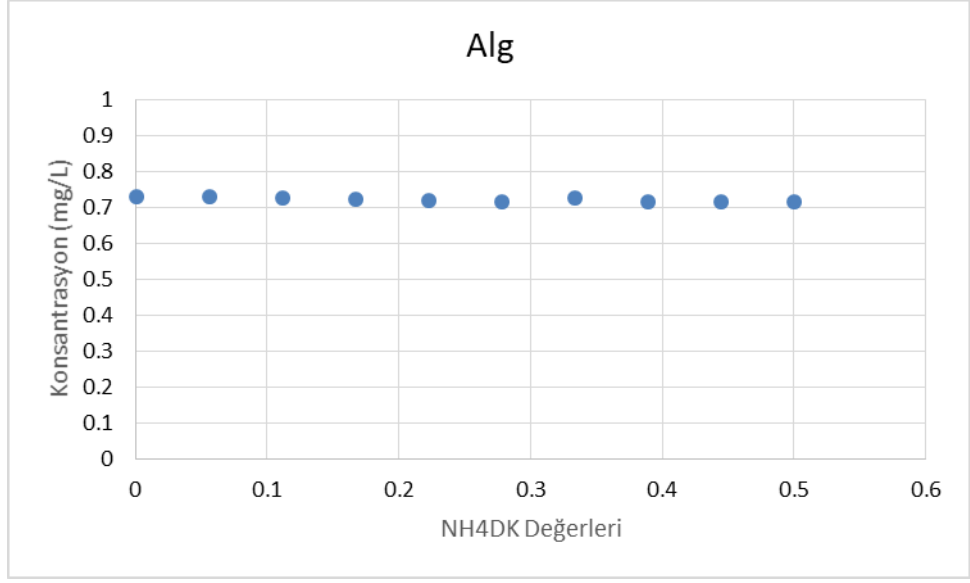
Şekil B.2 : AE kinetik parametresinin ÇO'ya olan etkisi



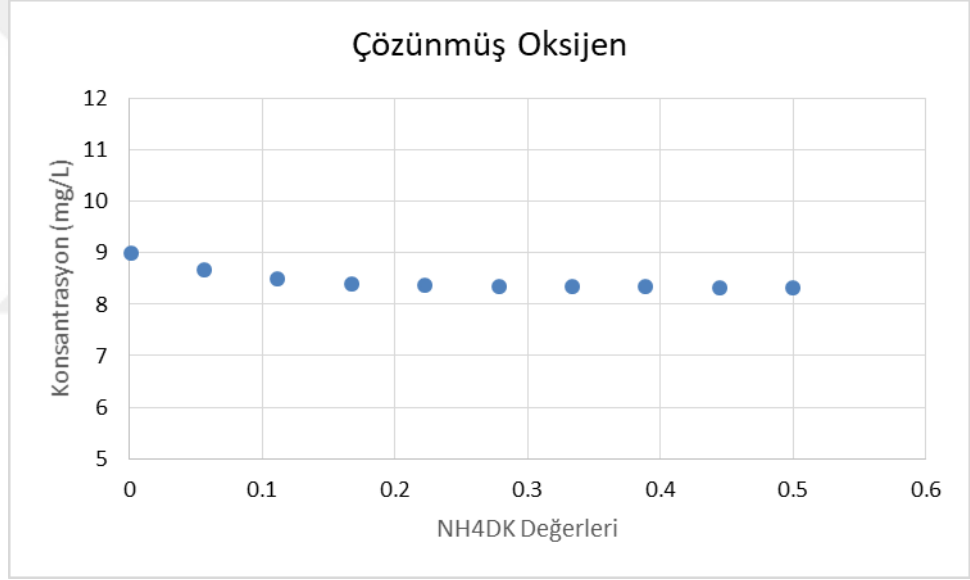
Şekil B.3 : AE kinetik parametresinin TN'ye olan etkisi



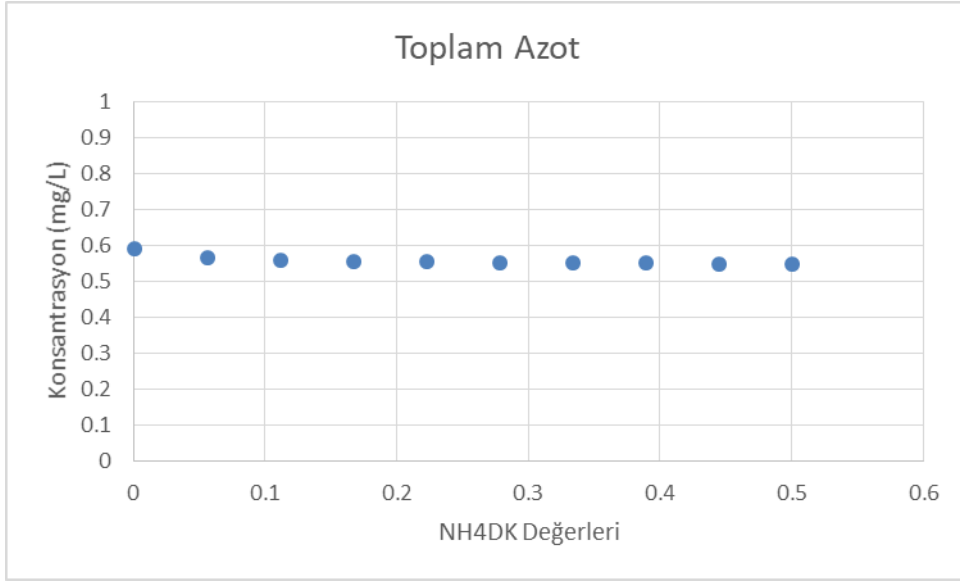
Şekil B.4 : AE kinetik parametresinin TP'ye olan etkisi



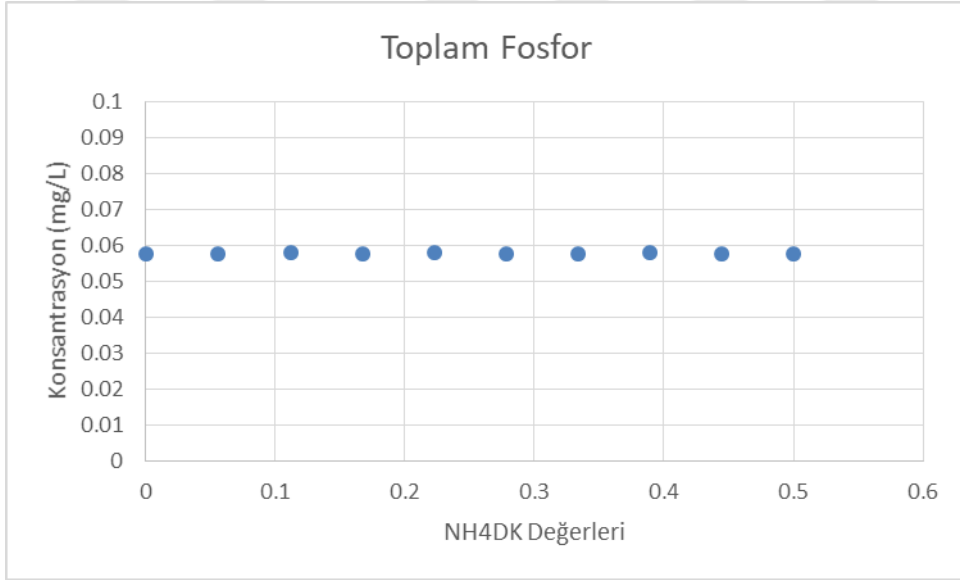
Şekil B.5 : NH4DK sabitinin alg parametresine olan etkisi



Şekil B.6 : NH4DK sabitinin ÇO'ya olan etkisi



Şekil B.7 : NH4DK sabitinin TN'ye olan etkisi



Şekil B.8 : NH4DK sabitinin TP'ye olan etkisi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Burak Kaynaroğlu
Telefon	+90 537 938 76 28
E-mail	kaynaroglub@itu.edu.tr
Doğum Tarihi	15 Ağustos 1992
Doğum Yeri	Şişli - İstanbul

Öğrenim Durumu

2016 -	İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Programı, Yüksek Lisans
2010 - 2016	İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Lisans, Şubat 2016.
2006 - 2010	Haydarpaşa Anadolu Lisesi

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

- *PYTHON* (Çok İyi)
- *Matlab* (Orta)
- *MS Office* (Çok İyi)
- *C#* (Başlangıç)
- *AutoCAD 2017* (İyi)
- *MicroStation* (İyi)
- *ArcGIS* (İyi)
- *WEAP System* (Orta)
- *EPA BASINS* (Temel)
- *CE-QUAL-W2* (Çok İyi)

KATILDIĞI AKADEMİK ETKİNLİKLER

Uluslararası Kurslar

“Advanced Training Course In The Hydro-Dynamic And Ecological Modeling Of Coastal Lagoons And Littoral Zones” Murcia-İspanya, 28 Eylül – 6 Kasım 2017

Ulusal Kurslar

Almanca Dil Kursu, GOTHE-INSTITUT - 22.02.2014-13.04.2014 (48 Saat), Kursun Referans Düzeyi: A1.1

OHSAS 18001: 2007, TSC Management Systems - 30.09.2013-30.09.2013 (7 Saat), Occupational Health & Safety Management System

ISO 14001: 2004, TSC Management Systems - 29.09.2013-29.09.2013 (7 Saat), Environmental Management System

ISO 9001: 2008, TSC Management Systems Academy - 28.09.2013-28.09.2013 (7 Saat), Quality Management System

ARAŞTIRMA PROJELERİ

Ulusal Projeler

- *Melen Barajı Havzası Özel Hüküm Belirleme Çalışması Kapsamında Havza Modeli ve Su Kalitesi (Su Ekolojisi) Modelinin Yapılması Projesi, 2016-2018*
Destekleyen Kuruluş: TÜBİTAK-MAM
Araştırmacılar: Prof. Dr. Melike Gürel, Doç. Dr. Alpaslan Ekdal, Araş. Gör. Gökhan Cüceloğlu, Burak Kaynaroğlu
- *Durgun Sularda Özümleme Kapasitesinin Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Projesi, 2016-*
Destekleyen Kuruluş: T.C. Orman Su İşleri Bakanlığı
Proje Koordinatörü: Mehmet Açıkgöz (ALKA İnşaat Çevre San. Tic. Ltd. Şti.)
Danışmanlık: Özümleme Kapasitesi Hesabı Yapan Araştırmacılar: Prof. Dr. Melike Gürel, Doç. Dr. Ali Ertürk, Doç. Dr. Alpaslan Ekdal, Araş. Gör. Gökhan Cüceloğlu
- *Fırat Dicle Havzası'nda Yüksek Çözünürlüklü Hidrometeorolojik, Hidrolojik ve Su Kalitesi Modellemesi ve Hidroekonomik Analiz Projesi 2014-2017*
Destekleyen Kuruluş: T.C. Orman Su İşleri Bakanlığı, Türkiye Su Enstitüsü (SUEN)
Kıdemli Danışman: Prof. Dr. İzzet Öztürk
Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Ali Ertürk
Projede görev Yapmış Uzmanlar: Su Kalitesi: Prof.Dr. Melike Gürel, Doç. Dr. Alpaslan Ekdal, Araş. Gör. Gökhan Cüceloğlu, Çevre Yük. Müh. Mehmet Kalfazade, Çevre Yük. Müh. Salim Yaykiran, Çevre Müh. Burak Kaynaroğlu

YAYINLAR

Ertürk, A., Öztürk, İ., Gürel, M., Ekdal, A., Özabalı Sabuncugil, A., Cüceloğlu, G., Kalfazade, M., Yaykıran, S., Kaynaroğlu, B. 2017. Fırat Dicle Havzası'nda Yüksek Çözünürlüklü Hidrometeorolojik, Hidrolojik ve Su Kalitesi Modellemesi ve Hidroekonomik Analiz Projesi, T.C. Orman Su İşleri Bakanlığı, Türkiye Su Enstitüsü (SUEN), Su Kalitesi Model Yapılandırma Nihai Raporu, Kasım, İstanbul.

Gürel, M., Ekdal, A., Cüceloğlu, G., Kaynaroğlu, B., 2018. Melen Barajı Havzası Özel Hüküm Belirleme Çalışması Kapsamında Havza Modeli ve Su Kalitesi (Su Ekolojisi) Modelinin Yapılması Projesi, Nihai Rapor, Şubat, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Gürel, M., Ekdal, A., Cüceloğlu, G., Kaynaroğlu, B., 2016. Seyhan Havzası Sektörel Su Tahsisi Planı Yapımı Projesi, Seyhan Havzası Çevresel Akış Değerlendirme Tematik Analiz Raporu, Ocak, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

