

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

**DERİN DENİZ DEŞARJI İLE DEŞARJ EDİLEN ATIKSULARIN ALICI
ORTAMDA TUTSAKLANMASI DURUMUNDA BAKTERİ
KONSANTRASYONUNUN TAHMİNİ VE BELİRSİZLİKLERİN
İNCELENMESİ**

Özgür Bülent YALÇIN

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2011

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

**DERİN DENİZ DEŞARJI İLE DEŞARJ EDİLEN ATIKSULARIN ALICI
ORTAMDA TUTSAKLANMASI DURUMUNDA BAKTERİ
KONSANTRASYONUNUN TAHMİNİ VE BELİRSİZLİKLERİN
İNCELENMESİ**

Özgür Bülent YALÇIN

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez çalışması TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı (Proje No: 107Y184) ve Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No: 2008.01.0102.004) tarafından desteklenmiştir.

2011

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN DENİZ DEŞARJI İLE DEŞARJ EDİLEN ATIKSULARIN ALICI ORTAMDA
TUTSAKLANMASI DURUMUNDA BAKTERİ KONSANTRASYONUNUN
TAHMİNİ VE BELİRSİZLİKLERİN İNCELENMESİ

Özgür Bülent YALÇIN

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez / / tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Danışman)
Prof. Dr. Necdet ALPASLAN
Prof. Dr. Lale BALAS
Doç. Dr. Semih NEMLİOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Ayça ERDEM

ÖZET

DERİN DENİZ DEŞARJI İLE DEŞARJ EDİLEN ATIKSULARIN ALICI ORTAMDA TUTSAKLANMASI DURUMUNDA BAKTERİ KONSANTRASYONUNUN TAHMİNİ VE BELİRSİZLİKLERİN İNCELENMESİ

Özgür Bülent YALÇIN

Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

Temmuz 2011, 309 Sayfa

Bu tez çalışmasının amacı, kıyısız bölgelerde en sık kullanılan atıksu bertaraf yöntemi olan deniz deşarj sistemleri ile deşarj edilen atıksuların alıcı ortamda tutsaklanması durumunda, atıksu arıtma sistemi ile deniz ortamının dinamik yapısından kaynaklanan belirsizliklerin incelenmesidir. Belirtilen çalışma, Antalya Körfezi, Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarj Sistemi'nden elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, günün değişik saatlerinde farklı miktarlarda su kullanımından ötürü gün içerisinde önemli salınımlar gösteren atıksu debisi ve atıksu bakteri konsantrasyonları araştırılmıştır. Bu amaçla bir yıl boyunca Hurma Atıksu Arıtma Tesisi günlük debi verileri izlenmiş, bunun yanında atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularında toplam ve fekal koliform bakteri sayılarının belirlenmesi amacıyla bir yıl süreyle haftalık olarak analizler yapılmıştır. Deniz ortamında seyrelme proseslerindeki belirsizliğe temel sebep olan akıntı hızlarını belirlemek amacıyla bir yıl boyunca her mevsim bir hafta süre ile akıntı ölçümleri yapılmış, toplanan veriler modelleme çalışmalarında ve belirsizlik analizinde kullanılmıştır. Deniz ortamında belirlenen istasyonlarda mevsimlik olarak ölçüm ve örnekleme çalışması yapılarak deniz ortamında deşarj kaynaklı indikatör organizmalar izlenmiştir. Buna ilaveten toplam beş istasyonda derinlik boyunca tuzluluk ve sıcaklık değerleri sahada ölçülerek yoğunluk

tabakalaşmasının etkin olduğu mevsimler tespit edilmiştir.

Sahada yapılan çalışmalara ek olarak laboratuvar ortamında bakteriyolojik inaktivasyona bağlı seyrelme prosesindeki en önemli belirsizlik parametresi olan bakteriyolojik inaktivasyon hızları değişik ortam koşulları için belirlenmiş; sıcaklık, tuzluluk ve güneş ışığı gibi çevresel etkenlerin etkisi altında bakteriyel inaktivasyon hızının nasıl değiştiği tespit edilmiştir.

Saha ve laboratuvarda yapılan bütün bu çalışmalardan elde edilen veriler HİDROTAM-3 üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modeli ve Visual Plumes deşarj modeline aktararak modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiş, saha çalışması sonucunda elde edilen bakteri sayıları ile model tahminleri kıyaslanmıştır. Çeşitli yönetim senaryoları oluşturularak, belirtilen modellerin kullanımı ile değişik ortam koşullarında atıksu hareketi ve atıksu kaynaklı bakteri sayılarının benzeşimi yapılmıştır.

Belirsizlik parametreleri için sahadaki ölçüm ve örnekleme çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak Monte Carlo yöntemi ile belirsizlik analizi yapılmış, deşarj noktasına en yakın konumdaki bir plaja ulaşabilecek deşarj kaynaklı bakteri konsantrasyonlarının olasılık dağılımları elde edilmiştir. Olasılık dağılımlarından elde edilen sonuçlardan yararlanılarak risk analizi gerçekleştirilmiş ve atıksu kaynaklı Enteropatojenik *E.coli* için enfeksiyon riskleri elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Deniz deşarjı, seyrelme, koliform bakteri, T_{90} , modelleme, belirsizlik analizi, risk analizi

JÜRİ: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Danışman)
Prof. Dr. Necdet ALPASLAN
Prof. Dr. Lale BALAS
Doç. Dr. Semih NEMLİOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Ayça ERDEM

ABSTRACT

PREDICTION AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF BACTERIA CONCENTRATIONS FROM DEEP MARINE WASTEWATER DISCHARGES IN CASE OF SUBMERGED WASTEFIELD FORMATION

Özgür Bülent YALÇIN

Ph.D. Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

July 2011, 309 Pages

Wastewater discharges to marine environment by marine outfall systems are the most commonly used method of wastewater disposal in coastal regions. The aim of this study is to predict concentrations of the bacteria in marine environment originated from marine discharges in case of submerged wastefield formation and to analyse the uncertainties originated from dynamic nature of the marine environment and wastewater treatment system. The study has been carried out using data collected from Antalya Bay, Antalya Hurma Wastewater Treatment Plant and Marine Outfall System.

In scope of the study, diurnal wastewater flow rate fluctuations and variations of effluent bacteria concentration have been investigated for one year. Daily flow rates of the discharged effluent were obtained from Antalya Hurma Wastewater Treatment Plant for the years 2008 and 2009. Additionally, total coliform (TC) and faecal coliform (FC) concentrations of influent and effluent of the wastewater treatment plant were weekly sampled and analysed for one year to determine temporal variations of the indicator bacteria. Ambient current speed and directions are the major sources of uncertainty in the marine environment. Seasonal measurements of current velocities have been carried out near the discharge point to obtain current data needed for both dilution modelling and uncertainty analysis. Intensive *in-situ* sampling and analysis of wastewater borne indicator bacteria in the marine environment have also been conducted seasonally for one year to achieve the indicator bacteria concentrations around the discharge point.

During the seasonal sampling studies, salinity and temperature values along the water column have been measured to evaluate the seasonal mixing and stratification conditions.

In addition to the *in-situ* sampling and measurement studies, bacteriological inactivation experiments have been carried out in the laboratory to achieve bacterial inactivation rates under different environmental conditions and to evaluate the uncertainties of the bacterial inactivation process. In the experiments, bacterial inactivation rates have been studied under separate and combined effects of salinity, temperature and solar radiation.

All the results of the studies conducted *in-situ* and at the laboratory have been used as input data for HIDROTAM-3 hydrodynamic model and Visual Plumes discharge model, to model wastewater plume behaviour and dilution processes. Bacteria concentrations obtained from *in-situ* sampling studies have been used to evaluate the model results. Additionally, the wastewater plume behaviour and bacteria concentrations at different point of interests have been studied and evaluated for different management scenarios.

Uncertainty analysis have been carried out to determine probability distributions of the indicator bacteria at the nearest recreational beach to the discharge point. Additionally, health risk analysis for wastewater borne Enteropathogenic *E.coli* have also been carried out using the probability distributions of the bacteria concentrations to evaluate infection risk at the selected recreational area close to the discharge point.

KEY WORDS: Marine outfall, dilution, coliform bacteria, T_{90} , modelling, uncertainty analysis, risk analysis

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Supervisor)
Prof. Dr. Necdet ALPASLAN
Prof. Dr. Lale BALAS
Assoc. Prof. Dr. Semih NEMLİOĞLU
Assist. Prof. Dr. Ayça ERDEM

ÖNSÖZ

Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU'na doktora çalışmam sırasında göstermiş olduğu ilgi ve destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında göstermiş olduğu anlayış ve yardımlarından ötürü Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Lale BALAS'a ve Sayın Prof. Dr. Can BALAS'a, tez izleme dönemlerindeki değerli katkılarından ötürü Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Bülent TOPKAYA'ya, değerli fikirlerine ihtiyaç duyduğumda yardımını hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na, tez çalışmam sırasındaki yardım ve desteklerinden ötürü Çevre Yüksek Mühendisi Tuba ÖZCAN'a, Arş. Gör. Dr. Rıfat TÜR'e, Arş. Gör. Ethem KARADİREK'e ve Arş. Gör. İpek YILMAZ'a teşekkür ederim.

Araştırmaya maddi destek sağlayan TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı'na (Proje No: 107Y184) ve Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: 2008.01.0102.004) teşekkür ederim.

Veri toplama konusunda yardımlarını eksik etmeyen Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü'ne ve Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çalışanlarına, Meteoroloji Antalya Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında sabrı ve desteğiyle hep yanımda olan eşim Esra Esen YALÇIN'a ve tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Kızım Eliz Derin'e...

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....	9
2.1. Deniz Suyu Özellikleri ve Temel Fiziksel Oşinografi.....	9
2.1.1. Sıcaklık.....	9
2.1.2. Tuzluluk.....	10
2.1.3. Yoğunluk.....	12
2.1.4. Akıntılar.....	13
2.1.5. Deniz suyunun optik özellikleri.....	14
2.2. Deniz Kirlenmesi.....	20
2.2.1. Kıyısal sularda kirlenme.....	21
2.2.2. Kirleticilerin sınıflandırılması.....	22
2.3. Atıksu Karakteristikleri ve Deşarj Standartları.....	25
2.4. Atıksuların Deniz Ortamında Seyrelmesi.....	31
2.4.1. Fiziksel seyrelme prosesleri.....	32
2.4.1.1. Yakın alan seyrelmesi (birinci seyrelme).....	32
2.4.1.2. Dispersiyona bağlı seyrelme (ikinci seyrelme).....	34
2.4.1.3. Fiziksel seyrelme prosesleri literatür özeti.....	34
2.4.2. Biyokimyasal seyrelme prosesleri.....	39
2.4.2.1. Bakteriyel inaktivasyona bağlı seyrelme (üçüncü seyrelme).....	39
2.4.2.2. Bakteriyel inaktivasyon prosesi literatür özeti.....	41
2.5. Belirsizlik Analizi.....	51
2.6. Risk Analizi.....	55

3. MATERYAL ve METOD.....	62
3.1. Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarjı Sistemi.....	63
3.2. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu bakteriyolojik örnekleme ve analiz çalışmaları	67
3.3. Derinlik Boyunca Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk Değişiminin Belirlenmesi	67
3.4. Derinlik Boyunca Akıntı Hız ve Yönlerinin Tespit Edilmesi.....	68
3.5. Çalışma Bölgesindeki Bakteriyolojik Su Kalite İzleme Çalışmaları	71
3.6. Bakteriyel İnaktivasyon Hızı ve T ₉₀ Değerinin Laboratuvarda Belirlenmesi	75
3.6.1. Karanlık ortam deneyleri.....	76
3.6.2. Işıklı ortam deneyleri.....	79
3.6.2.1. Değişen ışık şiddetlerinin bakteriyel inaktivasyona etkisi	79
3.6.2.2. Farklı ışık dalgaboylarının bakteriyel inaktivasyon hızına etkisi.....	85
3.7. Deniz Deşarj Sistemi İçin Seyrelme Değerlerinin Tahmini.....	87
3.7.1. Akıntı modellemesi	87
3.7.2. Seyrelme proseslerinin modellemesi.....	87
3.8. Yönetim Senaryoları Çalışmaları	91
3.9. Belirsizlik Analizi	92
3.10. Risk Analizi.....	95
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	99
4.1. Atıksu Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış Suyu Örnekleme ve Analizleri	99
4.2. Deniz Araştırmaları.....	105
4.2.1. Derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluğun belirlenmesi.....	105
4.2.1.1. Sıcaklık.....	106
4.2.1.2. Tuzluluk.....	107
4.2.1.3. Yoğunluk	108
4.2.1.4. Secchi disk derinliği	109
4.2.1.5. Sonuçların değerlendirilmesi.....	110
4.2.2. Akıntı ölçüm sonuçları	112
4.2.2.1. Sonbahar mevsimi akıntı ölçümleri.....	113

4.2.2.2. Kış mevsimi akıntı ölçümü.....	115
4.2.2.3. İlkbahar mevsimi akıntı ölçümü.....	118
4.2.2.4. Yaz mevsimi akıntı ölçümü.....	122
4.3. Çalışma Bölgesindeki Bakteriyolojik Su Kalite İzleme Çalışmaları	125
4.3.1. Sonbahar mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları	126
4.3.2. Kış mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları	129
4.3.3. İlkbahar mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları.....	133
4.3.4. Yaz mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları.....	137
4.4. Laboratuvar Deneyleri	142
4.4.1. Karanlık ortam deneyleri.....	142
4.4.2. Işıklı ortam deneyleri.....	149
4.4.2.1. Değişen ışık şiddetlerinin bakteriyel inaktivasyona etkisi	149
4.4.2.2. Dalga boylarının bakteriyel inaktivasyona etkisi	151
4.5. Modelleme Çalışmaları	154
4.5.1. Sonbahar dönemi için akıntı ve seyrelme tahminleri	157
4.5.2. Sonbahar mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi	159
4.5.3. Kış dönemi için akıntı ve seyrelme tahminleri.....	163
4.5.4. Kış mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi.....	167
4.5.5. İlkbahar dönemi için akıntı ve seyrelme tahminleri.....	171
4.5.6. İlkbahar mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi	173
4.5.7. Yaz dönemi için seyrelme tahminleri.....	177
4.5.8. Yaz mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi	179
4.6. Yönetim Senaryoları	183
4.6.1. Uzun vadeli ekstrem rüzgar hızlarında akıntı rejimleri ve seyrelme tahminleri	183
4.6.1.1. Uzun vadeli günlük maksimum rüzgar verilerinin istatistiksel analizi.....	184
4.6.1.2. Sonbahar mevsimi senaryosu	193
4.6.1.3. Kış mevsimi senaryosu.....	196
4.6.1.4. İlkbahar mevsimi senaryosu	199
4.6.1.5. Yaz mevsimi senaryosu.....	202

4.6.2. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nden deşarj edilen atıksuda koliform giderim senaryoları	205
4.6.2.1. Uzun vadeli saatlik ortalama rüzgar verilerinin istatistiksel analizi	205
4.6.2.2. Sonbahar mevsimi	215
4.6.2.3. Kış mevsimi	219
4.6.2.4. İlkbahar mevsimi	222
4.6.2.5. Yaz mevsimi senaryoları	225
4.7. Belirsizlik Analizi	231
4.7.1. Sonbahar mevsimi	231
4.7.1.1. Belirsizlik parametreleri	231
4.7.1.2. Sonbahar mevsimi belirsizlik analizi	239
4.7.1.3. Sonbahar mevsimi hassasiyet analizi	242
4.7.2. Kış mevsimi	244
4.7.2.1. Belirsizlik parametreleri	244
4.7.2.2. Kış mevsimi belirsizlik analizi	248
4.7.2.3. Kış mevsimi hassasiyet analizi	252
4.7.3. İlkbahar mevsimi	253
4.7.3.1. Belirsizlik parametreleri	253
4.7.3.2. İlkbahar mevsimi belirsizlik analizi	260
4.7.3.3. İlkbahar mevsimi hassasiyet analizi	265
4.7.4. Yaz mevsimi	267
4.7.4.1. Belirsizlik parametreleri	267
4.7.4.2. Yaz mevsimi belirsizlik analizi	272
4.7.4.3. Yaz mevsimi hassasiyet analizi	276
4.8. Risk Analizi	278
4.8.1. Sonbahar mevsimi	280
4.8.2. Kış mevsimi	281
4.8.3. İlkbahar mevsimi	283
4.8.4. Yaz mevsimi	284
5. SONUÇ	288
6. KAYNAKLAR	296

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°A	Angstrom
%	Yüzde
‰	Binde
°C	Sıcaklık (derece santigrat)
ρ	Yoğunluk
σ_t	Oşinografik yoğunluk
C	Bakteri konsantrasyonu
C ₀	Başlangıç bakteri konsantrasyonu
cal	Kalori
cm	Santimetre
dk	Dakika
k _d	Bakteriyel inaktivasyon hız katsayısı
km	Kilometre
kg	Kilogram
l	Litre
m	Metre
ml	Mililitre
nm	Nanometre
S	Tuzluluk
sa	Saat
W	Watt
t	Zaman
T	Sıcaklık
T ₉₀	Başlangıç bakteri sayısının %90'ının inaktif olması için gerekli süre

Kısaltmalar

ASAT	Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CFU	Colony forming unit (koloni oluşturan birim hücre)
EMS	En Muhtemel Sayı
E.N.	Eşdeğer nüfus
FC	Fekal koliform
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PFU	Plaque forming unit (plak oluşturan birim hücre)
PAR	Photosyntetic active radiation (fotosentetik aktif ışınım)
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TC	Toplam koliform
US-EPA	United States Environmental Protection Agency
UTM	Universal Tranverse Mercator
UV	Ultraviolet (mor ötesi ışınım)
WHO	World Health Organisation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Elektromanyetik güneş spektrumu ve UV, PAR ve IR dalgaboyları	16
Şekil 2.2.	Enlem ve güneş zenit açısının fonksiyonu olarak UVB (305 nm) ve UVA (340 nm) dalga boylarına ait ışınma şiddetlerinin değişimi	17
Şekil 2.3.	Antartik ozon deliğinin UVB dalga boyunun ışınma şiddeti üzerine etkisi	18
Şekil 2.4.	Kış ve yaz mevsimleri için enleme bağlı olarak gün uzunluğunun değişimi	19
Şekil 2.5.	Kıyısal bir bölgede deniz kirliliğine sebep olan temel kirletici kaynaklar	20
Şekil 2.6.	WHO'nun sınıflandırmasına göre kirletici etkilerinin değişimi	22
Şekil 2.7.	Farklı dalga boyları ve tam güneş spektrumu altında enterokok ve <i>E. Coli</i> inaktivasyon eğrileri	45
Şekil 2.8.	Fekal koliform bakterilerinin farklı dalga boylarındaki inaktivasyon eğrileri	45
Şekil 2.9.	T ₉₀ parametresinin günün saatleri ve mevsimlere göre değişimi	46
Şekil 3.1.	Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi genel akım şeması	65
Şekil 3.2.	Deniz deşarj hattı ve ölçüm istasyonlarının lokasyonları	68
Şekil 3.3.	Akıntı ölçümlerinde kullanılan yüzekler	70
Şekil 3.4.	Akıntı ölçümlerinde kullanılan yüzekler	70
Şekil 3.5.	Derinlik boyunca ultrasonik akıntı ölçer ile akıntı ölçülen nokta	71
Şekil 3.6.	Deniz deşarj hattı ve örnekleme istasyonlarının lokasyonları	72
Şekil 3.7.	Örnekleme istasyonlarının ve deniz deşarj hattının lokasyonları	73
Şekil 3.8.	Deniz suyu numunelerinin alınmasında kullanılan numune alma cihazları	74
Şekil 3.9.	Saha çalışmalarında kullanılan tekne	75
Şekil 3.10.	Karanlık ortam deneylerinde kullanılan düzeneğin açık (a) ve kapalı (b) durumda çekilmiş fotoğrafları	78
Şekil 3.11.	Çalışmada kullanılan güneş simülatörü	80
Şekil 3.12.	Deneyler sırasında güneş simülatörü çalışırken çekilmiş fotoğraf	80

Şekil 3.13.	Atmosfer dışı (noktalı çizgi) ve deniz seviyesindeki güneş ışığına ait spektrum.....	81
Şekil 3.14.	Güneş simülatöründen elde edilen toplam atmosferik ışınım spektrumu.....	81
Şekil 3.15.	Atmosferik filtreler (AM0 ve AM1) sonrası güneş simülatörü spektrumu.....	82
Şekil 3.16.	Deneylerde ışık şiddetinin ayarlanması amacıyla kullanılan nötral yoğunluk filtre seti	83
Şekil 3.17.	Deneylerde simüle edilen ışığın şiddetini ölçmek için kullanılan radyometre	83
Şekil 3.18.	Deney düzeneği ve güneş simülatörü	84
Şekil 3.19.	Değişik dalgalı boyları için yapılan deneylerde kullanılan dalgalı boyu filtreleri.....	85
Şekil 3.20.	Farklı dalgalı boyları için yapılan deneylerde kullanılan spektrometre	86
Şekil 3.21.	Deşarj hattı ve risk analizi için seçilen hedef bölge.....	98
Şekil 4.1.	Sonbahar mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları	100
Şekil 4.2.	Kış mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları	101
Şekil 4.3.	İlkbahar mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları	102
Şekil 4.4.	Yaz mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları	103
Şekil 4.5.	Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için mevsimsel ve yıllık maksimum, minimum ve ortalama bakteri konsantrasyonları	104
Şekil 4.6.	Ağustos 2008 – Ağustos 2009 dönemi için Hurma Atıksu Arıtma Tesisi günlük giriş debileri	105

Şekil 4.7.	Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sıcaklığın derinlikle değişimi.....	107
Şekil 4.8.	Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde tuzluluğun derinlikle değişimi	108
Şekil 4.9.	Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yoğunluğun derinlikle değişimi	109
Şekil 4.10.	Secchi disk derinliğinin mevsimlik olarak değişimi.....	110
Şekil 4.11.	Ölçüm boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar	113
Şekil 4.12.	Kış mevsimi ölçümü boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar	115
Şekil 4.13.	Su yüzeyinden tabana doğru d= 5-10 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	117
Şekil 4.14.	Su yüzeyinden tabana doğru d=10-15 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	117
Şekil 4.15.	Su yüzeyinden tabana doğru d=15-20 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	117
Şekil 4.16.	Su yüzeyinden tabana doğru d=20-30 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	118
Şekil 4.17.	İlkbahar mevsimi ölçümü boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar	118
Şekil 4.18.	Yüzey tabakasında (d=0-5m) ölçülen akıntı hızları.....	120
Şekil 4.19.	Su yüzeyinden tabana doğru d=5-10 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	120
Şekil 4.20.	Su yüzeyinden tabana doğru d=10-15 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	120
Şekil 4.21.	Su yüzeyinden tabana doğru d=15-20 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	121
Şekil 4.22.	Su yüzeyinden tabana doğru d=20-30 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	121
Şekil 4.23.	Yaz mevsimi ölçümü boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar	122

Şekil 4.24.	Yüzey tabakasında (d=0-5m) ölçülen akıntı hızları.....	124
Şekil 4.25.	Su yüzeyinden tabana doğru d=5-10 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	124
Şekil 4.26.	Su yüzeyinden tabana doğru d=10-15 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	124
Şekil 4.27.	Su yüzeyinden tabana doğru d=15-20 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	125
Şekil 4.28.	Su yüzeyinden tabana doğru d=20-30 m tabakasında ölçülen akıntı hızları	125
Şekil 4.29.	Sonbahar mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform	129
Şekil 4.30.	Kış mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform	133
Şekil 4.31.	İlkbahar mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform	137
Şekil 4.32.	Yaz mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform	141
Şekil 4.33.	Toplam koliform bakterileri için karanlık ortamda T_{90} değerlerinin sıcaklık ve tuzlulukla değişimi	143
Şekil 4.34.	Fekal koliform bakterileri için karanlık ortamda T_{90} değerlerinin sıcaklık ve tuzlulukla değişimi	144
Şekil 4.35.	<i>E.Coli</i> bakterileri için karanlık ortamda T_{90} değerlerinin sıcaklık ve tuzlulukla değişimi	145
Şekil 4.36.	TC bakterileri için elde edilen regresyon eşitliği tahminlerine karşı deneysel sonuçlar	146
Şekil 4.37.	FC bakterileri için elde edilen regresyon eşitliği tahminlerine karşı deneysel sonuçlar	147

Şekil 4.38.	<i>E. Coli</i> bakterileri için elde edilen regresyon eşitliği tahminlerine karşı deneysel sonuçlar	147
Şekil 4.39.	Her üç deney grubu için k_d değerinin ışık şiddeti ile değişimi	150
Şekil 4.40.	Her üç deney grubu için T_{90} değerinin ışık şiddeti ile değişimi	150
Şekil 4.41.	Farklı dalgaboyu aralıklarında TC inaktivasyon eğrileri	153
Şekil 4.42.	Sinton vd (1999)'ne ait çalışmada kullanılan filtre spektrumları	153
Şekil 4.43.	Sonbahar dönemi örneklemelerinin yapıldığı istasyonların lokasyonları.....	157
Şekil 4.44.	Sonbahar mevsimi çalışmasında deniz yüzeyinde rastlanan toplam koliform kirliliğinin alansal dağılımı	158
Şekil 4.45.	Sonbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında (b) oluşan akıntılar	160
Şekil 4.46.	Sonbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili.....	161
Şekil 4.47.	20-22 Ekim 2008 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	162
Şekil 4.48.	Kış dönemi örneklemelerinin yapıldığı istasyonların lokasyonları	164
Şekil 4.49.	Örneklem istasyonlarında 5 m derinlikte bulunan TC bakterilerinin alansal dağılımı	165
Şekil 4.50.	Örneklem istasyonlarında 10 m derinlikte bulunan TC bakterilerinin alansal dağılımı	166
Şekil 4.51.	Örneklem istasyonlarında 15 m derinlikte bulunan TC bakterilerinin alansal dağılımı	166
Şekil 4.52.	Kış mevsiminde kuzey yönünden 4 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında (b) oluşan akıntılar	168
Şekil 4.53.	Kış mevsiminde kuzey yönünden 4 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili	169

Şekil 4.54.	17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	170
Şekil 4.55.	İlkbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında (b) oluşan akıntılar	174
Şekil 4.56.	İlkbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili.....	174
Şekil 4.57.	11-13 Mayıs 2009 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	176
Şekil 4.58.	Yaz mevsimi çalışmasında 30 metre derinlikte rastlanan toplam koliform kirliliğinin alansal dağılımı	178
Şekil 4.59.	Yaz mevsiminde kuzey yönünden 3 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında oluşan akıntılar	180
Şekil 4.60.	Yaz mevsiminde kuzey yönünden 3 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili	180
Şekil 4.61.	20-22 Temmuz 2009 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	182
Şekil 4.62.	Sonbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	185
Şekil 4.63.	Sonbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden S-SSW-SSE yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	186
Şekil 4.64.	Kış mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	187
Şekil 4.65.	Kış mevsimi için hakim yönleri temsil eden N-NNW yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	188
Şekil 4.66.	İlkbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	189
Şekil 4.67.	İlkbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	190

Şekil 4.68.	Yaz mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	191
Şekil 4.69.	Yaz mevsimi için hakim yönleri temsil eden S-SSE-SSW yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	192
Şekil 4.70.	Sonbahar mevsiminde S yönünden 11 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar.....	193
Şekil 4.71.	Sonbahar mevsiminde S yönünden 11 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	194
Şekil 4.72.	Sonbahar mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	195
Şekil 4.73.	Kış mevsiminde NNW yönünden 19,2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar.....	196
Şekil 4.74.	Kış mevsiminde NNW yönünden 19,2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	197
Şekil 4.75.	NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi.....	198
Şekil 4.76.	İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar	199
Şekil 4.77.	İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	200
Şekil 4.78.	İlkbahar mevsiminde NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	201
Şekil 4.79.	Yaz mevsiminde S yönünden 10,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar.....	202
Şekil 4.80.	Yaz mevsiminde S yönünden 10,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	203
Şekil 4.81.	Yaz mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	205
Şekil 4.82.	Sonbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	207
Şekil 4.83.	Sonbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	207

Şekil 4.84.	Kış mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	208
Şekil 4.85.	Kış mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	209
Şekil 4.86.	İlkbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	210
Şekil 4.87.	İlkbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı	211
Şekil 4.88.	Yaz mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü	212
Şekil 4.89.	Yaz mevsimi için NNW yönüne ait rüzgar hızı histogramı.....	213
Şekil 4.90.	Yaz mevsimi için SSE yönüne ait rüzgar hızı histogramı	213
Şekil 4.91.	Sonbahar mevsiminde NNW yönünden 7,4 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar	216
Şekil 4.92.	Sonbahar mevsiminde NNW yönünden 7,4 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	216
Şekil 4.93.	Sonbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	217
Şekil 4.94.	Kış mevsiminde NNW yönünden 8,8 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar.....	219
Şekil 4.95.	Kış mevsiminde NNW yönünden 8,8 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	220
Şekil 4.96.	Kış mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	221
Şekil 4.97.	İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar	222
Şekil 4.98.	İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	223
Şekil 4.99.	İlkbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	224
Şekil 4.100.	Yaz mevsiminde NNW yönünden 6,9 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar.....	225

Şekil 4.101. Yaz mevsiminde NNW yönünden 6,9 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	226
Şekil 4.102. Yaz mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	227
Şekil 4.103. Yaz mevsiminde SSE yönünden 5,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar.....	228
Şekil 4.104. Yaz mevsiminde SSE yönünden 5,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar	229
Şekil 4.105. Yaz mevsiminde SSE yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi	231
Şekil 4.106. k_d parametresinin sonbahar veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılım	232
Şekil 4.107. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan k_d değerleri	233
Şekil 4.108. Deşarj debisinin sonbahar veri setine ait histogram ve belirlenen istatistiksel dağılım	234
Şekil 4.109. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan deşarj debisi değerleri.....	234
Şekil 4.110. Akıntı hızı sonbahar veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	235
Şekil 4.111. Üçgen dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı değerleri	236
Şekil 4.112. Deşarj edilen atıksudaki TC veri setine ait histogram ve belirlenen istatistiksel dağılımı	237
Şekil 4.113. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan TC değerleri.....	237
Şekil 4.114. Deşarj edilen atıksudaki FC veri setine ait histogram ve belirlenen istatistiksel dağılımı	238
Şekil 4.115. Lognormal dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan FC değerleri	238
Şekil 4.116. Sonbahar mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı.....	239
Şekil 4.117. Sonbahar mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı	240
Şekil 4.118. Sonbahar mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı	240

Şekil 4.119. Sonbahar mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı	241
Şekil 4.120. Sonbahar mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	241
Şekil 4.121. Sonbahar mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	242
Şekil 4.122. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu	243
Şekil 4.123. k_d parametresinin kış veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	245
Şekil 4.124. Normal dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan k_d değerleri	245
Şekil 4.125. Deşarj debisi kış veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	246
Şekil 4.126. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan debi değerleri	246
Şekil 4.127. Akıntı hızlarına ait kış veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	247
Şekil 4.128. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızları.....	248
Şekil 4.129. Kış mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı	249
Şekil 4.130. Kış mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı	249
Şekil 4.131. Kış mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı	250
Şekil 4.132. Kış mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı	250
Şekil 4.133. Kış mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	251
Şekil 4.134. Kış mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	252
Şekil 4.135. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu	253
Şekil 4.136. Deşarj debisi ilkbahar veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	254
Şekil 4.137. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan deşarj debisi değerleri.....	255

Şekil 4.138. Deniz yüzeyinde ışık şiddeti veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	256
Şekil 4.139. Lojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan ışık şiddeti değerleri.....	257
Şekil 4.140. Deşarj seviyesindeki akıntı hızı ilkbahar veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	258
Şekil 4.141. Lojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (deşarj seviyesi) değerleri	258
Şekil 4.142. Atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızları ilkbahar veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	259
Şekil 4.143. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (atıksu bulutu seviyesi) değerleri	260
Şekil 4.144. İlkbahar mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı	261
Şekil 4.145. İlkbahar mevsimi için atıksu tarlasının üst yüzeyinin difüzör ekseninden yüksekliği (Ze) değerinin olasılık dağılımı.....	262
Şekil 4.146. İlkbahar mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı.....	262
Şekil 4.147. İlkbahar mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı	263
Şekil 4.148. İlkbahar mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı.....	263
Şekil 4.149. İlkbahar mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	264
Şekil 4.150. İlkbahar mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	265
Şekil 4.151. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu	266
Şekil 4.152. Deşarj debisi yaz veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	268
Şekil 4.153. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan deşarj debisi değerleri.....	268
Şekil 4.154. Deşarj seviyesindeki akıntı hızları yaz veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	269
Şekil 4.155. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (deşarj seviyesi) değerleri	270

Şekil 4.156. Atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızları yaz veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı	271
Şekil 4.157. Üniform dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (atıksu bulutu seviyesi) değerleri	271
Şekil 4.158. Yaz mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı	272
Şekil 4.159. Yaz mevsimi için Ze değerinin olasılık dağılımı	273
Şekil 4.160. Yaz mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı.....	273
Şekil 4.161. Yaz mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı	274
Şekil 4.162. Yaz mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı.....	275
Şekil 4.163. Yaz mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	275
Şekil 4.164. Yaz mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı	276
Şekil 4.165. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu	278
Şekil 4.166. Laboratuvar deneyleri sırasında aynı numunelerden elde edilen FC ve <i>E.coli</i> bakteri sayılarının korelasyon matrisi.....	279
Şekil 4.167. Sonbahar mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı	280
Şekil 4.168. Sonbahar mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı	281
Şekil 4.169. Kış mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı	282
Şekil 4.170. Kış mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı	282
Şekil 4.171. İlkbahar mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı	283
Şekil 4.172. İlkbahar mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı	284

Şekil 4.173. Yaz mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riski.....	285
Şekil 4.174. Yaz mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riski	285

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çeşitli su ortamlarında ışık penetrasyon derinlikleri	15
Çizelge 2.2. Evsel atıksuların genel karakteristikleri.....	26
Çizelge 2.3 Koliform grup tanımlamasını içeren türler	27
Çizelge 2.4. Arıtılmamış evsel atık suda tipik olarak bulunan mikroorganizma tipleri ve yaklaşık sayıları	29
Çizelge 2.5. Bazı patojen ve parazitlerin minimal enfektif dozları.....	29
Çizelge 2.6. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre derin deniz deşarj sistemleri ile deşarj edilebilecek atıksu limitleri	31
Çizelge 2.7. Roberts (1999a, 1999b)'a ait çalışma sonuçları.....	36
Çizelge 2.8. Roberts ve Tian (2004) tarafından yapılan çalışmaya ait sonuçlar.....	37
Çizelge 2.9. Hunt vd (2010) tarafından yapılan çalışmaya ait sonuçlar	38
Çizelge 2.10. Fekal grubu bakteriler için inaktivasyon hızları	41
Çizelge 2.11. Karanlık ortamda T_{90} değerinin sıcaklıkla değişimi	42
Çizelge 2.12. Farklı sıcaklık ve güneş ışınması şiddetlerinin T_{90} değeri üzerine etkisi	49
Çizelge 2.13. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar	51
Çizelge 2.14. Bazı mikroorganizmalar için enfeksiyon dozları	55
Çizelge 2.15. Patojenlerin deniz ortamındaki varlığını etkileyen temel parametreler.....	56
Çizelge 2.16. Dışkıda bulunan enterik patojen konsantrasyonları.....	57
Çizelge 2.17. İndikatör organizmaların ham atıksudaki tahmini konsantrasyonları.....	58
Çizelge 2.18. Aktif çamur atıksu arıtma tesisinde patojen giderimi	60
Çizelge 2.19. Evsel nitelikli atıksulardaki patojen konsantrasyonları	60
Çizelge 3.1. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi tasarım kriterleri	64
Çizelge 3.2. Arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu konsantrasyonları ve deşarj standartları	66
Çizelge 3.3. Deniz deşarj hattı çevresinde belirlenen ölçüm istasyonlarının koordinatları	68
Çizelge 3.4. Örnekleme istasyonlarının koordinatları ve maksimum örnekleme derinlikleri	72

Çizelge 3.5. Örneklem istasyonlarının koordinatları ve maksimum örneklem derinlikleri	73
Çizelge 3.6. Karanlık ortam deneylerinde kullanılan değişken parametreler ve değerleri	77
Çizelge 4.1. Mevsimlik ortalama tesis giriş debileri.....	104
Çizelge 4.2. P0 istasyonunda mevsimsel oşinografik ölçümlerin aralık değerleri ve mevsim ortalamaları	112
Çizelge 4.3. Çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları.....	114
Çizelge 4.4. Kış ölçümünde çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları.....	116
Çizelge 4.5. İlkbahar ölçümünde çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları	119
Çizelge 4.6. Yaz ölçümünde çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları	123
Çizelge 4.7. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	126
Çizelge 4.8. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	127
Çizelge 4.9. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	127
Çizelge 4.10. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	128
Çizelge 4.11. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	128
Çizelge 4.12. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	130
Çizelge 4.13. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	131
Çizelge 4.14. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	131
Çizelge 4.15. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	132

Çizelge 4.16. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 mL).....	132
Çizelge 4.17. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	134
Çizelge 4.18. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	135
Çizelge 4.19. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	135
Çizelge 4.20. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	136
Çizelge 4.21. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	136
Çizelge 4.22. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	138
Çizelge 4.23. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	139
Çizelge 4.24. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	139
Çizelge 4.25. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	140
Çizelge 4.26. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml).....	140
Çizelge 4.27. Karanlık ortam deneylerinde kullanılan değişken parametreler ve değerleri.....	142
Çizelge 4.28. Toplam koliform bakterileri için 24 ve 28 °C’de yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d (1/sa) ve T_{90} (sa) değerleri.....	143
Çizelge 4.29. Fekal koliform bakterileri için 16, 20, 24 ve 28 °C’de yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d (1/sa) ve T_{90} (sa) değerleri.....	144
Çizelge 4.30. <i>E.Coli</i> bakterileri için 16, 20, 24 ve 28 °C’de yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d (1/sa) ve T_{90} (sa) değerleri.....	145
Çizelge 4.31. Literatürdeki benzer çalışma sonuçlarıyla FC bakterileri için geliştirilen eşitlikten elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	148

Çizelge 4.32. Değişen ışık şiddetleri altında TC için k_d ve T_{90} değerleri	149
Çizelge 4.33. Değişen ışık şiddetleri altında FC için k_d ve T_{90} değerleri	149
Çizelge 4.34. Değişen ışık şiddetleri altında <i>E.coli</i> için k_d ve T_{90} değerleri	150
Çizelge 4.35. 600 W/m ² ışık şiddetinde farklı dalgalarda yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d , T_{90} ve R^2 değerleri	152
Çizelge 4.36. Bakteriyolojik izlemeye yönelik örnekleme çalışmalarının yapıldığı tarihlerdeki rüzgar hızı ve yönleri	156
Çizelge 4.37. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları	157
Çizelge 4.38. Sonbahar mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) (CFU/100 ml)	158
Çizelge 4.39. Sonbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri	159
Çizelge 4.40. Visual Plumes modeli ile 20-22 Ekim 2008 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri	161
Çizelge 4.41. Visual Plumes modeliyle 20-22 Ekim 2008 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri	162
Çizelge 4.42. Atıksu hareketi yönünde bulunan bakteriyolojik kirlilik ve model tahminleri	163
Çizelge 4.43. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları	164
Çizelge 4.44. Kış mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) (CFU/100 ml)	165
Çizelge 4.45. Kış mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri	167
Çizelge 4.46. Visual Plumes modeliyle 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri	169
Çizelge 4.47. Visual Plumes modeliyle 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri	170

Çizelge 4.48. Atıksu hareketi yönünde bulunan bakteriyolojik kirlilik ve model tahminleri.....	171
Çizelge 4.49. İlkbahar mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) (CFU/100 ml)	172
Çizelge 4.50. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan yaklaşık uzaklıkları.....	172
Çizelge 4.51. İlkbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri.....	172
Çizelge 4.52. Visual Plumes modeliyle 11-13 Mayıs 2009 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri.....	175
Çizelge 4.53. Visual Plumes modeliyle 11-13 Mayıs 2009 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri	175
Çizelge 4.54. 11-13 Mayıs 2009 tarihlerinde en yoğun kirlilik izlenen istasyonlar için toplam koliform (TC) bakteri sayısı tahminleri	176
Çizelge 4.55. Yaz mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Toplam Koliform (TC) ve Fekal Koliform (FC) (CFU/100 ml)	177
Çizelge 4.56. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan yaklaşık uzaklıkları.....	178
Çizelge 4.57. Yaz mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri.....	178
Çizelge 4.58. Visual Plumes modeliyle 20-22 Temmuz 2009 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri.....	181
Çizelge 4.59. Visual Plumes modeliyle 20-22 Temmuz 2009 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri	181
Çizelge 4.60. 20-22 Temmuz 2009 tarihlerinde en yoğun kirlilik izlenen istasyonlar için toplam koliform (TC) bakteri sayısı tahminleri	182
Çizelge 4.61. Sonbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	185

Çizelge 4.62. Kış mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	187
Çizelge 4.63. İlkbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	189
Çizelge 4.64. Yaz mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	191
Çizelge 4.65. Uzun dönemlik maksimum rüzgar verilerine ait ekstrem rüzgar hız ve yönleri	192
Çizelge 4.66. Sonbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri.....	193
Çizelge 4.67. Visual Plumes modeli ile S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri	194
Çizelge 4.68. Visual Plumes modeli ile sonbahar mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri.....	195
Çizelge 4.69. Kış mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri.....	196
Çizelge 4.70. Visual Plumes modeli ile kış mevsiminde NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri	197
Çizelge 4.71. Visual Plumes modeli ile NNW yönlü ekstrem rüzgarlar tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri	198
Çizelge 4.72. İlkbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri.....	199
Çizelge 4.73. Visual Plumes modeli ile ilkbahar mevsiminde NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri.....	200
Çizelge 4.74. Visual Plumes modeli ile NNW yönlü ekstrem rüzgarlar tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri	201
Çizelge 4.75. Yaz mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri.....	202

Çizelge 4.76. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri	203
Çizelge 4.77. Yaz mevsiminde Visual Plumes modeli ile S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri.....	204
Çizelge 4.78. Sonbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	206
Çizelge 4.79. Kış mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	208
Çizelge 4.80. İlkbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	210
Çizelge 4.81. Yaz mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları.....	211
Çizelge 4.82. Uzun dönemlik saatlik ortalama rüzgar verilerine ait ortalama rüzgar hız ve yönleri.....	212
Çizelge 4.83. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi deşarj suları için TC bakteri giderim senaryoları.....	215
Çizelge 4.84. Visual Plumes modeli ile sonbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri.....	217
Çizelge 4.85. Visual Plumes modeli ile sonbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları.....	218
Çizelge 4.86. Visual Plumes modeli ile kış mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri.....	220
Çizelge 4.87. Visual Plumes modeli ile kış mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları.....	221
Çizelge 4.88. Visual Plumes modeli ile ilkbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri.....	223

Çizelge 4.89. Visual Plumes modeli ile ilkbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları.....	224
Çizelge 4.90. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri.....	226
Çizelge 4.91. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları.....	227
Çizelge 4.92. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde SSE yönlü rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve koliform bakteri konsantrasyonları.....	229
Çizelge 4.93. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde SSE yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları.....	230
Çizelge 4.94. Sonbahar mevsimi için belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi	243
Çizelge 4.95. Belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi	252
Çizelge 4.96. Belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi	265
Çizelge 4.97. Belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi	277
Çizelge 4.98. Arıtma yapılmadan deşarj durumunda inceleme bölgesindeki enfeksiyon riskleri	286
Çizelge 4.99. Arıtım sonrası deşarj durumunda inceleme bölgesindeki enfeksiyon riskleri	286

1. GİRİŞ

Günümüzde, hızlı nüfus artışına paralel olarak artan çevre kirliliği, özellikle kıyı bölgelerinin en önemli sorunlarından birisidir. Bununla birlikte, ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde plansız şehirleşme ve altyapı yetersizlikleri de nüfus artışı ile birlikte çözülmesi oldukça zor bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler için bu tür problemleri minimum ekonomik gereksinimler ile çözmek öncelikli hedefler arasındadır. Bu bakımdan deniz deşarj sistemleri, günümüzde oldukça etkili ve ekonomik olan atıksu bertaraf yöntemlerindedir. Bir deniz deşarj sisteminde amaç, şehir atıksu şebekesi ile toplanan atıksuların, ihtiyaca göre belirlenen bir seviyede artırılmasından sonra deniz ortamına verilerek, çok yüksek seyrelme oranları ile zararsız hale getirilmesidir. Kıyıların kullanım amaçları, hassasiyeti ve atıksu özelliklerine bağlı olarak seçilen arıtım yöntemi deniz deşarj sisteminin tasarımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle turizmin ve kıyusal faaliyetlerin yoğun olduğu hassas kıyı bölgelerinde deniz suyu kalitesinin korunması amacıyla arıtım derecesi çok daha büyük bir öneme kavuşmaktadır.

Deniz deşarj sistemleri yeterli ölçüm verileri ve doğru parametrik tanımlamalarla tasarlanıp, yüksek kalitede inşa edilip, işletildiği sürece, deniz ortamındaki doğal özümleme kapasitesinin en yüksek düzeyde kullanılabilmesine imkan sağlamaktadır. Belirtilen niteliklere sahip deşarj sistemleri için düzenli olarak yapılan deniz suyu kalitesi izleme programları ile de deşarj sisteminin alıcı ortama olumsuz etkilerinin tespit edilmesi önem taşımaktadır. Deşarj edilen atıksuların insan sağlığına etkilerinin bertaraf edilebilmesi için yüzme ve rekreasyonel amaçlı bakteriyolojik su kalite standartları tanımlanmış olup, bu standartlar genel olarak deşarj edilen atıksuların içerisinde yer alan patojen nitelikli organizmalarla insan temasını önlemeyi hedef almaktadır. İnsan sağlığı üzerindeki etkiler, balık çiftliklerinin bulunduğu ve kabuklu deniz canlılarının avlandığı bölgelerde daha hassas olarak izlenmelidir. İnsan sağlığına yönelik olumsuz etkilerin en az düzeyde gerçekleşmesi açısından, deniz deşarj sistemlerinin planlama ve tasarım aşamaları büyük bir dikkat ve sistematik yaklaşım gerektirmektedir (Ludwig 1988). Deniz deşarjı öncesinde uygulanan arıtma kademeleri ve deşarj borusu uzunlukları, deşarj sistemlerinin tasarımında büyük önem taşımaktadır (Wood vd 1993).

Deniz ortamına deşarj edilen arıtılmış veya kısmen arıtılmış evsel kaynaklı atıksuların deniz suyu ile karışması neticesinde oluşan fiziksel seyrelme ve biyokimyasal süreçler deşarj edilen atıksuyun olumsuz etkisini azaltır. Deniz ortamının karmaşık ve dinamik yapısından ötürü bu süreçlere etki eden birçok parametre söz konusudur. Deşarj edilen atıksular, deniz suyu ile ilk karışım sürecinde, deniz tabanından yüzeye doğru hareketi sırasında birinci seyrelme veya yakın alan seyrelmesine tabi olur. Daha sonra, deşarj edilen atıksu-deniz suyu karışımı uzak alan seyrelmesi kapsamında, dispersiyona bağlı ikinci seyrelme ve bakteriyel inaktivasyona bağlı üçüncü seyrelme etkisi altında kalır. Toplam seyrelme, birinci seyrelme, ikinci seyrelme ve üçüncü seyrelme değerlerinin çarpılması ile elde edilir. Deşarj edilen atıksu içindeki kirletici parametrelerin hedef bölgedeki konsantrasyon değerleri toplam seyrelme değerine bağlıdır. Deniz ortamındaki kullanımlar açısından hedef, kirletici konsantrasyonlarının, kabul edilebilir seviyelerin altında olmasını sağlayacak yeterli toplam seyrelme büyüklüklerinin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, deniz suyu kalitesinin rekreasyonel veya kültür balıkçılığı gibi kullanımlar açısından uygun kalitede bulunması ve gerekli standartları karşılaması açısından yeterli seyrelme oranlarının sağlanması zorunlu olmaktadır (Salas 1998).

Evsel kaynaklı atıksular içinde pek çok kirleticiler bulunmaktadır. Örnek olarak, organik madde, azot ve fosfor, patojenler açısından indikatör olan koliform bakteriler, askıda katı madde, yağ ve gres sayılabilir. Deniz deşarjı ile deniz ortamına verilen atıksular içindeki bu kirleticiler, koliform bakteriler hariç, çoğu zaman deniz ortamındaki seyrelme sonucu deniz suyu kalitesi için izin verilen standart değerlerin altına inebilmektedir. Bu sebeple, deniz deşarjları tasarımında, deniz kıyısı gibi belirlenen hedef noktalardaki bakteri konsantrasyonlarının standart değerleri karşılayabilecek koşulları sağlaması için kontroller yapılmaktadır. Koliform bakteriler genellikle patojenlerle olan kirliliğin belirlenmesinde, indikatör organizma olarak kullanılır. Deniz suyunun rekreasyonel amaçlı kullanımında çoğunlukla toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, enterokok ve *Escherichia coli* bakteri türleri su kalitesini tanımlamak amacı ile kullanılır (US-EPA 1986, WHO 2003, SKKY 2008, Darakas vd 2009).

Deniz deşarjı tasarımı öncesinde akıntı hızı ve yönleri, T_{90} (koliform bakterilerin %90'ının yokolması için gerekli süre), deşarj edilen atıksu kalitesi, meteorolojik, batimetrik ve jeolojik unsurları tanımlamaya yönelik yoğun arazi çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Deniz ortamındaki bakteri konsantrasyonunu etkileyen bakteriyel inaktivasyon hız katsayısı (k_d) veya ona ilişkin T_{90} değerinin belirlenmesi deniz deşarj sistemlerinin tasarımında oldukça önemlidir. Bakteriyel inaktivasyon hızı; güneş ışığı, tuzluluk, sıcaklık, pH, diğer organizmalar tarafından parçalanma ve besi maddesi yetersizlikleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Davies-Colley vd 1994, Davies-Colley vd 1997, Gameson ve Gould 1975, Sinton vd 1994, Sinton vd 1999). Deniz deşarj sistemlerinin tasarımında mevsimsel ve gün içindeki farklı koşulları temsil eden dinamik k_d değerlerinin kullanımı, bakteri konsantrasyonu tahminindeki belirsizliklerin asgariye indirilmesi açısından önem arz etmektedir. Ülkemizde uygulanmakta olan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (SKKY 2008) göre T_{90} süresi yaz aylarında Akdeniz için en az 1, Karadeniz içinse en az 2 saat olarak tanımlanırken, kış mevsimi içinse bu değer 3-5 saat arasında seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Belirtilen değerler sadece su yüzeyindeki T_{90} sürelerini tariflemektedir. Ancak deniz yüzeyine ulaşmadan tutsaklanan ve yüzey altında kalan atıksular için hiçbir T_{90} süresi tanımlanmamış veya yorum yapılmamıştır. Konuya ilişkin mevcut literatürde, deniz yüzeyi altında, derinlerde ve karanlık koşullardaki bakteriyel inaktivasyon hızının, deniz yüzeyindeki inaktivasyon hızına oranla çok daha yavaş olduğu belirtilmiştir. Deniz yüzeyindeki ile karanlık ortamdaki bakteriyel inaktivasyon hızlarının oranı 40 katına kadar ulaşabilmektedir (Yükselen vd 2003). Bu sebeple, bazı araştırmacılar hava koşulları ve atıksu bulutunun deniz yüzeyi altındaki tutsaklanma derinliğine bağlı olarak, dinamik T_{90} değerlerinin kullanılmasını önermektedir (Bell vd 1992, Canteras vd 1995, Guillaud vd 1997). Ancak, deniz suyu derinliği boyunca bakteriyel inaktivasyonun değişimi konusunda çok az literatür çalışması mevcuttur.

Akıntı hız ve yönleri, deniz içinde su kolonu boyunca büyük değişimler sergilemektedir. Ayrıca, deniz deşarjları çevresinde aynı derinlikte fakat farklı noktadaki akıntı hızları da büyük alansal değişimler göstermektedir. Akıntı hızları hidrodinamik modellerin kullanımı ile tahmin edilebilmektedir. Denize deşarj edilen atıksuların tutsaklanma derinlikleri belirlendiği takdirde, tutsaklanma derinliğindeki

akıntı hızları ile atıksu bulutunun hareketi ve seyrelme tahminleri yapılabilmektedir. Akıntı hızları daha önce belirtilmiş olan her üç seyrelme prosesini de etkilemektedir. Bu sebeple, derinlik boyunca akıntı hızlarının değişiminin incelenmesi, belirlenen hedef bölgelerdeki seyrelme değerlerinin ve kirletici konsantrasyonlarının hesaplanmasında son derece önemlidir.

Deniz ortamında derinlik boyunca sıcaklık ve/veya tuzluluk farklılıklarının oluşması neticesinde, belirli bölgelerde ve belirli mevsimlerde yoğunluk tabakalaşması oluşabilmektedir. Bu durum genellikle yaz mevsiminde ve çok sığ olmayan bölgelerde ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak, Antalya Körfezi'nde yaz mevsiminde belirgin bir yoğunluk tabakalaşması oluşmaktadır (Muhammetoğlu vd 1999, 2001, 2002, 2003, Yalçın 2004). Benzer şekilde, İstanbul Boğazı'nda yüzey ve dip seviyelerdeki tuzluluk farklılıklarından dolayı sürekli bir yoğunluk tabakalaşması mevcuttur (Öztürk 1996). Yoğunluk tabakalaşması genellikle deşarj edilen atıksuların deniz yüzeyine ulaşmasını engelleyerek, atıksu bulutunun yüzey altında tutsaklanmasına sebep olmaktadır. Atıksuların yüzey altındaki tutsaklanma derinliği temel olarak derinlik boyunca oluşan yoğunluk tabakalaşmasının derecesine, bir başka anlamda derinlik boyunca oluşan sıcaklık ve tuzluluk farklılıklarına bağlıdır. Tutsaklanma derinliği ile ilgili bir çalışma için derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluğun alansal ve zamansal değişimlerinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Atıksuların deniz seviyesi altındaki tutsaklanma derinliği seyrelme prosesleri üzerinde büyük etki yaratmaktadır. Bunun sebebi, hem bakteriyel inaktivasyon hızının, hem de atıksu bulutunu sürükleyen akıntı hızlarının derinlik boyunca değişmesidir. Derinlik boyunca yoğunluk tabakalaşmasının gözlemlendiği ortamlarda *bakteriyel inaktivasyon hızları* ile *akıntı hızları* deniz deşarjları tasarımında ve hedef bölgelerdeki bakteri konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde belirsizliklere yol açan en önemli faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Deniz yüzeyi altında tutsaklanma durumu, atıksuyun deniz yüzeyine çıkmamasından ötürü bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Öyle ki, deşarj edilen atıksu yüzeyde bulunmayacağı için yüzey faaliyetlerinde rahatsızlıklara sebep

olmayacaktır. Ancak, bu durumda, tutsaklanmış olan atıksu kısmen daha fazla ham atıksu karakteristiğinde ve yüksek kirlilik konsantrasyonlarını içeren bir şekilde bulunabileceğinden dezavantaj oluşturmaktadır. Bu koşullar altında, tutsaklanmış atıksuların, deniz batimetrisinin değişimi sebebiyle yüzeye ulaşması durumunda, su kalitesi açısından bir bozulma söz konusu olabilir. Tutsaklanmış atıksular, özellikle tutsaklanma derinliğinin düşük olması halinde, deniz ortamındaki türbülans ve çalkantı gibi etkenler altında yüzeye ulaşabilir. Ayrıca, tutsaklanmış atıksuların, kıyıya doğru hareketi sırasında, deniz tabanının fiziksel yapısından kaynaklanan sığlaşmadan ötürü kıyı bandı içinde deniz yüzeyine ulaşabilir. Bu durumda, tutsaklanmış atıksu bulutu içindeki yüksek konsantrasyondaki kirleticilerin yüzeye ulaşmaları, kıyı bölgesindeki su kalitesinin bozulmasına sebep olabilir. Buna ek olarak, turistik bölgelerde gezinti tekneleri ile ulaşım sağlanabildiğinden, kıyıda belirli bir mesafedeki pek çok bölgede rekreasyonel faaliyetler yapılabilmektedir. Bu tür faaliyetlerin söz konusu olduğu bölgelerde, kıyıda uzakdaki noktadaki deniz suyu kalitesi de önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı derin deniz deşarj sistemleri ile deniz ortamına bırakılan atıksulardan kaynaklanan bakteri konsantrasyonlarına yönelik seyrelme proseslerinin tahmin edilmesindeki belirsizliklerin araştırılması olup çalışma için Antalya Derin Deniz Deşarj sistemi seçilmiştir. Bu sistem vasıtasıyla Antalya Körfezine deşarj edilen Antalya kenti atıksularının belirli mevsimlerde deniz yüzeyi altında farklı derinliklerde tutsaklandığı daha önceki çalışmalarda tespit edilmiştir (Yalçın 2004). Bu kapsamda, tahminlerde belirsizliğe sebep olan parametreler; deniz seviyesi altındaki bakteriyel inaktivasyon hızı veya T_{90} süresi, farklı derinliklerde ve farklı bölgelerdeki akıntı hızlarının değişimi, deşarj edilen atıksu debisi ve deşarj edilen atıksu içindeki başlangıç indikatör organizma konsantrasyonudur. Akıntı hızlarının ve deniz deşarjı çevresindeki seyrelme değerlerinin tahmini için modelleme teknikleri kullanılmıştır. Modellerden iyi tahmin sonuçlarının elde edilebilmesi, model giriş verilerinin doğru şekilde tespit edilmesine bağlıdır. Bu sebeple, farklı ortam koşullarındaki T_{90} süresinin değişiminin tayini için laboratuvar ortamında değişik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Derinlik boyunca yoğunluk tabakalaşmasının değişimi, Antalya Deniz Deşarjı yakınlarında derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluk parametreleri için arazi ölçümlerinin yapılması ile tespit edilmiştir. Akıntı hızlarının değişimini belirlemek için 3 boyutlu bir

hidrodinamik model kullanılmış ve deniz deşarj sistemi civarında yapılan akıntı ölçümleri yardımıyla model Antalya Körfezi'ne uyarlanmıştır. Bu aşamalardan sonra, atıksu deşarjları için seyrelme tahminleri yapılmıştır. Toplam seyrelme değerinin tahmin edilmesinden sonra, bakteri konsantrasyonlarının tahmini de mümkün olmaktadır. Seyrelme tahminlerinde kullanılan parametrelerin belirsizlik analizi için Monte Carlo Simülasyonu kullanılmıştır. Modellerde kullanılan parametrelerin alt ve üst sınır değerleri ve olasılık dağılımları bir yıl süre ile devam ettirilen ve farklı mevsimlerdeki koşulları tanımlayan arazi çalışmaları ile belirlenmiştir.

Antalya bölgesi içindeki yoğun turizm faaliyetleri yüksek kalitede deniz suyu kalitesi gerektirmektedir. Özellikle rekreasyonel faaliyetler açısından bakteriyolojik su kalitesi öne çıkmakta, deniz ortamındaki bakteri konsantrasyonları için risk analizi değerlendirmeleri önem kazanmaktadır. Tez çalışması kapsamında, belirli bakteri konsantrasyon seviyelerine ilişkin sağlık riskleri için değerlendirme yapılarak, atıksu deşarjlarına bağlı olarak deniz suyu kalitesinde oluşabilecek olumsuz etkilerin azaltılması için alternatif yönetim senaryoları incelenmiştir. Belirli koliform bakteri seviyelerinde oluşabilecek sağlık riskleri yine Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak analiz edilmiştir.

Tez çalışması bütün olarak ele alındığında, atıksu deşarjlarının alıcı ortamdaki tabakalaşma sonucu tutsaklanması durumunda, deniz yüzeyi altında farklı derinliklerdeki bakteri konsantrasyonlarının tahmin edilmesi ve bu konudaki belirsizlikler açısından literatüre katkı sağlayabilecek unsurlar aşağıda açıklanmaktadır.

1. Antalya Körfezi ve Türkiye'deki diğer körfezler için deniz yüzeyinde T_{90} süresi tayini için çalışmalar yapılmış ancak Akdeniz için deniz yüzeyi altındaki T_{90} süresi ile ilgili hiçbir inceleme yapılmamıştır. Literatürde de deniz yüzeyi altındaki T_{90} süresi değişimi ile ilgili bilgiler açısından eksiklik bulunmaktadır. Karanlık ortamlar için Marmara Denizi ve Karadeniz için laboratuvar deneyleri ile bazı araştırmalar yapılmış ise de bu çalışmalar Akdeniz için uygulanabilir değildir. Türkiye'de pek çok kıyı bölgesinde Antalya Körfezi'nde olduğu gibi zamansal yoğunluk tabakalaşmaları oluşmaktadır. Tez çalışması kapsamında laboratuvar ortamında

yapılan denemeler sonucunda değişik ortam koşulları için T_{90} süresinin değişimi belirlenmiş ve bakteriyel inaktivasyona etki eden temel parametreler olan tuzluluk ve sıcaklık için istatistiksel bir eşitlik oluşturulmuştur.

2. Pek çok deniz deşarj sistemi tasarımcısı, tasarım hesaplarında deşarj noktasından kıyıdağı veya başka bir noktadaki hedef bölgeye kadar olan tüm alanlar için, hesaplamalarında tek bir akıntı hızı kullanmaktadırlar. Bu durum ise seyrelme sonuçlarında hatalara yol açmaktadır. Tutsaklanmış atıksu deşarjları için, akıntı hızlarının 3 boyutlu hidrodinamik modellerle zamansal ve alansal değişimlerinin modellenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, üç boyutlu bir hidrodinamik modelden elde edilen verilerle, seyrelme değerleri ve koliform bakteri sayıları tahmin edilmiştir. Böylece, tutsaklanmış atıksular için akıntı hızı değişimlerinin etkisi kantitatif olarak belirlenmiştir.
3. Seyrelme tahminlerinin doğruluğu büyük oranda giriş verilerinin doğru tespit edilmiş olmasına bağlıdır. Özellikle T_{90} değeri, akıntı hızları ve derinlik boyunca yoğunluk tabakalaşması bu açıdan en önemli giriş verilerini oluşturmaktadır. Belirtilen parametrelerin daha doğru şekilde tespit edilmesi amacı ile arazi ölçümleri ve laboratuvar denemeleri ile desteklenen modelleme çalışmaları gereklidir. Tez çalışmasında, söz konusu veriler bir yıl boyunca yürütölen yoğun ölçüm, örnekleme ve analiz çalışmaları yardımıyla elde edilmiştir. Bu verilerin girdi olarak kullanımıyla, üç boyutlu hidrodinamik model çalıştırılmış ve hidrodinamik model sonuçları kullanılarak seyrelme tahminleri yapılmıştır. Modelleme çalışması ile tahmin edilen bakteri konsantrasyonları, arazideki yoğun örnekleme çalışmaları sonucunda elde edilen bakteri konsantrasyonlarıyla değerlendirilmiştir.
4. Deniz ortamına deşarj edilen atıksular için bakteri konsantrasyonlarının hesaplanmasında genel olarak deterministik yaklaşımlar kullanılmakta olup, hedef bölge için tekil parametere değerleri için (maksimum debi, kritik akıntı hızı, ortalama çıkış suyu bakteri konsantrasyonu vb.) toplam seyrelme ve bakteri konsantrasyonu tahmin edilmektedir. Ancak deniz deşarj sistemlerinin modellenmesinde kullanılan parametrelerin büyük bir çoğunluğu zaman içerisinde

önemli salınımlara sahip dinamik parametrelerdir ve deterministik yaklaşımlar yerine stokastik yaklaşımların kullanılması ile daha anlamlı sonuçlara ulaşılması söz konusudur. Bu sebeple tez çalışmasında kullanılan parametrelerin hassasiyet seviyeleri ve belirsizlikleri Monte Carlo Simülasyonu ile analiz edilmiştir. Bu şekilde, akıntı hızı, T_{90} değeri, deşarj edilen atıksuyun debisi ve deşarj edilen atıksuyun bakteri konsantrasyonu gibi parametrelerin deniz ortamındaki bakteri konsantrasyonları üzerindeki etkileri incelenmiş, önem ve hassasiyete göre sıralama yapılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1. Deniz Suyu Özellikleri ve Temel Fiziksel Oşinografi

2.1.1. Sıcaklık

Sıcaklık, deniz suyunun en önemli özelliklerinden olup diğer birçok parametre üzerinde de etkilidir. Örneğin akıntılar, sıcaklığın su üzerinde yarattığı yoğunluk farkından kaynaklanır (ANONİM I). Okyanus sularının sıcaklığı, bunların ısınma ve soğumasını aynı anda zıt yönlerde etkileyen faktörlerin etkisindedir. Okyanus sularının ısınmasında etkili olan temel etkenler aşağıda verilmektedir.

- Güneş ışınlarının absorpsiyonu,
- Yer kürenin iç ısısı,
- Kinetik enerjinin ısıya dönüşmesi,
- Su buharının yoğunlaşmasından oluşan ısı,
- Kimyasal ve biyolojik olaylardan oluşan ısı,

Okyanus ve deniz sularının ısı kaybına neden olan temel etkenler ise;

- Deniz yüzeyinden yansıma,
- Buharlaşmaya bağlı ısı değişimleri,
- Atmosfere bağlı ısı değişimleri, olarak sıralanabilir.

Okyanuslar belli zamanlarda bir ısı kaynağı gibi davranarak etraflarına ısı verir. Bu olay denizlerin atmosferden daha sıcak olduğu dönemlerde gerçekleşir. Ancak buharlaşma olayı okyanus ve denizlerde en fazla ısı kaybına neden olan etkidir. Gerçekte okyanus ve denizlerin kazandığı enerjinin yarıdan fazlası, atmosfere buharlaşma yoluyla iade edilir.

Okyanus sularının yüzey sıcaklığının günlük değişimleri, güneş ışınlarının şiddeti ve süresiyle suların karışım durumuna bağlıdır. Bu değişim kutuplara yaklaştıkça ve derin suların yüzey tabakalarında çok düşük olduğu halde, sığ sahil sularında daha fazladır. Örneğin, kutuplara yakın bölgelerde 0,3-0,5 °C'lik maksimum değişime karşın sahillerde ve az derin bölgelerde değişim 2-3 °C'ye ulaşır (ANONİM I, II). Yüzey suları

sıcaklığının mevsimsel değişimleri ise, güneş ışınlarının mevsimsel değişimleri ile atmosfer ve okyanuslar arasındaki ısı alışverişini etkileyen rüzgarlara ve okyanus akıntılarına bağlıdır. Bu değişimler Kutup bölgesinde düşük olmakla beraber (genellikle 2 °C, bazen 8 °C), ılıman bölgelerde ve karalarla çevrili denizlerde (Karadeniz, Adriyatik Denizi vb.) oldukça yüksek (10-12 °C) değerlere ulaşmaktadır. Derin sularda ise sıcaklık pratik olarak sabittir. Genellikle tüm okyanus ve deniz sularında yüzeyden dibe doğru bir sıcaklık azalışı mevcut olup bu değer 28-30 °C'den -1 °C'ye değişmektedir (Geldiay ve Kocataş 1998).

Derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri ile ilgili olarak Ekvator çevresi ve ılıman bölgelerde yapılan incelemelerde sıcaklığın tabakalaşmalar gösterdiği ve yüzeyden dibe doğru yüzeysel tabaka, geçiş tabakası ve derin su tabakası olmak üzere üç tabakanın olduğu saptanmıştır. Yüzeyde derinlikle pek fazla değişmeyen yüksek sıcaklıkta bir yüzey tabakası ile derinlerde yine derinlikle değişim göstermeyen düşük sıcaklıkta bir alt tabaka bulunmaktadır (Samsunlu 1995). Suyun yüzeyi ile deniz tabanı arasında sıcaklığın derinliğe göre diğer kısımlardakine oranla çok daha hızlı olarak değiştiği bölgeye termoklin tabakası adı verilir. Termoklin tabakasında genellikle derinlikle 1 °C/m'den daha büyük bir sıcaklık değişimi söz konusudur. Termoklin bölgesinin üzerinde yer alan su tabakasının sıcaklığı, yazın dipteki tabakanın sıcaklığından daha fazladır. Kış mevsiminde ise tam tersidir. Üst tabakadaki sıcaklıklar nispeten üniform olup bu durumun sebebi, bu kısmın rüzgar ile daha iyi karışmasıdır (Berkün 2006).

2.1.2. Tuzluluk

Tuzluluk, en basit tanımıyla bir kilogram deniz suyundaki gram cinsinden toplam çözülmüş madde miktardır. Bu bakımdan boyutsuzdur ve binde birim olarak ifade edilir. Çoğu okyanus ortamında tuzluluk değerleri ortalama 35 ppt civarındadır (ANONİM II).

Tuzluluk, içerisindeki karbonat ve organik maddelerin tamamen okside olduğu, Br⁻ ve I⁻ iyonlarının Cl⁻ ile yer değiştirdiği 1 kg deniz suyundaki gram cinsinden katı madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Tuzluluğa en fazla katkısı olan iyon Cl⁻ iyonudur. Tuzluluk, klorinite (Cl⁻) parametresine bağlı olarak geliştirilen Eşitlik 2.1 yardımı ile

hesaplanır. Bu eşitlikte yer alan S, tuzluluğu (g/kg) ve Cl⁻, kloriniteyi (g/kg) ifade etmektedir (Kocataş 1986).

$$S = 0,03 + 1,805 (Cl^{-}) \quad (2.1)$$

Tuzluluk, coğrafi konum ve derinliğe göre değişim gösterir. Denizlerde, yüzeydeki tuzluluk; yağışlar, buzların erimesi ve akarsularla gelen tatlı sularla karışım gibi sebeplerle azalırken buharlaşma ve buzlanma tesiriyle artar. Bu yüzden yıllık yağış miktarının buharlaşmadan fazla olduğu Ekvatora yakın bölgelerde deniz suyunun tuzluluğu diğer yerlere göre daha azdır. Artan enlemlerde ise buharlaşma nispi olarak azaldığı için tuzluluk daha düşüktür (Öztürk 1996). Türkiye’de sıcak Akdeniz kıyılarında, deniz yüzeyindeki suların tuzluluğu buharlaşmanın fazlalığı nedeniyle yüksektir. Sıcaklığın daha düşük olduğu Karadeniz kıyılarında ise yağışların ve nehir debilerinin buharlaşmadan fazla olması nedeniyle deniz yüzeyindeki suların tuzluluğu daha düşüktür (Berkün 2006).

Tuzluluğun derinlikle değişimi açık denizlerde fazla önemli olmamasına karşın kıyı suları ve körfezlerde tatlı sularla karışım oranına bağlı olarak önem arz eder (Öztürk 1996). Kıyı sularında az tuzlu sular üst kısımlarda, daha tuzlu sular ise alt kısımlarda yer alır. Tuzluluğun derinlikle ani olarak değiştiği ara bölgeye haloklin tabakası adı verilmektedir (Berkün 2006).

Tuzluluk artışı ile deniz suyunun yoğunluğu, moleküler vizkozitesi, elektriksel iletkenliği ve osmotik basıncı arttığı halde, spesifik ısı, donma noktası sıcaklığı ve ısı iletkenliği azalır (Kocataş 1986).

2.1.3. Yoğunluk

Tatlı suyun + 4 °C'deki yoğunluğu 1000 kg/m³'tür. Deniz suyunun yoğunluğu ise içerisinde çözünmüş olan maddelerden dolayı tatlı sudan daha yüksektir. Deniz suyu yoğunluğunun tatlı su yoğunluğundan farkı oşinografik yoğunluk olarak tanımlanır ve oşinografik yoğunluk sıcaklık, basınç ve tuzluluğa bağlı olarak değişir (Öztürk 1996).

Deniz suyu yoğunluğu, tuzluluk ve sıcaklığın değişimlerine göre derinlikle de değişir. Genellikle az yoğun bir üst tabaka ve tabanda daha yoğun bir alt tabaka mevcuttur. Yoğunluğun derinlikle hızlıca değiştiği bölgeye piknoklin tabakası adı verilir. Yoğunluk üst kısımlarda daha düşük olup, derinlik arttıkça artarak sabit bir değere yaklaşır (Berkün 2006). Yoğunluk; deniz suyunda türbülans, tabakalaşma ve suyun dikey doğrultudaki hareketlerini etkilediği için deniz suyunun önemli özelliklerinden biridir (Öztürk 1996).

Kıyısal sularda deniz suyu yoğunluğu derinlik boyunca değişiklik gösteriyorsa bu durum genel olarak yoğunluk tabakalaşması olarak tanımlanır ve tuzluluk ile sıcaklığın derinlik boyunca değişiminden ileri gelir. Ilıman iklimlerde, termal tabakalaşma genel olarak mevsimseldir ve dolayısıyla yoğunluk tabakalaşması da mevsimsel olarak gözlenir. Ancak tropikal iklimlerde yoğunluk tabakalaşması yıl boyunca varlığını sürdürebilmektedir. Piknoklin olarak bilinen ve yoğunluğun ani değişiminin gözlemlendiği tabakanın kalınlığı ve pozisyonu, piknoklin ile piknoklini çevreleyen alt ve üst tabakalar arasında meydana gelen difüzyon ile tabaka sınırlarında akıntılardan ileri gelen kesme kuvvetleri sebebiyle oluşan türbülansın önemli ölçüde etkilenir (Bleninger 2006)

Kıyısal bölgelerde, tuzluluk salınımlarının temel sebebi deniz ortamına karasal tatlı su girişleri olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle nehir deşarjlarından ötürü nehir ağızları ve çevresinde önemli tuzluluk değişimleri ve buna bağlı olarak yoğunluk bulutları ortaya çıkmaktadır. Bu yoğunluk bulutları güçlü düşey ve yatay yoğunluk gradyanları ile karakterize olmaktadır. Nehir debisinin mevsimsel salınımlarından ötürü tuzluluk salınımları da mevsimsel olarak farklı karakterlerde ortaya çıkmaktadır.

Yoğunluk tabakalaşması görülen sularda, düşey yoğunluk gradyanı genel olarak bu

ortama deşarj olan akışkanların düşey hareketini önemli ölçüde kısıtlar. Bu sebeple, bu tür su ortamlarına deşarj edilen atıksular deniz yüzeyine çıkamadan, deniz ortamı yoğunluğu ile atıksu/deniz suyu karışımının yoğunluklarının eşitlendiği bir eş yoğunluk noktasında tutsaklanırlar.

2.1.4. Akıntılar

Kıyı bölgesindeki hidrodinamik proses, bu tür bölgelerde etkin olan bir takım dış kuvvetler etkisi altında ortaya çıkan akışkan hareketleri olarak tanımlanır ve genel olarak kıyusal akıntılar, gel-git, gel-git akıntıları, yüzey dalgaları, fırtına kabarması ve tsunamiler olarak ortaya çıkar (Horikawa 1988).

Kıyusal sularla derin sular arasındaki en önemli farklılık iki farklı fiziksel karakteristiktir. Bunlar sığ su derinliği ve kıyı çizgisi olarak sıralanabilir. Bu iki etken kıyusal bölgelerdeki su hareketini ve akıntı rejimlerini belirlemede oldukça önemli rol oynar.

Kıyı bölgelerinde ortaya çıkan akıntılar genel olarak yoğunluk farkları, med-cezir kuvvetleri, rüzgar kayma gerilmeleri, dalga hareketi, nehirlerle tatlı su girişleri ve sahile yakın su hareketleri gibi faktörlerin biri veya birkaçından etkilenmektedir (Ridge 2002).

Bir yerdeki akıntılarının gerçek değeri ve değişimi yukarıdaki esas faktörlere ek olarak koriolis kuvveti, sürtünme, deniz tabanı topoğrafyası ve benzeri etkiler ile yakından ilgilidir. Kıyı bölgelerinde akıntılar, su hareketine sebep olan temel etkenlere göre rüzgar akıntıları, dalga hareketinin sebep olduğu akıntılar, yoğunluk akıntıları ve gel-git akıntıları olarak sınıflandırılabilirler (Öztürk 1996):

- Rüzgar akıntıları: Deniz yüzeyi üzerinde esen rüzgar kaynaklı kesme kuvvetlerinin sebep olduğu akıntılardır. Ortaya çıkan akıntılar yaklaşık olarak rüzgar hızının %3-4'ü büyüklüğünde olmaktadır (Davies 2003). Bu prosesi kontrol eden parametreler;
 - deniz yüzeyi üzerindeki ortalama rüzgar hızı
 - rüzgar feç mesafesi

- rüzgar esme süresi
- Dalga hareketinin sebep olduğu akıntılar: Kıyı bölgesinde, dalga kırılması ile dalganın sahip olduğu enerji deniz yüzeyine aktarılarak akıntı oluşumuna sebep olur.
- Yoğunluk akıntıları: Düşeyde yoğunluk tabakalaşmasına bağlı olarak, su derinliği boyunca ortaya çıkan yoğunluk gradyanı derinliğe bağlı bir basınç gradyanına sebep olur ve serbest yüzey tarafından dengelenemeyen bu basınç gradyanından ötürü bir sirkülasyon meydana gelir (Fischer 1979, Smith 1980, 1996). Yatayda ise, düşük yoğunluklu kıyı suları ile nispeten daha yüksek yoğunluğa sahip açık deniz sularının etkileşimi sonucunda yine yoğunluk akıntıları ortaya çıkar (Qlu vd 1988).
- Gel-git akıntıları: Gel-git; ay, güneş ve dünyanın eşzamanlı çekim kuvvetlerinden kaynaklanan ve 12,4 saatlik bir ortalama periyoda sahip deniz seviyesi yükselme-alçalma olayıdır. Gel-git akıntıları yükselme veya alçalmaya bağlı olarak kıyıya doğru ya da açık denize doğru olmak üzere iki farklı şekilde ortaya çıkabilir (Ridge 2002).

2.1.5. Deniz suyunun optik özellikleri

Deniz suyunda bulunan askıda organik ve inorganik maddelerle çözülmüş organik maddeler, deniz suyunun optik özelliğine etki ederek ışık geçirgenliğini azaltırlar. Güneş ışınları su içinde hem absorpsiyon, hem de dağılma yoluyla kayba uğradığından ancak belli derinliklere kadar inebilmektedirler. Güneş ışınlarının deniz suyunda absorpsiyonu sonucu uğrayacağı kayıplar güneş ışınlarının dalga boyu ve şiddetine, deniz yüzeyinin düz veya dalgalı oluşuna, suyun bulanıklığına, alg ve benzeri organizmaların varlığına bağlıdır (Berkün 2006).

Sudaki bulanıklık, güneş ışınlarının geçirgenliği üzerinde önemli bir faktördür. Açık sularda bulanıklık birincil üretimin etkisi ile gerçekleşirken, sahil sularında buna ek olarak doğal veya doğal olmayan çeşitli aktiviteler sonucu sahilden gelen materyaller de bulanıklığa neden olur. Bu nedenle sahil suları, açık deniz sularına göre daha bulanık olup ışığı daha az geçirirler (Geldiay ve Kocataş 1998). Deniz suyunun ışık geçirgenliği, Secchi diski adı verilen ve genellikle 20 cm çapında siyah-beyaz renge

boyanmış bir disk vasıtasıyla ölçülmektedir. Disk su içerisine daldırılmakta ve diskin su içerisinde belirginliğini kaybettiği derinlik Secchi derinliği olarak kaydedilmektedir. Secchi derinliği güneş ışığının % 90 ve üzeri sönüme uğradığı derinlik olarak tanımlanmaktadır (Uslu ve Türkman 1987).

Işığın su ortamındaki penetrasyon derinliği, Beer-Lambert kanunu gereğince Eşitlik 2.2 ile verilen ifade yardımıyla hesaplanabilir (Brown ve Barnwell 1987);

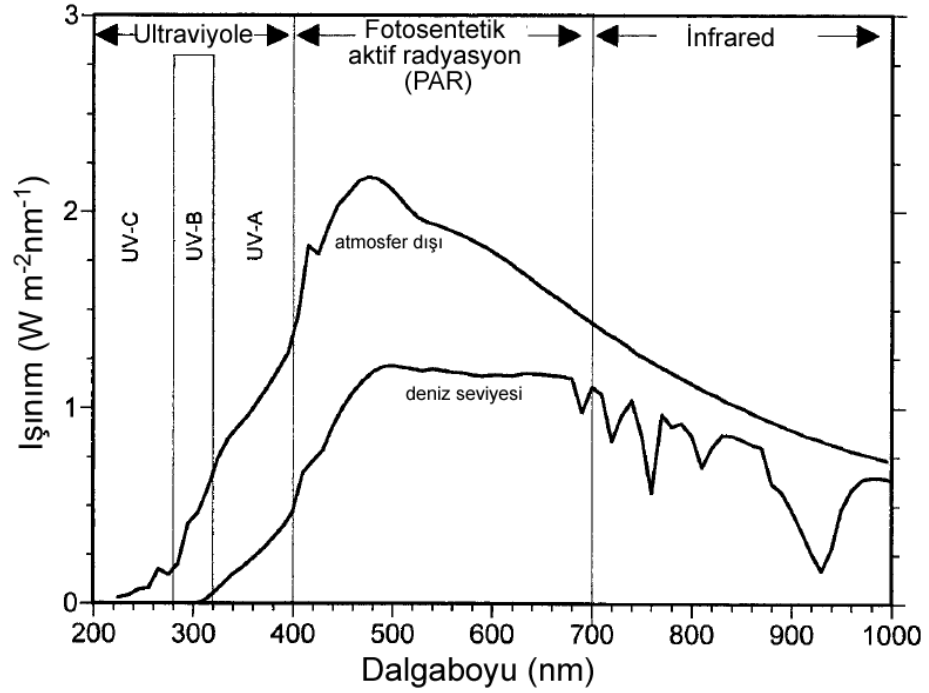
$$I_z = I_0 e^{-\lambda z} \quad (2.2)$$

Burada I_0 , su yüzeyindeki ışık şiddetini; I_z , z derinliğindeki ışık şiddetini; λ , ışık sönüm katsayısını; z ise derinliği temsil etmektedir. Çizelge 2.1.'de çeşitli su ortamlarında λ ve penetrasyon derinliklerinin değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli su ortamlarında ışık penetrasyon derinlikleri (Öztürk 1996)

Su Ortamı	λ (1/m)	$I_z = 0,01 \cdot I_0$	Secchi Derinliği (m)
Distile Su	0,039	118	44
Karayip Denizi	0,041	110	41
Krater Gölleri	-	60-80	-
Sahil Suları (tipik)	-	5-35	2-10
Çoğu İç Sularda	-	3-30	2-10

Işığın su içine girişiminde diğer önemli faktörler ise ışık şiddeti ve dalga boyudur. Güneş ışınları değişik dalga boylarında yayınlanır. Yayınlanan bu dalga boylarının sıralı görünümü elektromanyetik güneş spektrumu olarak tanımlanır. Elektromanyetik güneş spektrumunda yer alan dalga boyları Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

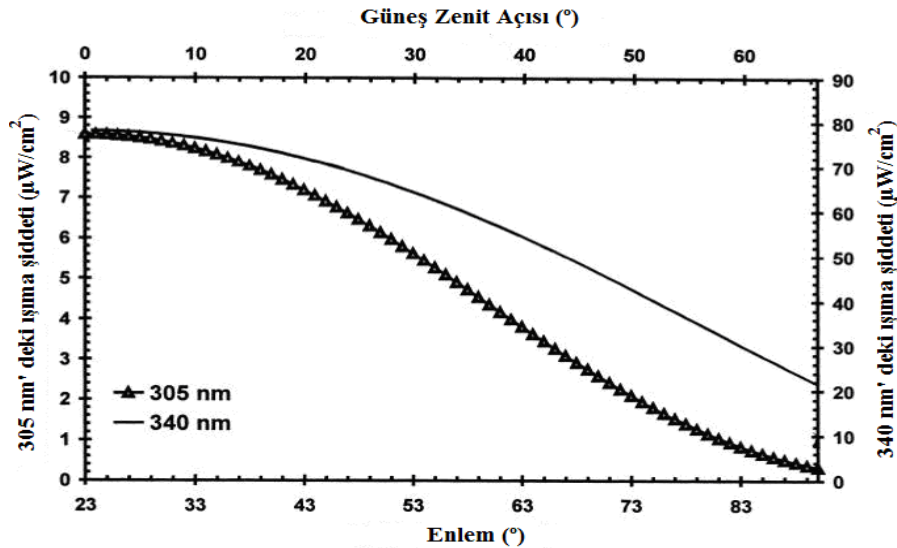


Şekil 2.1. Elektromanyetik güneş spektrumu ve UV, PAR ve IR dalgaboyları (Whitehead vd 2000)

Elektromanyetik güneş spektrumunun görünür (visible) kısmı 400-700 nm'lik dalga boylarını (PAR) kapsar. 200-400 nm arasındaki dalga boyları UV (ultraviyole) bandına karşılık gelirken 700 nm'den büyük dalga boyları kızılötesi (infrared) bandına dahildir. Spektrumun UV bandı UVC, UVB ve UVA olmak üzere üç alt banda ayrılır. UVC bandı, 200-280 nm dalga boyundaki ışınları kapsamakta olup, atmosferin üst tabakasında oksijen ve ozon absorpsiyonundan ötürü bu ışınlar yeryüzüne ulaşamazlar (Diaz 2000). UVB bandı, 280-320 nm dalga boyu aralığındaki ışınları ifade etmekte olup, yine atmosferik ozon tarafından güçlü bir şekilde absorplanır. Bu dalga boyundaki ışınların atmosferden geçirimsizliği çok düşük seviyelerdedir. UVA bandı ise, 320-400 nm dalga boyu aralığında bulunan ışınları ifade etmekte olup UVC ve UVB ile kıyasla daha düşük enerjili UV ışınlarıdır. UV ışınma yoğunluğu, geometrik faktörler (gün içindeki saat, enlem, boylam, mevsim, güneşin gökyüzündeki pozisyonu, dünya-güneş arasındaki mesafe), atmosferik faktörler (ozon kolon derinliği, gökyüzünün bulutluluk oranı, atmosferdeki azot dioksit gibi gazlar ve diğer kirleticiler) ve dünyanın albedosu nedeniyle yeryüzünde değişim gösterir (Diaz vd 2000).

Dünya-güneş arasındaki mesafe ve güneşin gökyüzündeki pozisyonu, güneş

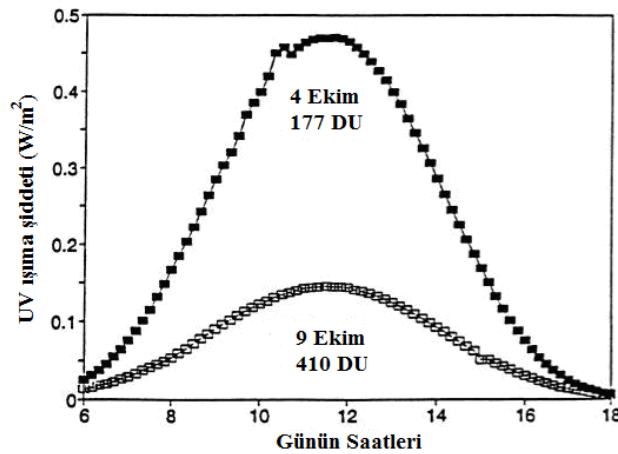
ışınlarının şiddetini etkileyen önemli geometrik faktörlerdendir. Bu faktörler, ışıma şiddetinin enlem ve mevsime bağlı olarak değişimini kontrol ederler. Dünya ile güneş arasındaki mesafe günberi (3 Ocak)'den günöte (5 Temmuz)'ye yaklaşık % 3,5 değişim gösterir. Bunun sonucu olarak da, Güney Yarımküre'deki yaz dönümü esnasındaki güneş ışıma şiddeti, Kuzey Yarımküre'deki yaz dönümüne göre yaklaşık % 7 veya 100 W/m^2 daha fazladır. Bunun yanında güneşin gökyüzündeki pozisyonunun da ışıma şiddetinin üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Güneşin pozisyonunu tanımlamak için iki parametre kullanılır. Bunlar, güneş zenit açısı ve azimut açısıdır (More vd 2000). Güneş zenit açısı, güneşin gökyüzündeki pozisyonu ile gözlemcinin bulunduğu nokta arasındaki açı olarak ifade edilir. Azimut açısı ise, güneş ışınlarının kuzeye göre, saat yönünde sapmasını gösteren açıdır (Goode vd 2001, Hughes 2005). Güneş zenit açısı, tüm dalga boyları üzerine aynı derecede etkili değildir. Ozon tarafından güçlü bir şekilde absorplanabilen UVB ışınlarının şiddeti, enlemin etkisiyle güneş zenit açısı ve ozon kolon derinliğinin artışına bağlı olarak Ekvator ve Kutup Bölgeleri arasında 10 kat değişim gösterir. UVB ışınlarının etkisi, azalan güneş yüksekliğine bağlı olarak Kutup bölgesine doğru azalmaktadır. UVA ışını ve görünür ışığın şiddeti ise güneş zenit açısı ile önemli bir değişim göstermez. Şekil 2.2'de UVB (305 nm) ve UVA (340 nm) dalga boylarına ait güneş ışıma şiddetlerinin enlem ve güneş zenit açısının fonksiyonu olarak değişimi verilmektedir.



Şekil 2.2. Enlem ve güneş zenit açısının fonksiyonu olarak UVB (305 nm) ve UVA (340 nm) dalga boylarına ait ışıma şiddetlerinin değişimi (More vd 2000)

UV ışınmasını etkileyen diğer bir faktör ise ozon kolon derinliğidir. Ozon kolon derinliği Dobson Birimi (DU) ile ifade edilir. Örneğin 100 DU, 0 °C ve 1 atm basınçta 1 mm kalınlığındaki ozona karşılık gelir. Normal koşullar altında ozon kolon derinliği 230-500 DU arasında değişirken, dünyanın her yerinde ozon kolon derinliğinin ortalama olarak yaklaşık 300 DU olduğu kabul edilir. Toplam ozon kolon derinliği, coğrafi ve zamansal olarak değişim gösterir. Örneğin tropik bölgelerde toplam ozon kolon derinliği, yüksek enlemlere göre daha düşüktür. Ozon kolonunun mevsimsel değişimi ise ozon delinmesinin olmadığı durumda ilkbaharda maksimum, sonbaharda ise minimumdur (Roy vd 1994).

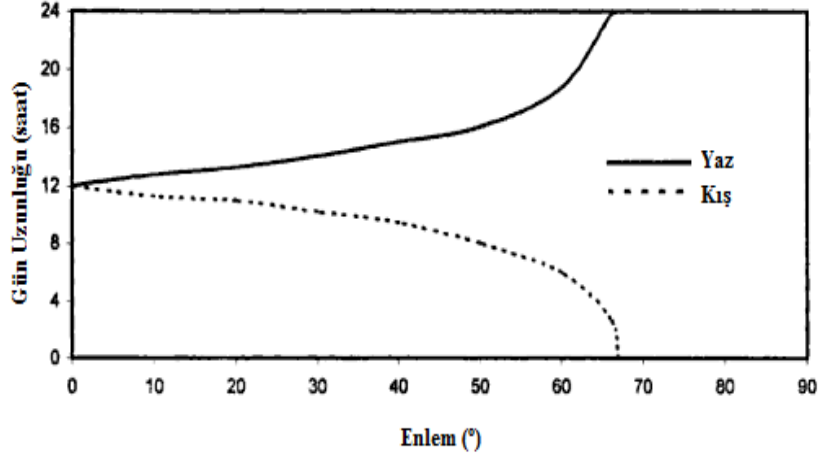
Yapılan gözlemler sonucunda, 1970'li yılların ortalarından itibaren stratosferik ozon konsantrasyonunun azaldığına dair kanıtlar mevcuttur. Örneğin, Antartika ve onun çevresindeki bölgede lokalize olmuş bir ozon deliğinin varlığı bilinmektedir (Roy vd 1994). Ozon delinmesi, yaz ve kış mevsimlerinde ve yüksek enlemlerde daha güçlüdür. Ozon delinmesi ve güneş zenit açısı kombinasyonu, kısa dalga boyuna sahip ışınların şiddetinde önemli değişikliklere neden olur. Ozon delinmesi dünya yüzeyine ulaşan UVB ışınlarının miktarını artırır. Şekil 2.3'de Antartik ozon deliğinin UVB dalga boyunun ışınma şiddeti üzerine etkisi verilmektedir.



Şekil 2.3. Antartik ozon deliğinin UVB dalga boyunun ışınma şiddeti üzerine etkisi (Roy vd 1994)

Bu faktörlerin yanında, enleme bağlı olarak değişen gün uzunluğu da yeryüzüne gelen ışınların toplam miktarının değişiminde önemli bir faktördür. Şekil 2.4'de kış ve

yaz mevsimleri için enleme bağı olarak gün uzunluğunun değişimi verilmiştir.



Şekil 2.4. Kış ve yaz mevsimleri için enleme bağı olarak gün uzunluğunun değişimi (More vd 2000)

Bulutlar ve diğer aerosolller UV ışınlarının (280-400 nm) toplam akısındaki geniş değişimlerden sorumludur. Çeşitli araştırmalar sonucunda, bulutların UV ışınlarının etkisini azalttığına yönelik bulgular mevcut olmasına rağmen, bulutların optik özellikleri ve dünyaya ulaşan ışınlar üzerine etkisi net olarak açıklanabilmiş değildir. Pratik uygulamalar için bulutların ışıma üzerine etkisinin UVA ve UVB ışınları için aynı olduğu kabul edilmektedir (Diaz vd 2000).

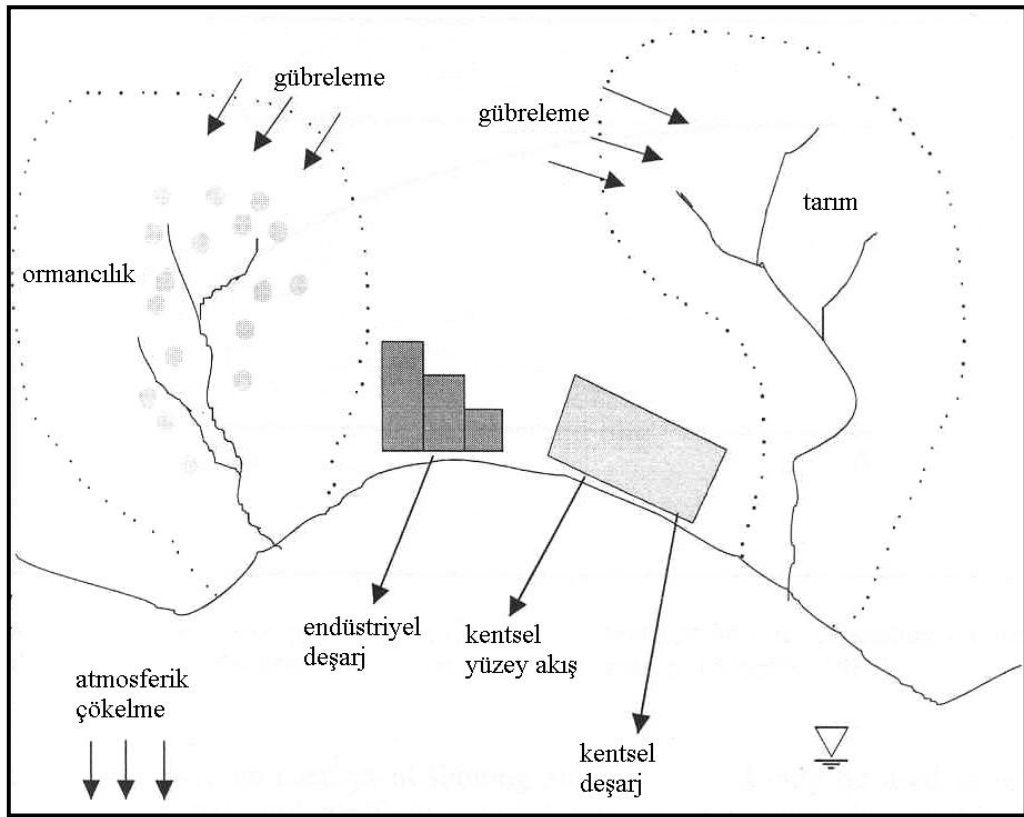
Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarından bir kısmı yeryüzü veya onu kaplayan herhangi bir tabaka (kar veya kum ile örtülü alanlar veya ormanlık alanlar vb.)'ya çarparak yansır. Yeryüzünün güneş ışığını bu şekilde yansıtması olayına albedo denir. Yansıyan ışığın yüzdesi; yüzey tipi, güneş ışınının dalga boyu ve geliş açısı ile değişim gösterir (More vd 2000). Örneğin beyaz bulutlar üzerlerine düşen ışığın büyük bir bölümünü yansıtırlar, albedoları yüksektir. Deniz yüzeyi ise, üzerine düşen ışığın büyük bölümünü emerek ışığın çok küçük bir bölümünü yansıtır. Deniz yüzeyinin albedosu düşüktür (Goode vd 2001).

Arazi çalışmalarının yetersizliğinden ötürü literatürde fazlaca yer almamasına rağmen, UV ışınmasının biyolojik olarak etkili seviyelerinin su kolonunda önemli derinliklere kadar ulaşabildiği bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, UVB ışınlarının su kolonunun en az 30 m derinliğine, UVA ışınlarının ise 60 m derinliğe kadar ulaşabildiği

gözlenmiştir. Birincil üretimin yoğun olarak gerçekleştiği göl ve kıyı alanlarında ise ışınların 20 m derinliğe kadar inemediği belirlenmiştir (More vd 2000). Geldiay ve Kocataş (1998)'a göre, $10^{-5} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ şiddetindeki bir ışın sahil sularında ancak 250 m derinliğe erişebilirken, temiz okyanus sularında bu derinlik 1000 m'i geçmektedir.

2.2. Deniz Kirlenmesi

Deniz kirliliği; insan tarafından, direkt veya dolaylı olarak denize boşaltılan maddelerin veya enerjinin deniz canlılarına, insan sağlığına zarar vermesi, ayrıca balıkçılık, rekreasyon gibi deniz aktivitelerini engellemesi şeklinde tanımlanabilir (Albaiges 1989, Falconer 1992). Şekil 2.5'te kıyısız bir bölgede deniz kirlenmesinin temel nedenleri gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kıyısız bir bölgede deniz kirliliğine sebep olan temel kirletici kaynaklar

Deniz ortamlarına verilen kirleticiler orijinlerine göre doğal ve antropojenik olarak sınıflandırılırlar. Doğal kirleticiler; deniz altı volkanik faaliyetleri, nehir deşarjları gibi doğal prosesler sonucu açığa çıkarak deniz ortamına giren kirleticiler olarak

tanımlanabilir. İnsan kaynaklı kirleticiler ise genel olarak üç farklı yolla deniz ortamına girer (Ridge 2002):

- Atmosfer; uçak ve uzay gemilerinin motorlarında yakıt yanması sonucu ortaya çıkan kalıntılar, nükleer deneylerden ortaya çıkan radyoaktif kalıntılar,
- Deniz; deniz tabanı kullanımı, deniz ulaştırması ve balıkçılık gibi deniz faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirletici türleri,
- Kara; deniz kirliliğine katkısı diğerlerine göre oldukça fazladır. Deniz deşarj sistemleri ile gerek direkt, gerekse nehirlerle deşarjla deniz ortamına ulaşan evsel ve endüstriyel atıksular ana kaynaktır.

2.2.1. Kıyusal sularda kirlenme

Kıyusal sularda kirlenme, fırtına ve benzeri doğal yıkımlar ile deniz kazaları gibi istisnai durumlar dışında neredeyse tamamen karasal kaynaklı kirleticiler tarafından meydana gelmektedir. Alansal büyüklüğüne bağlı olarak kirletici kaynaklar noktasal kaynaklar ve yayılı kaynaklar olmak üzere iki kategoride incelenebilir (Ridge 2002).

- *Noktasal kaynaklar:* Bu tür kaynaklar kirleticileri ayrı ayrı ve kolayca belirlenebilir bir yerden serbest bırakır. Noktasal kaynaklar ölçülebilir ve alıcı ortamdaki etkileri bir şekilde değerlendirilebilir. Çoğu durumda noktasal kaynaklar sürekli ancak hacim akımları zaman içinde değişkenlik gösterebilir. Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden yapılan deşarjlar bu grubun en önemli örneklerindedir. Her şekilde bu tür deşarjlar sonucu bakteri, organik madde, nütrientler, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve toksik bileşenler ortaya çıkar.
- *Yayılı kaynaklar:* Yayılı kaynakların ayırt edici özelliği, deşarjın bariz ve tek bir kaynağa veya sınırları belirlenebilen bir alana bağlanamıyor olmasıdır. Yayılı kaynaklar genel anlamda, atmosferik çökelmeye ve yağışa bağlı olarak sürekli olmamaları ile karakterize edilebilmektedirler. Değişen yağış hızları da yayılı kaynakların karakteristikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yayılı kaynaklar, tarım arazilerinden gübre ve pestisitleri, toprak erozyonu sonucu

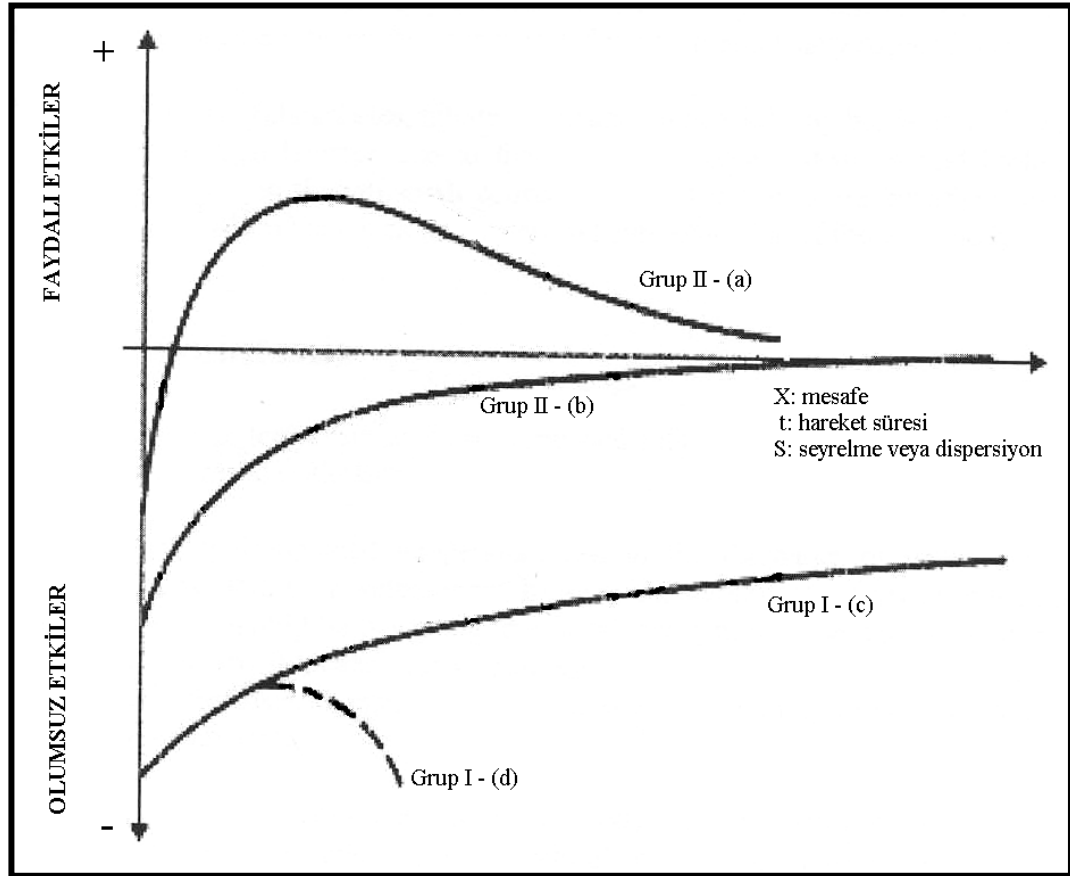
taşınan kirleticileri ve kentsel bölgelerden yüzey akışı ile taşınan kirleticileri alıcı ortamlara ulaştırmaktadırlar.

2.2.2. Kirleticilerin sınıflandırılması

Deniz ortamına deşarj olan kirleticiler iki ana grupta sınıflandırılırlar (WHO 1982), bunlar;

- Grup I; toksik, kararlı, birikimi söz konusu olan ve kaynaktan uzaklaştırılması gereken bileşiklerdir.
- Grup II; toksik olmayan ve etkisi daha sınırlı alanları kapsayan bileşiklerdir.

Şekil 2.6, Grup I ve Grup II bileşiklerin sebep oldukları kirlenmeleri şematize etmektedir (WHO 1982)



Şekil 2.6. WHO'nun sınıflandırmasına göre kirletici etkilerinin değişimi (WHO 1982)

Şekilde (c) eğrisi Grup I kirletici bileşenleri temsil etmektedir ve deşarj noktası yakınlarında maksimum negatif etkiyi göstermektedir. (d) eğrisi ise yine aynı grup kirleticileri temsil etmekte ancak değişimdeki farklılık söz konusu kirleticilerin birikimi halini (sedimentasyon veya biyolojik birikim ile) temsil etmektedir. (a) ve (b) eğrileri ise Grup II kirleticileri temsil etmektedir. (b) eğrisi deşarj noktası yakınlarındaki genel durumu şematize etmektedir. Deşarj noktası yakınlarında negatif etki maksimumdur ancak zamana bağlı olarak bu etki çeşitli prosesler sonucu (dispersiyon ve seyrelme) azalmaktadır. (a) eğrisi ise tipik olarak besi maddesi (nütrient) ve organik madde gibi bileşenleri temsil etmektedir. Bu tür kirleticilerin deşarj noktası civarındaki negatif etkileri yanında doğal olarak besi maddesi fakiri olan (oligotrofik su kütleleri) bölgelerde olumlu etkileri de olabilmektedir. Bu kirletici sınıflandırması dışında genel olarak kirleticiler 4 ana başlıkta incelenebilirler.

i. Kimyasal kirleticiler

Kimyasal kirleticiler, genel olarak organik ve inorganik olmak üzere iki kısımda incelenmektedirler. İnorganik kimyasal kirleticiler, endüstriyel atıkların veya çeşitli biyositlerin içerdiği metal ve ağır metaller (çinko, bakır, nikel, titanyum, kurşun, krom), bazı inorganik fosfor türevleri vb. şeklinde sıralanabilir. İnorganik kirleticilerin en önemli etkileri suyun pH'sını değiştirmeleri ve yüksek konsantrasyonlarda toksik etkide bulunmaları olarak özetlenebilir. İnert ve çözünmeyen bileşikler bentik tabakada birikerek buradaki canlı yaşamını inhibe edebilirler. Bu gruba ait önemli kirleticiler aşığıda özetlenmektedir (Ridge 2002):

- Organik kimyasal kirleticiler, organik pestisitler, petrol türevleri, hidrokarbonlar, besi maddeleri (nütrientler) ve organik silikon bileşikleri bu gruba girer.
- Organik fosfor, birçok biyositin bileşiminde bulunmaktadır ve pestisit üretimi sırasında da açığa çıkmaktadır. Ayrıca pestisit uygulaması sonrası yüzeysel yıkanma ile de su ortamlarına girebilmektedirler. Fosfor, küçük konsantrasyonlarda bile ötrofikasyona sebep olabilmekte, bu da su yaşamını olumsuz etkilemektedir.

- Pestisitler, biyolojik olarak parçalanmaları oldukça zor bileşikler olduklarından birikime uğrarlar ve oldukça önemli problemlere sebep olurlar.
- Petrol türevleri, mineral yağlar ve hidrokarbonlar su yüzeyinde oluşturdukları film tabakayla gaz transferine engel olurlar.
- Nütrientler ve biyolojik olarak parçalanabilen organik bileşikler, genel olarak suyun çözülmüş oksijen dengesini etkileyen bileşiklerdir. Buna rağmen oligotrofik su kütlelerine düşük konsantrasyonlarda nütrient girdileri yararlı olabilmektedir. Ancak aşırı konsantrasyonlardaki nütrient girdileri ötrofikasyon sonucu su kütlelerinin çözülmüş oksijeninin tamamen tükenmesine sebep olabilmektedir.

ii. Fiziksel kirleticiler

Fiziksel kirleticiler, renk, sıcaklık, askıda katılar, bulanıklık ve radyoaktivite olarak sıralanabilir.

Sıcak su deşarjlarına bağlı olarak ortam sıcaklığının yükselmesi sudaki kimyasal ve biyolojik prosesler üzerinde önemli etkilere ve değişikliklere sebep olur, ekosistem dengesini bozar (Ridge 2002). Sıcaklık artışları metabolizma hızını artırarak dolaylı olarak Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) artışına ve lokal hipertrofiye sebep olur. Aynı zamanda oksijenin çözümlüğü de sıcaklık artışına bağlı olarak azalır.

Askıda katıların su içerisindeki miktarının artması suyun özümleme kapasitesini azaltabilir. Ayrıca fotosentezi inhibe etmesi de olası etkilerdendir.

iii. Biyolojik ve mikrobiyolojik kirleticiler

Bu tür kirleticiler iki ayrı grupta incelenebilir. Birinci grup kirleticiler evsel ve endüstriyel deşarjlar sonucu su ortamına giren bakteri, virüs, protozoa gibi mikrobiyolojik kirleticilerdir. Bu gruba tarım arazilerinden gelen yüzey sularının taşıdığı mikrobiyolojik canlılar da dahil edilebilir (Ridge 2002). Özellikle evsel ve kentsel atıksularda oldukça büyük konsantrasyonlarda bulunan bakteri ve virüs gibi

mikrobiyolojik ajanlar çeşitli hastalıklara sebep olabilmektedir. Fekal kirlenmeyi takip için bu grup içerisinde bulunan ve patojen özellik gösteren bakteri ve virüslerin araştırılması gerekmektedir. Ancak bu yaklaşım teknik olarak güç ve kompleks olduğundan daha farklı yöntemler geliştirilmiştir. Fekal kirliliğin göstergesi olarak belirlenen bazı özel türler “indikatör organizma” olarak adlandırılmaktadır. Bakteriolojik su kalitesi, söz konusu indikatör organizmaların varlığına dayalı olarak incelenmektedir.

İkinci grup biyolojik kirleticiler ise su ortamına giren çeşitli kirleticilerin (besi maddesi vb) sebep olduğu aşırı biyolojik gelişim (alg, fitoplankton, makrofit vb) olarak tanımlanabilir.

2.3. Atıksu Karakteristikleri ve Deşarj Standartları

Deniz deşarj sistemleri vasıtasıyla deniz ortamına deşarj edilerek bertarafı sağlanan atıksular çoğunlukla evsel nitelikli olan atıksulardır. Bu tür atıksular, organik madde ve askıda katı madde (AKM) açısından zengin, azot ve fosfor gibi bitki besin maddeleri içeren ve patojen mikroorganizma indikatörü olan koliform bakterilerini çok yüksek miktarlarda bulunduran atıksulardır. Deniz deşarjı ile deniz ortamına verilen evsel nitelikli atıksular içinde koliform bakterileri dışında kalan kirleticiler göreceli olarak az miktarlarda olup deniz ortamında uğradıkları seyrelmeler sonucu çoğunlukla deniz suyunda müsaade edilebilir limitler içinde kalmaktadırlar. Ancak koliform bakteri sayıları seyrelmeler sonrasında da, deniz kıyısı gibi belirli hedef noktalarda izin verilen standart değerlerin üstünde çıkabilmektedirler. Çizelge 2.2’de farklı karakterlere sahip evsel atıksularda bulunan kirleticiler ve konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 2.2’de de görüldüğü gibi ham atıksularda bulunan koliform bakteri sayıları diğer kirleticilere göre oldukça yüksek miktarlardadır. Bu sebepten ötürü deniz deşarj sistemlerinin tasarımında kullanılan temel parametrelerden birisi koliform bakteri sayısıdır.

Çizelge 2.2. Evsel atıksuların genel karakteristikleri (Metcalf & Eddy 1991)

Parametreler	Ham Atıksudaki Tipik Değerler (mg/l)		
	Zayıf	Orta	Güçlü
BOİ ₅ (mg O ₂ /l)	110	220	400
AKM	100	220	350
Çökebilir katılar	5	10	20
Toplam yağ ve gres	50	100	150
Toplam koliform	10 ⁶ – 10 ⁷ / 100 ml	10 ⁷ – 10 ⁸ / 100 ml	10 ⁷ – 10 ⁹ / 100 ml
Toplam fosfor	4	8	15
Toplam azot	20	40	85
Organik azot	8	15	35
Serbest amonyak	12	25	50
Nitrit	0	0	0
Nitrat	0	0	0

Deniz suyunun faydalı kullanımını korumak için çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Söz konusu standartların amacı deniz ekosistemlerini korumak, yüzme ve rekreasyon amaçlı kullanımını sağlamaktır. Bakteriyolojik açıdan bu standartlar genellikle indikatör organizmaların varlığını baz almaktadır. Toplam koliform (TC), fekal koliform (FC), fekal streptokok (FS) ve *Escherichia coli* (*E.coli*) mikrobiyolojik su kalitesinin tanımlanmasında kullanılan en önemli indikatör organizmalar olup, hem insani tüketim, hem de rekreasyonel amaçlı su kullanımlarında su kalite standartları içinde yer alan önemli göstergelerdir (US-EPA 1986, WHO 2003, SKKY 2008, Darakas vd 2009).

Fekal grubu bakteriler, insan ve sıcak kanlı hayvanların bağırsaklarında bulduklarından sucul ortamlarda rastlanmaları söz konusu sucul ortamda fekal kaynaklı bir kirliliğin göstergesi olarak kabul edilir. Bu gösterge, ortamda entero patojenlerin de bulunabileceğine bir işaret olarak kabul edilir (Yang vd 2000, Gabutti vd 2000, Campos 2008, Woodall 2009). İdeal bir indikatör organizmanın sahip olması gereken özellikler şunlardır;

- Sıcakkanlı hayvanların bağırsak florasının doğal bir üyesi olması gerekir,
- Patojen varlığında ortamda her zaman olmalı, kontamine olmamış numunelerde bulunmamalıdır,
- Patojen mikroorganizmalardan daha yüksek sayıda bulunmalıdır,

- Çevresel zararlara, su ve atıksu arıtma tesislerindeki dezenfeksiyona en az patojenler kadar dirençli olmalıdır,
- Çevrede çoğalmamalıdır,
- Kolay, hızlı ve ucuz yöntemlerle tayin edilmelidir,
- Patojen olmamalıdır.

Sonuç olarak her su kütlesinde bir miktar patojen bulunmaktadır. Atıklarla kirletilmiş sularda bulunan patojen organizmaların çok fazla sayıda olmaması sebebiyle, onları izole etmek ve tanımlamak zor olduğundan bir su kütlesinin mikrobiyal açıdan emniyetli olup olmadığının belirlenmesi için çok daha fazla sayıda bulunan ve daha kolay test edilen koliform organizmalar yaygın bir şekilde indikatör organizma olarak kullanılırlar. İlk defa 1914 yılında Amerika'daki "Halk Sağlığı Servisi", içme sularında fekal kontaminasyon indikatörü olarak koliform grubunu kullanmıştır. Daha sonra, su ve atıksu arıtma tesislerinin arıtma verimliliklerini belirlemek ve alıcı ortamdaki mikrobiyal kirlenmeyi incelemek amacıyla çeşitli mikroorganizmalar indikatör organizma olarak kullanılmaya başlanmıştır (Eltem 2001).

Toplam koliform bakterileri aerobik ve fakültatif anaerobik, gram negatif, spor oluşturmayan, 35 °C'de ve 48 saat içinde laktozu fermente ederek gaz oluşumuna neden olan çubuk şeklindeki bakterilerdir. Çizelge 2.3'de toplam koliform grup tanımlaması içine giren türlere yer verilmektedir. Toplam koliform bakterileri insan ve hayvan dışkısında çok yüksek sayılarda (2×10^9) bulunurlar. Bu grubun üyelerinin hepsi fekal orijinli değildirler (Bitton 1999). Grubun diğer üyeleri toprak ve bitki kökenli olabilmektedir (ANONİM III). Bu indikatörler içme suyu, kabuklu deniz canlılarının üretiminin yapıldığı alanlar ile rekreasyonel sularda indikatör olarak kullanılırlar.

Çizelge 2.3. Koliform grup tanımlamasını içeren türler (Dufour 1977)

Genera			
<i>Escherichia</i>	<i>E.coli</i>	Fekal Koliform	Toplam Koliform
<i>Klebsiella</i>			
<i>Enterobacter</i>			
<i>Citrobacter</i>			

Fekal koliform bakteriler ya da termotolerant koliform bakteriler 44,5 °C'de laktozu fermante eden tüm koliform bakterileri içerir. Fekal koliform grubu *E.coli* ve *Klebsiella pneumoniae* gibi bakterileri kapsar. Fekal koliformların varlığı sıcakkanlı hayvanlardan kaynaklı fekal materyalin varlığını tanımlar. Fekal koliformlar bakteriyel patojenlere benzer bir yaşam sergiler, fakat bunların virüs veya protozoa indikatörü olarak kullanılması sınırlı kalmaktadır. Fekal koliform bakterileri, dezenfeksiyona karşı virüs ve protozoa kistlerine göre daha az dirençlidirler. Bu yüzden koliform standartları, sucul ortamın virüs ve protozoa kistleri ile kirlenmesi konusunda çok güvenilir değildirler (Bitton 1999). *E.coli*, fekal kontaminasyonun bir göstergesi olması yanında genetik yapısı en iyi bilinen canlı olma özelliğine sahiptir. Suşlarının birçoğu zararsız olup bu bakterilerin bazı patojenik tipleri (*E.coli O157:H7*), insan ve hayvanlarda sonucu ölüme kadar gidebilen diyare, yara enfeksiyonları, menenjit, septisemi, arteriosklerosis, hemolitik üremik sendrom ve çeşitli immünolojik hastalıklar gibi hastalıklara neden olabilmektedir (ANONİM III).

Fekal streptokok grubu, enterekok bakterileri ile *S. bovis*, *S. equinus* ve *S. avium* bakterilerini içerir. Bu bakteriler insanlar ve sıcakkanlı hayvanların bağırsak sisteminde var olduklarından, sudaki fekal kirlenmeyi belirlemek amacıyla fekal streptokok grubu kullanılır. Bu grubun üyeleri dirençlidir ve yeniden üremezler. Fekal streptokok grubunun alt grubu olan enterokoklar (*S. faecium*, *S. durans* ve *S. faecalis*) deniz suyu ve biyokatılardaki virüslerin varlığını tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Yüzey sularının kirlenme kaynağını belirlemede Fekal koliform/Fekal streptokok oranı kullanılabilir. Fekal koliform/Fekal streptokok oranı ≥ 4 ise kontaminasyon insan kaynaklı, Fekal koliform/Fekal streptokok oranı $< 0,7$ ise hayvan kaynaklı bir kirlenme söz konusudur. Bu oran 24 saat içinde gerçekleşen fekal kirlenme için uygun olup klorlanmış atıksular için güvenilir değildir ve ayrıca bazı araştırmacılar tarafından bu oranın kullanılabilirliği sorgulanmaktadır (Bitton 1999).

Atıksularda bulunan patojen organizmalar, hastalıkla enfekte olmuş veya özel bir hastalığın taşıyıcıları olan insanlar tarafından dışarıya atılmaktadır. Bunun yanında evcil ve vahşi hayvanlar da birçok patojeni bünyelerinde barındırmaktadırlar. Evsel atıksularda bulunan patojen organizmaların başlıcaları; bakteriler, virüsler, protozoa ve

helminthlerdir. Çizelge 2.4’de arıtılmamış evsel atık suda tipik olarak bulunan mikroorganizma tipleri ve yaklaşık sayıları verilmektedir. Çeşitli kirlilik kaynakları (arıtılmamış atıksu v.b.) ile bu mikroorganizmaların insanlara bulaşması durumunda, hastalık oluşturabilmesi için gereken minimal enfektif doz, patojen veya parazitin tipine göre değişmektedir. Çizelge 2.5’de bazı patojen ve parazitlerin minimal enfektif dozları verilmektedir (Eltem 2001).

Çizelge 2.4. Arıtılmamış evsel atık suda tipik olarak bulunan mikroorganizma tipleri ve yaklaşık sayıları (Eltem 2001)

Organizma	Konsantrasyon (Sayı/ml)
Toplam koliform	10^5-10^6
Fekal koliform	10^4-10^5
Fekal streptokok	10^3-10^4
Enterekoklar	10^2-10^3
<i>Salmonella</i>	10^0-10^2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10^1-10^2
<i>Clostridium perfringens</i>	10^1-10^3
Protozoa kistleri	10^1-10^3
<i>Giardia</i> kistleri	10^1-10^3
<i>Cryptosporidium</i> kistleri	10^1-10^1
Helminth yumurtaları	10^2-10^1
Enterik virüsler	10^1-10^2

Çizelge 2.5. Bazı patojen ve parazitlerin minimal enfektif dozları (Eltem 2001, Pommeuy 2006)

Organizma	Minimal enfektif doz	Organizma	Minimal enfektif doz
<i>Salmonella spp.</i>	10^4-10^7 hücre	<i>Giardia lamblia</i>	10^1-10^2 kist
<i>Shigella spp.</i>	10^1-10^2 hücre	<i>Cryptosporidium</i>	10^1 kist
<i>E. coli</i>	10^6-10^8 hücre	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10^6-10^9 hücre
<i>Vibrio cholerae</i>	10^3 hücre	Hepatit-A virüsü	1-10 PFU

Patojen mikroorganizmalar ve sebep oldukları hastalıklarla ilgili olarak örnek verilmek istenirse, Amerika'da 1997 ve 1998 yıllarında çiğ istiridye tüketimi nedeniyle *Vibrio parahaemolyticus* kaynaklı 700'den fazla hastalık vakası görülmüştür. İstiridye tüketimine bağlı olarak insan kaynaklı enterik virüslerin, salgın hastalıkların % 30'dan fazlasını oluşturduğu bilinmektedir (Pommepuy vd 2006). Görüldüğü üzere alıcı ortama çeşitli kaynaklar ile giren kirletici unsurlar besin zincirinde yer alan canlıların bünyelerinde birikebilmektedirler. Bu deniz canlılarının insanlar tarafından tüketilmesi sağlık açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle alıcı ortama giren veya deşarj edilen kirletici unsurların (atıksu vb.) deşarjının standartlara uygun bir şekilde yapılması ve izlenmesi önem taşımaktadır.

Ülkemizde projelendirilen deniz deşarj sistemleri, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY 2008) ile belirlenen limitlere uymak zorundadır. Bu yönetmeliğin 33. maddesine göre deniz deşarj sistemleri ancak seyrelme kapasitesi detaylı mühendislik tasarımı ile ortaya konulabiliyorsa işletmeye alınabilir. 34. maddeye göre derin deniz deşarj sistemleri projelendirilirken Çizelge 2.6'da verilen standartlara uyulmak zorundadır. Aynı yönetmeliğin 35. maddesi ise deniz deşarjları proje ve yapım prosedürüne ve alıcı ortam su kalitesi kriterlerine dikkat çeker. Bu maddeye göre;

- Minimum deşarj derinliği 20 m olmak zorundadır. Bu derinliğe ulaşamadığı takdirde deşarj borusu uzunluğu 200 m³/gün'ü aşan debiler için 1300 m'den daha kısa olmamalıdır.
- Birinci seyrelme değeri 40'dan küçük olmamalıdır. Arzu edilen değer 100 ve üzeri olmalıdır.
- Deniz ortamının seyrelme kapasitesine bakılmaksızın atıksu sıcaklığı 35°C'nin üzerine çıkamaz. Deşarj edilen atıksu birinci seyrelme sonrası alıcı ortam su sıcaklığını yaz aylarında (Haziran ve Eylül aylarını kapsamak üzere) 1°C, diğer aylarda ise 2°C'den fazla değiştirmemelidir. Ancak, deniz suyu sıcaklığının 28°C'nin üzerinde olduğu durumlarda, soğutma amaçlı olarak kullanılan deniz suyunun deşarj sıcaklığına herhangi bir sınırlama getirilmeksizin alıcı ortam sıcaklığını 3°C'den fazla artırmayacak şekilde deşarjına izin verilebilir.

- Yaz aylarında T₉₀ değeri Ege ve Akdeniz için en az 1 saat, Karadeniz için 2 saat, Marmara Denizinde ise 1,5 saat alınmalıdır. Kış aylarında T₉₀ değeri daha yüksek olacağı için bu değer ortalama 3-5 saat arasında alınmalıdır.
- Derin deniz deşarjıyla sağlanacak olan toplam seyrelme sonucunda insan teması olan koruma bölgesinde, zamanın % 90'ında, EMS olarak toplam koliform seviyesi 1000 TC/100 ml ve fekal koliform seviyesi 200 FC/100 ml'den az olmalıdır (SKKY 2008).

Çizelge 2.6. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre derin deniz deşarj sistemleri ile deşarj edilebilecek atıksu limitleri (SKKY 2008)

Parametre	Sınır	Düşünceler
pH	6-9	-
Sıcaklık	35 °C	-
AKM (mg/L)	350	-
Yağ ve gres (mg/L)	15	-
Yüzer maddeler	-	-
BOİ ₅ (mg/L)	250	-
Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ (mg/L)	400	-
Toplam azot (mg/L)	40	-
Toplam fosfor (mg/L)	10	-
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri (MBAS) (mg/L)	10	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standardları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.
Diğer parametreler		31/12/2005 tarihli ve 26040 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte bu parametreler için verilen sınır değerlere uymalıdır.

2.4. Atıksuların Deniz Ortamında Seyrelmesi

Deniz ortamında fiziksel karışımdan kaynaklanan seyrelmeler yakın alan seyrelmesi (birinci seyrelme) ve dispersiyona bağlı seyrelme (ikinci seyrelme) olarak iki kısımda incelenmektedir. Birinci seyrelme olarak da adlandırılan yakın alan seyrelmesi difüzör deliklerinden çıkan atıksu ile deniz suyunun fiziksel olarak karışması sonucu ortaya çıkan seyrelmeyi ifade etmektedir. Dispersiyona bağlı seyrelme (ikinci seyrelme) ise birinci seyrelme sona erdikten sonra yatayda lokal akıntılarının etkisinde hareketine

devam eden atıksuyun dispersiyon ve türbülans kaynaklı seyrelmesinden ibarettir. Yatayda ilerlemeye başlayan atıksuyun bu hareketi sırasında ortaya çıkan biyokimyasal süreçler vasıtasıyla atıksu kaynaklı bakterilerin canlılıklarını yitirmelerinden (bakteriyel inaktivasyon) ileri gelen seyrelme ise bakteriyel inaktivasyona bağlı seyrelme (üçüncü seyrelme) olarak tanımlanmaktadır.

2.4.1. Fiziksel seyrelme prosesleri

2.4.1.1. Yakın alan seyrelmesi (birinci seyrelme)

Deniz deşarj sistemleri aracılığıyla deniz ortamına verilen atıksular ilk olarak atıksuyu çevreleyen deniz suyu ile karışmaya başlamaktadır. Bu ilk karışımda atıksuyun difüzör deliklerinden çıkarken sahip olduğu enerji önemli bir parametredir. Difüzör deliğinden çıkan atıksuların davranışı genel olarak üç hidrolik rejimle karakterize edilmektedir (Wood vd 1993). Bunlar;

- Jet rejimi
- Jet-bulut rejimi
- Bulut rejimi

Atıksu, difüzör deliğinden çıkarken sahip olduğu hızından ötürü bir momentuma sahiptir. Atıksuyun momentumu sebebiyle oluşturduğu akım rejimi jet akımı veya jet rejimi olarak adlandırılır. Atıksuyun difüzör deliğinden çıkış hızı ne derece büyük olursa momentumu da o derece büyük olacağından jet rejimi o kadar etkin olacaktır. Atıksuyun momentum etkisiyle oluşturduğu jet rejimi atıksu-deniz suyu arasındaki yoğunluk farkının sürücü kuvvet olduğu ortamlarda jet-bulut rejimine veya yoğunluk jetine dönüşür. Atıksu-deniz suyu arasındaki yoğunluk farkı sıfır oluncaya kadar atıksu su kütlesi içerisinde yoğunluk jeti olarak yükselmeye devam eder ve yoğunlukların eşitlendiği bir eş-yoğunluk noktasından sonra atıksuyun düşey hareketi sona ererek yatayda bir bulut şeklinde hareket etmeye başlar. Atıksuyun yatayda bir bulut olarak hareket ettiği bölge konveksiyon-difüzyon bölgesi olarak adlandırılır. Başlangıç enerjisi tamamen ortadan kalkan atıksu, akıntı etkisi ile hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında türbülans ve difüzyon sebebiyle atıksu-deniz suyu birbiriyle karışmaya devam eder (Wood vd 1993). Atıksuyun düşey hareketi sonlanıncaya kadar deniz suyu ile

karişması sonucu meydana gelen seyrelme ilk seyrelme veya birinci seyrelme olarak tarif edilir (Öztürk 1996). Birinci seyrelme, atıksu-deniz suyu yoğunluğunun eşitlenerek yükselmenin sona erdiği “eşit yoğunluk yüksekliğine” kadar devam eder. Birincil seyrelme üç faktöre bağlı olarak geręekleřir:

- Difüzörden çıkan atıksuyun momentumuna bağlı olarak deniz suyuyla karişması
- Deniz suyuyla atıksuyun yoğunluk farklarına bağlı olarak atıksu tarlasının su kolonu içerisinde yükselmesi
- Akıntı etkilerinin sebep olduğu atıksu-deniz suyu girişimleri.

Deniz ortamı sıcaklık ve tuzluluk profili bakımından üniform bir yapıya sahip ise su kolonu içerisinde bir eşit-yoğunluk noktası olmayacağından, atıksu deniz yüzeyine kadar yükselecektir. Atıksuyun deşarj edildiği derinlik arttıa, atıksu ve deniz suyunun temas ettiği ara yüzey alanı da artacağından birinci seyrelme değeri daha sığ deşarjlara veya tutsaklanma halinin geręekleřtięi durumlara göre daha büyük olacaktır. Difüzör delik çapı küçüldükçe, atıksu jetinin çıkış hızı artacağından atıksuyun başlangıç enerjisi daha büyük olacak ve bu durumda daha büyük birinci seyrelme değerleri ortaya çıkacaktır.

Birinci seyrelmeyi tahmin edebilmek için çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları durgun, üniform ve tabakalaşma durumunun gözlenmediği su ortamları için birinci seyrelmeyi tahmin edebilmektedir. Cederwall (1968) tarafından geliştirilen ve oldukça yaygın olarak kullanılan model üniform ortamlarda birinci seyrelmeyi tahmin edebilmektedir.

Yoğunluk tabakalaşması durumunun mevcut olduğu su kütlelerinde birinci seyrelme değeri farklı modellerle tahmin edilebilmektedir. Bu modellerden en sık kullanılanı Roberts (1989a, 1989b, 1989c) tarafından geliştirilen *RSB* modeldir. *RSB* modeli, lineer yoğunluk tabakalaşması bulunan akıntılı veya durgun ortamlarda birinci seyrelmeyi ve tutsaklanma derinliğini tahmin edebilmektedir. Yukarıda bahsedilen modeller dışında, deniz deşarjı tasarımı için geliştirilmiş oldukça kompleks bilgisayar yazılımları da mevcuttur. US-EPA tarafından geliştirilen *CORMIX-GI* yazılımı (Jirka ve Doneker 1996), su altı tek delikli deşarj sistemleri (*CORMIX1*), su altı çok delikli (difüzör) deşarj sistemleri (*CORMIX2*) ve yüzey deşarjları (*CORMIX3*) için seyrelme ve karişım bölgesi modellemesi ve analizi yapabilmektedir. Yine US-EPA tarafından

geliştirilen *Visual Plumes* yazılımı da seyrelme ve karışım bölgesi modellenmesi ve analizi yapabilmektedir (Frick vd 2001).

2.4.1.2. Dispersiyona bağlı seyrelme (ikinci seyrelme)

Birinci seyrelmeden sonra yatayda ilerlemeye başlayan atıksu tarlası bu hareket sırasında türbülans, difüzyon ve dispersiyon sonucu alıcı ortamda yayılmaya başlar. Deniz ortamında lokal akıntı rejimine ve türbülanslı difüzyona bağlı olarak yatay transfer ve dispersiyon prosesleri ortaya çıkar. Bu prosesleri karakterize eden ve yatay seyrelmeyi tahmin eden çeşitli modeller mevcuttur (Salas 1998). Dispersiyona bağlı seyrelme veya ikinci seyrelme olarak adlandırılan bu prosesin modellenmesinde Brooks (1960) tarafından geliştirilen dispersiyon modeli en sık kullanılan modeldir. Model bu harekete bağlı karışım sırasında türbülans sonucu meydana gelen seyrelmeyi tahmin etmektedir.

2.4.1.3. Fiziksel seyrelme prosesleri literatür özeti

Deniz deşarj sistemi vasıtasıyla deşarj edilen atıksuların deniz ortamındaki davranışlarını belirlemek amacıyla çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiş olup, bu modellerden en yaygın olarak kullanılanı Roberts, Snyder ve Baumgardner tarafından geliştirilen RSB modelidir (Roberts vd 1989a, 1989b, 1989c). Söz konusu model başlangıçta yoğunluk tabakalaşması bulunan ortamlarda yakın bölge seyrelmesinin tahmini amacıyla geliştirilirken, araştırmacı tarafından daha sonraki senelerde geliştirilen model her türlü deniz ortamında yakın alan seyrelmesini başarılı bir şekilde tahmin edebilmektedir (Roberts 1999a, 1999b; Roberts ve Tian 2000, 2004; Tian vd 2004a, 2004b). Roberts vd (1989a, 1989b, 1989c) tarafından geliştirilen bu model sistemi US-EPA Visual Plumes modeline de altlık oluşturmuş olup, Visual Plumes modeli ile bilgisayar ortamında farklı alt modeller kullanımıyla atıksu deşarjlarının karışım ve dağılım modellenmesi yapılabilmektedir (Frick vd 2001, Frick 2004). Yakın ve uzak alan bölgelerinin modellenmesinde CORMIX (The Cornell Mixing Zone Expert System), modeli de sıkça kullanılan diğer bir modeldir (Doneker ve Jirka 1990, Akar ve Jirka 1991, Jirka vd 1996). Bu modellerin kullanımı ile birçok araştırma yapılmış, modeller işletme altında olan çeşitli deniz deşarj sistemleri üzerinde test

edilmiştir (Miller vd 1996, Malacic 2001, Liu vd 2007). Gupta vd (2006) tarafından yapılan çalışmada deşarj edilen atıksuyun uğradığı seyrelmeler iz boya yöntemi kullanılarak belirlenmiş, elde edilen sonuçlar model sonuçlarıyla kıyaslanarak model test edilmiştir.

Schreiner vd (2002) çalışmalarında CORMIX modelini kullanarak ABD'nin Maryland eyaletinde bulunan dört termik santrale ait soğutma sularının deşarjını modellemişlerdir. Çalışma sonucunda CORMIX modelinin bulut eksenini ve bulut yönünü doğru olarak tahmin ettiği belirtilmiş, ancak tahmin edilen tam karışım durumunun gerçektekinden çok daha önce ortaya çıktığı vurgulanmıştır.

Carvalho vd (2002) tarafından yapılan çalışmada, atıksuya iz madde eklenerek yapılan saha ölçümleri ile akıntı, yoğunluk tabakalaşması gibi etkiler altında seyrelme değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar, düşük akıntı hızlarında, deniz ortamında tam karışım durumu ve güçlü bir yoğunluk tabakalaşması hali için tekrarlanmış ve bu koşullar altındaki yakın alan seyrelmeleri değerlendirilmiştir. Ölçümler sonucunda bulut davranışının büyük miktarda yoğunluk tabakalaşmasından etkilenerek atıksuyun belli bir derinlikte tutsaklandığını ve seyrelmenin düşük değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Tabakalaşmanın olmadığı durumda bulutun deniz yüzeyine yükseldiği ve seyrelme değerinin arttığı vurgulanmaktadır. Buna göre, tam karışım halinde minimum seyrelme değeri 100 olarak elde edilirken yoğunluk tabakalaşması durumunda bu değer 35'e düşmüştür. Çalışmada ayrıca saha ölçüm sonuçları RSB, UM3 ve CORMIX modellerinin tahminleri ile karşılaştırılarak modellerin performansları değerlendirilmiştir. Buna göre, her üç modelin de birinci seyrelmeyi kabul edilebilir düzeyde hata ile tahmin edebildiği bildirilmektedir.

Roberts (1999a, 1999b) RSB modelini kullanarak yaptığı çalışmada Hawaii Sand Island deniz deşarj sistemlerini matematiksel olarak modellemiştir. Çalışma için oldukça yoğun bir oşinografik ölçümleme yapılmış, bu ölçümlerde su derinliği boyunca sıcaklık, tuzluluk, akıntı hızları gibi önemli parametreler mevsimsel olarak elde edilmiştir. Sıcaklık ve tuzluluk değerlerinden elde edilen yoğunluk profili irdelendiğinde atıksuların çoğunlukla batmış tarla biçiminde yüzey altında

tutsaklanacağı sonucuna varılmakla birlikte özellikle sonbahar ve kış mevsimlerinde yüzey tarla oluşumuna yaz ve ilkbahar mevsimlerine oranla daha sık rastlandığı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda minimum yakın alan seyrelmesi yaz mevsimi için 90 olarak tahmin edilirken maksimum yakın alan seyrelmesi ise sonbahar mevsimi için 5400 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 2.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.7. Roberts (1999a, 1999b)’a ait çalışma sonuçları

Parametre	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Batmış tarla				
Görülme sıklığı (%)	72	88	90	62
Ortalama atıksu yükselmesi (m)	43,2	28,0	26,8	36,0
Minimum seyrelme	230	120	90	90
Ortalama seyrelme	810	520	480	660
Maksimum seyrelme	3020	2660	2670	3750
Yüzey tarlası				
Görülme sıklığı (%)	28	12	10	38
Minimum seyrelme	610	640	600	600
Ortalama seyrelme	1280	1336	1480	1310
Maksimum seyrelme	4410	3220	4500	5400

Roberts ve Tian (2004) laboratuvar ortamında seyrelmelerin deneysel olarak ölçülebilmeleri amacıyla üç boyutlu LIF (Laser Induced Fluorescence, Lazerle Uyarılmış Işınım) olarak isimlendirilen ve akışkan ve durgun su ortamlarında üç boyutlu olarak konsantrasyon ölçümü yapabilen bir sistem (3DLIF) (Roberts ve Tian 2000) yardımıyla hali hazırda kullanılan bir deniz deşarj sisteminin laboratuvar ölçekli fiziksel modeli üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda yakın alan seyrelmesi 113 olarak elde edilirken birinci seyrelme bölgesi genişliği 15 m, atıksu tarla kalınlığı ise 4,6 m olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada literatürde bulunan deşarj modellerinden RSB (1989a, 1989b, 1989c), CORMIX (Jirka ve Akar, 1991) ve Visual Plumes alt modülü UM3 (Frick 2001) deneysel sonuçlara karşı test edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre RSB ve UM3 modelleri gözlemlenen seyrelmeye oldukça yakın sonuçlar tahmin ederken CORMIX yakın alan seyrelmesini gözlemlenen değer % 45 fazlası olarak tahmin etmiştir. Gözlemlenen değerlere karşılık model tahminleri Çizelge 2.8’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.8. Roberts ve Tian (2004) tarafından yapılan çalışmaya ait sonuçlar

Yakın alan parametreleri	Ölçüm Sonucu	Model tahminleri		
		RSB	UM3	CORMIX
Seyrelme	113	118	118	164
Genişlik	15,0	15,2	10,0	18,3
Seyrelmenin olduğu tarla yüksekliği	1,8	3,4	2,7	5,0
Tarla kalınlığı	4,6	4,5	4,7	4,4
Maksimum tarla yüksekliği	4,6	5,1	5,1	7,4

Tian vd (2004a) tarafından yapılan laboratuvar ölçekli çalışmada, yoğunluk tabakalaşması bulunmayan durağan bir su kütesine çok delikli bir difüzörden deşarj edilen atıksular için yakın bölge seyrelmesi incelenmiştir. Seyrelmeler 3DLIF sistemi yardımıyla ölçülmüş ve sonuçlara göre atıksuyun deniz yüzeyine ilk çıktığı noktadan itibaren ilave bir karışıma ve dolayısıyla seyrelmeye daha uğradığı belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada, Tian vd (2004b) yoğunluk tabakalaşması bulunmayan ancak akıntılı su ortamında yapılan denemelerde, oldukça kompleks bir yakın alan hidrodinamiğine rastlandığı ve akıntı sebebiyle deşarj edilen atıksuyun akıntısız ortamlara göre daha yüksek seyrelmelere uğradığı, ancak atıksu jetlerinin girişiminin daha erken bir safhada meydana geldiğini vurgulamıştır. Tian vd (2006) tarafından, yoğunluk tabakalaşmasının bulunduğu akıntılı su ortamı için yapılan çalışmada ise bulut davranışlarının oldukça kompleks olduğu vurgulanmış, bulut girişiminin her iki ekseninde de ortaya çıktığı bildirilmiştir.

Daviero ve Roberts (2006) çalışmalarında durağan ancak yoğunluk tabakalaşmasının mevcut olduğu bir su ortamında benzer bir çalışma yürütmüş ve yoğunluk tabakalaşması bulunan bir ortamda yakın alan seyrelmesinin bittiği noktanın difüzöre olan uzaklığının maksimum bulut yüksekliğine eşit olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu noktadan sonra deşarjdan kaynaklanan karışmanın ve türbülansın ortamdaki yoğunluk tabakalaşmasından ötürü ortadan kalktığını ve dolayısıyla bu noktanın ilerisinde yakın bölge etkileşimlerinden ötürü atıksuyun herhangi bir seyrelmeye uğramadığını bildirmişlerdir.

Hunt vd (2010) tarafından Boston Deniz Deşarj sistemi ile deşarj edilen atıksuların yakın ve uzak alanda uğradığı seyrelmelerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada

arıtma tesisi çıkışında atıksuya Rhodamine WT iz maddesi eklenmiş ve deniz ortamında 3 gün boyunca yapılan örneklemelemlerle bu iz maddesi aranmıştır. Saha çalışmasına paralel olarak deşarj sisteminin matematiksel modellemesine yönelik çalışmalar Visual Plumes modeli, NRFIELD (Roberts 1999a) alt modülü yardımıyla yapılmış ve model sonuçları saha verileriyle kıyaslanmıştır. Saha çalışmaları sonuçları ile model tahminleri Çizelge 2.9'da özetlenmektedir.

Çizelge 2.9. Hunt vd (2010) tarafından yapılan çalışmaya ait sonuçlar

Parametre	Ölçülen	Model Tahmini
Birinci seyrelme	102	104
Atıksu tarla genişliği (m)	20	18,8
Maksimum atıksu tarlası yüksekliği (m)	25	24,8
Minimum seyrelmenin olduğu tarla yüksekliği (m)	18	16,6

Çalışmalar sonucunda, yakın alan seyrelmesi için yapılan ölçümler ile model tahminleri birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Uzak alanda ilerlemeye devam eden atıksuyun 24 saat sonunda izlenebilir düzeyde iz maddesi içerdiği ve fiziksel uzak alan seyrelmesinin 200'lü değerlere ulaştığı, 48 saat sonra ise atıksu bulutunun parçalara bölündüğü ve seyrelme değerlerinin ortalama 1000'li rakamlara ulaştığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, iz maddesinin 52 saat sonra hala izlenebilir olduğunu ve seyrelmenin sadece yataydaki difüzyondan kaynaklandığını, düşey karışımın ihmal edilebilir düzeyde olduğu sonucuna varmışlardır (Hunt vd 2010).

Cheng ve Chou (2001) difüzör boyunca gerçekleşen debi dağılımını analitik, nümerik ve deneysel yollarla çalışmış ve cidar sürtünme katsayısı, delik momentumu gibi parametreler ile delik çapı için değerler saptamışlardır. Difüzörler, birincil seyrelmeyi arttırmak için deniz deşarj sistemlerinden atık suyun alıcı ortama verildiği çıkış kısımlarına yerleştirilmektedir. Seyrelme değerinin ve iletim uzunluğunun yüksek olması için difüzörler yatay doğrultuda yerleştirilmektedir. Difüzörler üzerindeki delikler yeterli mesafelerde yerleştirilerek alıcı ortama verilen atık su bulutlarının birbirleriyle birleşmeleri engellenmektedir (Odgaard 1976).

Nemlioğlu (2002) delik şeklinin hidrolik performansa ve servis ömrüne etkisini hidrolik modellerle teorik olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda eski tip delik şekilleri

yerine çanağız veya farklı tip keskin-kenar ağız delik tiplerinin tercih edilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda, deniz deşarj sistemlerinin hidrolik kapasitelerinin artırılmasıyla atıksu deşarj hacim ve kalitesinin artırılacağı gösterilmiştir.

2.4.2. Biyokimyasal seyrelme prosesleri

2.4.2.1. Bakteriyel inaktivasyona bağı seyrelme (üçüncü seyrelme)

Atıksuda bulunan yüksek konsantrasyondaki koliform bakterilerinin istenilen limitlere düşmesi, bakterilerin yeni ortamlarına uyum sağlayamayıp yok olmaları ile sağlanır. Doğal sularda bakteri ve diğer organizmaların hayatta kalmaları, dağılımları ve yok olmaları bazı çevresel faktörlere bağıdır. (US-EPA 1986, WHO 2003, SKKY 2008, Darakas vd 2009). Thomann ve Mueller'e (1987) göre bu etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Güneş ışığı
- Sıcaklık
- Tuzluluk
- Besi maddesi yetersizliği
- Toksik maddeler
- Diğer canlılar tarafından parçalanma
- Çökelme
- Organizmaların absorbe olduğu partiküllerin resüspansiyonu
- Su içinde organizmaların çoğalmaya devam etmeleri

Bunlara ek olarak organizma konsantrasyonu seyrelme ve dispersiyonla da azalır. Yukarıda listelenen faktörlerden özellikle ilk beş faktör organizmaların inaktivasyonu üzerinde daha etkin rol oynamaktadır. Çökelme veya resüspansiyon, organizma konsantrasyonlarının değişmesine yol açsa da ortamdan tamamen uzaklaşmaları ile sonuçlanmaz. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, bakteriyel inaktivasyonda en önemli çevresel faktörün güneş ışığı olduğu ortaya konulmuştur (Wood vd 1993).

Bakteriyel inaktivasyonun matematiksel ifadesi için çeşitli laboratuvar çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalar sonucu bakteri popülasyonu için değişik azalma ve inaktivasyon kinetikleri gözlenmiştir (Mancini 1978). Bu kinetikler aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir:

- Birinci dereceden kinetik ile inaktivasyon
- Başlangıçtaki artışı takiben birinci derece kinetikle inaktivasyon
- İlk iki maddedeki kinetiği takiben azalan inaktivasyon hızı

Bu çalışmalar sonucunda bakteriyel inaktivasyonun genel olarak birinci dereceden kinetiğe uyduğu kabul edilmiş (Mancini 1978) ve Eşitlik 2.3'te sunulan matematiksel ifade ile tanımlanmıştır:

$$\frac{dN}{dt} = -K_d N \quad (2.3)$$

t zamanındaki bakteri konsantrasyonunun N_t olduğu kabul edilirse yukarıdaki ifade,

$$N_t = N_0 e^{-K_d t} \quad (2.4)$$

ifadesine dönüşür. Burada K_d bakteriyel inaktivasyon hız katsayısını, N_0 ise başlangıç bakteri konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Bakteriyel inaktivasyon tarif edilirken genellikle inaktivasyon hız katsayısı K_d yerine T_{90} olarak bilinen ve bakterilerin %90'ının inaktif hale gelmesi için gerekli süre olarak tanımlanan bir parametre kullanılır. K_d ile T_{90} arasındaki ilişki Eşitlik 2.5 ile verilmektedir.

$$K_d = \frac{2,3}{T_{90}} \quad (2.5)$$

2.4.2.2. Bakteriyel inaktivasyon prosesi literatür özeti

İnaktivasyon hızı organizma türü ve çevresel şartlara bağlı olarak önemli ölçülerde değişiklik göstermektedir. Virüsler çoğunlukla bakterilere göre daha dayanıklı olup inaktivasyon hızları bakterilere göre oldukça düşüktür. Çizelge 2.10'da bazı arazi ve laboratuvar deneyleri sonucu hesaplanmış inaktivasyon hız katsayıları verilmektedir.

Çizelge 2.10. Fekal grubu bakteriler için inaktivasyon hızları

Su Ortamı	Sıcaklık (°C)	k_d (gün ⁻¹)	Kaynak
Tatlı su	20	0,8	Mancini (1978)
Tatlı su	10-12	0,29	McFeters vd (1974)
Göl	10-35	0,61	Auer ve Niehaust (1993)
	20	0,73	
Akarsu	4	0,54	Flint (1987)
	15	0,77	
	25	1,27	
	37	2,34	
Akarsu	18,3	0,18	Klock (1971)
Akarsu	18,5	1,1	Dutka (1980)
Akarsu	5	0,15	McFeters ve Stuart (1972)
	10	0,23	
	15	0,5	
	20	0,99	
	25	1,39	
Steril haliç suyu	22	0,46	McCambidge ve McMeekin (1981)
Deniz suyu	20	1,4	Mancini (1978)
Deniz suyu	8,9	0,51	Vasconcelos ve Swarts (1976)
	10,7	1,73	
	13,0	2,24	
	14,5	2,52	
Deniz suyu	20	2,69	Savage ve Hanes (1971)

Literatürde birçok çalışma sıcaklık ile inaktivasyon hızı arasında önemli bir doğrusal korelasyon olduğunu göstermektedir (Flint 1987, Howell vd 1996). Scott (2000) çalışmasında kaba filtrelerden geçirilen mandıra atıksuları için 4 farklı sıcaklıkta karanlık ortamda fekal bakteri inaktivasyon hızlarını incelemiş ve 18°C'den 32°C'ye çıkan sıcaklıklar için inaktivasyon hızının önemli bir şekilde arttığını bildirmiştir. Graham ve Sieburth (1973) nütrient bulunmayan yapay denizsuyunda yaptıkları çalışmada yükselen sıcaklıkla *E.coli* sayısında önemli azalma olduğunu göstermişlerdir. Gordon (1972) tarafından fekal bakterilerin buz kaplı nehirlerdeki sağ kalma oranları

araştırılmış, çalışma sonuçlarına göre de en büyük sağ kalma oranlarının 0°C’de elde edildiğini ortaya koymuştur. Auer ve Niehaust (1993) 10-35°C’de karanlık ortam için fekal koliform inaktivasyon hızlarında önemli bir değişiklik olmadığını bildirmiştir. Sarıkaya ve Saatçi (1995) koliform bakterilerin karanlık ortamdaki inaktivasyonunu sıcaklık ile ilişkilendirmiştir (Çizelge 2.11).

Çizelge 2.11. Karanlık ortamda T₉₀ değerinin sıcaklıkla değişimi (Sarıkaya ve Saatçi 1995)

Tarih	Sıcaklık (°C)	k _d (sa ⁻¹)	T ₉₀ (sa)
17.10.1983	35	0,066	15,2
12.11.1983	40	0,035	28,5
27.11.1983	30	0,046	21,6
05.12.1983	25	0,032	31,6
11.12.1983	20	0,009	11,1
02.01.1984	35	0,040	25,2

Sıcaklığın inaktivasyon üzerine etkisi metabolizma hızının değişimine bağlanmaktadır. Lessard ve Sieburth (1983) ile Mezrioui vd (1995), düşük ortam sıcaklıklarının inaktivasyona etkisini, bakteri hücrelerinin metabolizma hızlarının azalmasından kaynaklandığını bildirmiştir. Biyokimyasal tepkime hızları ve dolayısıyla mikrobiyal üreme hızları artan sıcaklıkla arttığından yüksek metabolizma hızlarında artan besi maddesi ihtiyacının karşılanamaması inaktivasyon hızının artmasına sebep olmaktadır (Auer ve Niehaust 1993).

Bakteriyel inaktivasyon sürecini etkileyen en önemli faktörlerden birisi olan güneş ışınımı, enerjisine bağlı olarak gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar uzun bir dalga boyu aralığında yayınlanır. Yayınlanan bu dalga boylarının sıralı görünümü de güneş spektrumu olarak isimlendirilir. Bu spektrumda, güneş ışınımı dalga boylarına göre sıralanır ve aşağıda verilen temel gruplar ile ifade edilir.

- Gama ışınları
- X ışınları
- Ultraviyole ışınlar
- Görünür (visible) ışık
- Kıızıl ötesi (infrared) ışınlar
- Radyo dalgaları

Güneş tarafından yayınlanan bu enerjinin büyük bir bölümü atmosferin farklı tabakalarında soğularak yeryüzüne erişimi engellenir. Güneş ışınımının sadece belirli dalga boylarındaki kısmı atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşabilir. Bu dalga boyu açıklıkları atmosferik pencereler olarak adlandırılmaktadır.

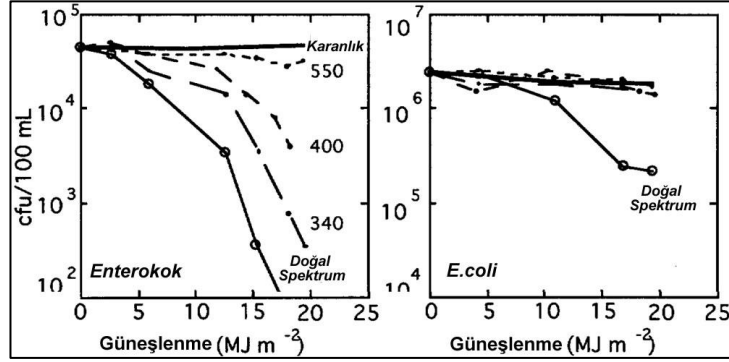
Atmosferik güneş spektrumunda enerjisi en yüksek ve dalgaboyu en küçük olan ışınlar ultraviyole ışınlarıdır. Ultraviyole ışınları (UV) dalgaboyu aralıklarına göre UVC (<280 nm), UVB (280-320 nm) ve UVA (320-400 nm) olmak üzere üç farklı gruba ayrılmaktadırlar. UV grupları arasından, UVC ışınları büyük ölçüde atmosferde tutularak yeryüzüne erişimi engellenmektedir. UV ışınları dışında görünür (400-700 nm) bölgedeki güneş ışığı ile kızıl ötesi (IR) olarak adlandırılan ışınların bir kısmı da yeryüzüne ulaşmaktadır.

Günümüze kadar yapılan birçok araştırma güneş ışığının bakteriyel inaktivasyon üzerinde en etkili çevresel faktör olduğunu ortaya koymuştur (Kapuscinski ve Mitchell 1983, Gameson 1986, Chamberlin ve Mitchell 1978). Mayo (1989) bakteriyel inaktivasyonu etkileyen birçok faktörün dolaylı veya direkt olarak güneş ışığıyla bağlantılı olduğuna işaret etmiştir. Gameson ve Saxon (1967) bakteriyel inaktivasyon hızının ortama gelen kısa dalga güneş ışığı ile orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Davies-Colley vd (1997) yeryüzüne ulaşan UVB, UVA ışınları ile görünür ışık spektrumunun mavi bölgesinin (400-500 nm) mikroorganizmalar üzerinde hasara sebep olduklarını bildirmiştir. Güneş ışığı alıcı ortam su derinliği boyunca sönüme uğradığından bakteriyel inaktivasyon hızının derinlikle önemli ölçüde değiştiği bildirilmiştir (Mayo 1989). Güneş ışığının su ortamındaki sönümü suyun berraklığı ile ilgili olduğundan suyun berraklığını etkileyen parametreler de dolaylı olarak bakteriyel inaktivasyonu etkilemektedir. Gameson ve Gould (1985), güneş ışınımının bakteriyel inaktivasyon hız katsayısı üzerine en baskın çevresel etken olduğunu ve karanlık ortamda inaktivasyon hızının yüz kat ve daha fazla oranlarda azaldığını bildirmiştir. Davies-Colley vd (1999) ve Sinton vd (1999) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, indikatör mikroorganizmaların inaktivasyonunda güneş spektrumunun UVB, UVA ve mavi-yeşil görünür ışık dalga boylarının etkili olduğu belirlenmiştir. Sinton vd (1999) tarafından yapılan çalışmalarda güneş spektrumunun en etkili kısmının UVB olduğu ve

bu dalga boyunun DNA üzerine direkt etki ederek bakterisidal etki gösterdiği gözlenmiştir. Kapuscinski ve Mitchell (1983) tarafından, güneş ışınımının bakterisidal etkisinin artan dalga boyu ile beraber kademeli olarak azaldığı bildirilmiştir. Sinton vd (1999) tarafından yapılan çalışmalarda deniz suyundaki inaktivasyon prosesini destekleyen mekanizmalar tam olarak açıklanamasa da 329 nm'nin üstündeki dalga boylarında fotokimyasal mekanizmaların önemli olduğu ve bu dalga boylarındaki ışınların genellikle fotosensitizer gibi davranarak hücre membranına etki ettiği belirlenmiştir. Gameson ve Gould (1985) tarafından, yukarıda bahsi geçen faktörlere ek olarak genetik materyal üzerine kümülatif fotokimyasal etki, bakteri hücresindeki hücresel moleküllere (kromofor vb.) doğrudan etki ve doğal fotooksidasyonun dolaylı etkilerinin inaktivasyonda etkili olduğu bildirilmiştir. Guillaud vd (1997) ışık şiddetinin denizin farklı derinliklerinde ölçülmesi ile derinlik ve T_{90} arasında askıda katı maddenin fonksiyonu olan bir bağıntı geliştirmiştir. Ancak bu çalışmada, ışığın 400-700 nm dalga boyu arasındaki ışık şiddetleri kullanılmış ve farklı dalga boyları için denemeler yapılmamıştır. Davies-Colley vd (1997) yaptıkları çalışmada, özellikle UVB, UVA ve görünür ışığın mavi-yeşil (400-550 nm) bölgesinde kalan dalga boylarındaki güneş ışınımının bakteriyel inaktivasyonda etkili olduğunu, 550 nm'nin üzerine çıktıkça güneş ışınımının bakterisit özelliğini yitirdiğini ortaya koymuşlardır. Aynı şekilde Gameson ve Gould (1975)'a ait çalışmada da 500 nm üzerindeki dalga boyunda olan güneş ışınımının bakteriyel inaktivasyonda ihmal edilebilecek kadar az etkili olduğu vurgulanmaktadır.

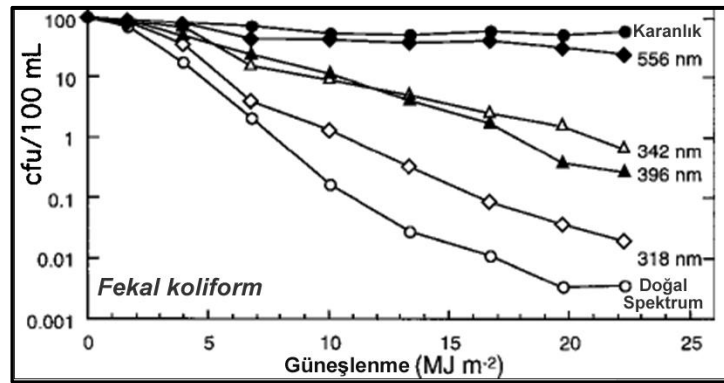
280 nm dalga boyunun altındaki radyasyon direkt dezenfektan etkisi yaratmaktadır. Bu dalga boyundaki güneş ışınımı atmosfer tarafından soğularak yeryüzüne ulaşımı engellenmektedir. Ticari olarak germisidal lambalar olarak bilinen ve UVC bölgesinde ışınımına sahip olan ışık kaynakları UV dezenfeksiyonu amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. 280-320 nm arasında UVB olarak bilinen güneş ışınımı belirli ölçeklerde yeryüzüne ulaşmakta ve yüksek enerjilerinden ötürü özellikle bakteri ve virüs hücrelerin DNA'larının yapılarını bozarak ölmelerine sebep olmaktadır. Daha yüksek dalga boylarındaki UV radyasyonu (UVA) ve görünür bölgenin mavi-yeşil (400-550 nm) kısmında kalan radyasyon ise hücre içi ve hücre dışı fotosensitizerleri aktive ederek oksijen radikallerinin oluşumuna sebep olur. Oksijen radikalleri de yüksek

enerji seviyeleri sebebiyle hücre parçalanmasına sebep olur (Davies-Colley vd 1997). Şekil 2.7’de farklı dalga boylarındaki güneş radyasyonları altında enterokok ve *E. coli* inaktivasyon eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.7. Farklı dalga boyları ve tam güneş spektrumu altında enterokok ve *E. coli* inaktivasyon eğrileri (Davies-Colley vd 1997)

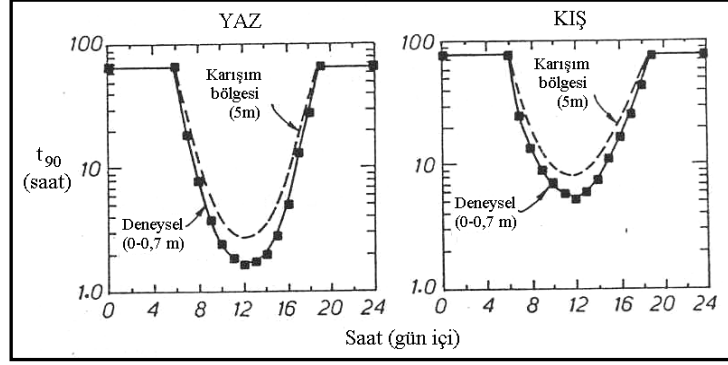
Sinton vd (1994, 1999)’nin yaptığı benzer çalışmalarda da yine bakteriyel inaktivasyonun önemli ölçüde UVB bölgesindeki güneş radyasyonundan kaynaklandığı vurgulanmaktadır. Çalışmalarda fekal koliform grubu ile bu grubun alt grubu olan enterokokların güneş radyasyonunun farklı dalga boylarındaki inaktivasyonları incelenmiştir. Şekil 2.8’de fekal koliform bakterilerinin inaktivasyon eğrileri görülmektedir (Sinton vd 1999).



Şekil 2.8. Fekal koliform bakterilerinin farklı dalga boylarındaki inaktivasyon eğrileri (Sinton vd, 1999)

Bakteriyel inaktivasyonu etkileyen en önemli çevresel faktörün güneş ışığı olduğu Wood vd (1993) tarafından da vurgulanmaktadır. Bell vd (1992) çalışmalarında T₉₀ parametresinin mevsimlere ve günün saatlerine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini

göstermişlerdir. Şekil 2.9'da bu değişim görülmektedir.



Şekil 2.9. T_{90} parametresinin günün saatleri ve mevsimlere göre değişimi (Bell vd 1992)

Kızıldeniz için T_{90} değerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen bir çalışmada karanlık ve ışıklı ortam koşullarında güneş ışınım şiddetinin ve sıcaklığın toplam koliform bakterilerinin inaktivasyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Deney koşulları altında sıcaklıklar 20-40 °C arasında değişmekte olup atıksu-deniz suyu seyrelme oranları 1/50-1/200 arasında değişmektedir. Çalışma sonucunda koliform bakterilerinin % 90'ının giderilmesi için gereken güneş ışınım şiddetinin, sıcaklık 25-30 °C arasında değişirken 17-40 cal/cm² olduğu gözlenmiştir. T_{90} değerinin ışıklı ortamdaki medyan değeri 32 dk olarak hesaplanmış ve karanlıktaki T_{90} değerinin ışıklı ortamdakinden yaklaşık 70-80 kat daha uzun olduğu belirlenmiştir (Sarıkaya ve Saatçi 1995).

Güneş ışığının bakterisit etkisini açıklamak için farklı hipotezler ortaya atılmıştır. Chamberlin ve Mitchell (1978) güneş ışığının bakteri hücrelerine hasar verdiğini, bunun da bakterileri ortamdaki diğer bakterisit etkenlere daha duyarlı hale getirdiğini ortaya atmıştır. Curtis vd (1992), görünür ışık spektrumundaki dalgaboylarının hücre zarının yapısını bozduğunu bildirmiştir. UVB etkisinin en önemli sonucu, 280 nm'nin altındaki diğer dalgaboylarında olduğu gibi DNA'da primidin ikililerinin oluşumu olarak gösterilmektedir (Jagger 1985). Primidin ikilileri, normal DNA eşleşmesinin dışında, primidin bazlarının kendi aralarında kovalent bağla bağlanarak normal DNA yapısını bozan mutajenik yapılarıdır (Goodsell 2001, Friedberg vd 2003, Friedberg 2006). Daha uzun UV dalgaboylarındaki hasar ile görünür ışık dalgaboylarındaki hasarın, hücre içinde veya hücre dışında bulunan fotosensitizerler tarafından absorbe edilen ışık

enerjisinin ortamdaki oksijen moleküllerine aktarılması sonucu ortaya çıkan oksijen radikallerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Jagger 1985, Whitelam ve Codd 1986). Doğal su ortamlarında en sık rastlanan hücre dışı fotosensitizerler humik maddeler olmakla birlikte, bu materyaller tarafından katalizlenen fotooksidatif reaksiyon sonucu en önemli hasar hücresel membranda meydana gelmektedir (Curtis vd 1992). Hücre içi fotosensitizerlerin yol açtığı hasarlar ise DNA zincirinin kırılması, RNA ve protein sentezinin inhibisyonu, hücresel membranın bütünlüğünün ve transfer kabiliyetinin bozulması, oksijenli solunum ve amino asit sentezinin durması olarak sıralanabilir (Whitelam ve Codd 1986).

Ortam pH'ı inaktivasyon prosesini etkileyen diğer bir çevresel faktördür. Ekstrem pH değerlerinin organizmaların canlılığını sürdürmesini engellediği belirlenmiştir. Mayo (1995) tarafından yapılan çalışmada artan pH değerlerinin (pH>7) fekal koliform inaktivasyon hızını arttırdığı bildirilmiştir. Parhad ve Rao (1974), *E.coli* hücre sayılarının pH 9,3'ün üzerinde önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuştur. Genel olarak nötral pH değerleri bakteriyel canlılığın sürdürülmesini desteklerken asidik veya bazik ortamlarda inaktivasyon hızları yükselmektedir. McFeters ve Stuart (1972), koliform bakterilerin yaşamlarını sürdürebilmesi için optimum pH değerinin 5,5-7,5 aralığında, Ayres (1977) ise 7-8 arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda doğal şartlar altında deniz suyu pH'ının değişkenliği çok az olduğundan, pH faktörünün fekal koliform bakterilerinin hayatta kalması üzerine etkisinin diğer faktörlere göre daha az önemli olduğu belirlenmiştir (Pommepuy vd 2006). pH faktörünün bakteriyel inaktivasyon üzerine etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada fekal koliform bakterilerinin hayatta kalmaları için optimum pH aralığının 6-7 olduğu bu değerlerin altındaki ve üstündeki değerlerde bakteri konsantrasyonunda hızlı bir azalış görüldüğü belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda sıcaklık, tuzluluk ve güneş ışınımı faktörlerinin bileşik etkisinin fekal koliform konsantrasyonundaki azalmada en büyük etkiyi gösterdiği görülmüştür (Solic ve Krstulovic 1992).

Mikrobiyal inaktivasyon hızlarının aerobik ortamlarda anaerobik ortamlara göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Grady vd 1999). Curtis vd (1992)'ne ait bulgular ışığın fekal koliform inaktivasyon prosesi üzerindeki etkisinin tamamen ortamdaki

oksijene bağılı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre inaktivasyon hızı ile oksijen konsantrasyonu arasında önemli bir korelasyon bulunmaktadır. *E.coli* ve *Enterococcus faecalis* bakterilerinin oksijenli ve oksijensiz ortamdaki bakteriyel inaktivasyonunun incelendiği laboratuvar çalışmasında Reed (1996), her iki bakterinin durgun ve aktif olarak çoğalan fazlarındaki değişimini gözlemlemiştir. Bu çalışma sonucunda her iki tür organizma için ortalama inaktivasyon hız katsayısı ışıklı ortamda ve aerobik şartlarda daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. Oksijenli koşulda *E.coli* için inaktivasyon hız katsayısı $0,115 \text{ dk}^{-1}$, oksijensiz koşulda $0,0285 \text{ dk}^{-1}$; oksijenli ortamda *Enterococcus faecalis* için inaktivasyon hız katsayısı $0,0119 \text{ dk}^{-1}$ ve oksijensiz ortamda $0,0113 \text{ dk}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ancak Mayo (1995) tarafından yapılan çalışmada çözünmüş oksijenin fekal koliform inaktivasyon ve çoğalma prosesleri üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı vurgulanmaktadır. Ayrıca Pearson vd (1987)'de benzer bir şekilde çözünmüş oksijenin %100 doygunlukta bile *E.coli* üzerinde herhangi bir etkisinin bulunmadığını bildirmişlerdir.

Sedimentasyon ve diğer canlılar tarafından tüketilme de inaktivasyon prosesini etkileyen faktörler arasında gösterilmektedir. Auer ve Niehaust (1993)'a göre, sedimentasyon göl ortamlarında gerçekleşen bakteriyel inaktivasyon prosesinde en önemli parametrelerden birisidir. McCambridge ve McMeekin (1981) haliç sularından aldıkları örnekler üzerinde yaptıkları araştırma sonucunda, *E.coli* sayılarındaki azalmanın güneş ışığı ve doğal mikrobiyal tüketicilerin birleşik etkileri altında bu faktörlerin bağımsız etkilerinden çok daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yükselen vd (2003) ve McFeters (1972), karanlık ortamda ve yüksek sıcaklıklarda koliform bakterilerinin inaktivasyonunun, ortamdaki besi maddesinin yetersizliği ve tüketici mikroorganizmaların artan aktivitelerinin sonucunda gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Barcina vd (1990) sedimentasyon etkisinin kıyısal alanlarda fekal orjinli kirliliğinin azalmasında önemli bir etken olduğunu belirtmiştir. Sedimanda yüksek miktarda organik madde olmasına rağmen, sedimanın sınırlı bir enerjisi ve besin ortamı vardır. Sedimandaki fekal bakteriler, otokton flora ile besin için rekabete ve sonucunda da stres altına girer. Sedimandaki organik maddelerin birçoğu işlenemez ve bakteri organik maddeyi kullanamadığından inaktif hale gelir (Barcina vd 1990). Obiri-Danso ve Jones (2000), bakterilerin konsantrasyonunun azalmasında deniz suyundaki flokülasyon olayı ile deniz sediman ve siltlerine adsorplanma olayının önemli bir rol

oynadığını bildirmişlerdir. Hoi vd (1998) ve Hielm vd (1998) tarafından sedimanla ilgili yapılan başka bir çalışmada, *E.coli*, *V. vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, enterik virüs ve diğer fekal mikroorganizmalara sedimanda rastlanıldığı bildirilmiştir.

Çeşitli çevresel faktörlerin inaktivasyon süreci üzerindeki birleşik etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda genellikle bu etkinin her bir çevresel faktörün bağımsız etkisinden daha önemli sonuçlar ortaya koyduğu sonucuna varılmaktadır. Solic ve Krstulovic (1992), güneş ışıma şiddeti, sıcaklık, tuzluluk ve pH'ın fekal koliform bakterilerinin inaktivasyonu üzerine bağımsız ve birleşik etkilerini incelemek amacıyla laboratuvar ve sahada deneyler yapmıştır. Saha çalışmalarında sıcaklık ve güneş ışımalarının farklı kombinasyonları denenmiş olup, deney sonuçları Çizelge 2.12'de sunulmaktadır.

Çizelge 2.12. Farklı sıcaklık ve güneş ışıması şiddetlerinin T_{90} değeri üzerine etkisi (Solic ve Krstulovic 1992)

Sıcaklık (°C)	Güneş ışıma şiddeti (W/m ²)	k_d (sa ⁻¹)	T_{90} (sa)
20,7	730	1,33	1,73
14,5	698	1,21	1,90
21,7	650	1,23	1,87
24,9	830	2,40	0,96

Solic ve Krstulovic (1992)'in gerçekleştirdiği arazi ve laboratuvar çalışmalarında, sıcaklıktaki her 10 °C'lik artışın T_{90} değerinde yaklaşık % 55 azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Çalışma sırasında güneş ışıma şiddetleri 510-830 W/m² arasında değişmekte olup güneş ışıma şiddetindeki her 100 W/m²'lik artış T_{90} değerinin % 40 azalmasına neden olmuştur. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda güneş ışığının derinlere doğru gittikçe sönümlenmesi ile ilgili olarak deniz yüzeyinden 30 m derinliğe kadar bakterilerin inaktivasyonunun derinlikle çok güçlü bir şekilde etkilendiği, 30 m derinliğin altında ise güneş ışıması etkisinin çok düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum 30 m derinliğin altındaki derinliklerde güneş ışıma şiddetinin yüzeydekine sadece % 10 kadarı olmasına bağlanmıştır. Laboratuvarda ışıklı ve karanlık ortamda farklı sıcaklıklarda yürütülen çalışmalarda karanlık ortamdaki T_{90} değerinin ışıklı ortamdakinden 27 kat daha uzun olduğu belirlenmiş ve sıcaklık 12-24 °C aralığında artarken T_{90} değerinin sadece 2,5 kat azaldığı gözlenmiştir (Solic ve Krstulovic 1992).

Farklı tuzluluk oranlarının fekal koliform bakterilerinin inaktivasyonu üzerine etkisinin incelendiği çalışmada düşük tuzluluktaki (‰ 7-15) sulardaki tuzluluk artışının yüksek tuzluluktaki (‰ 15-40) sulardaki tuzluluk artışına göre T₉₀ değeri üzerine çok daha fazla etki ettiği gözlenmiştir. Ayrıca tuzluluğun ‰ 7-15 arasında değiştiği deniz sularında, tuzlulukta her % 5'lik artış, T₉₀ değerini yaklaşık % 55 azaltmışken, tuzluluğun ‰ 15-40 arasında değiştiği deniz sularında T₉₀ değerinde sadece % 15'lik bir azalma gözlenmiştir (Solic ve Krstulovic, 1992).

Antartika'nın, ozon tabakasındaki incelmeden kaynaklanan özel durumuna bağlı olarak Hughes (2005)'un güneş ışımalarının *E.coli* ve atıksu bakterilerinin hayatta kalmaları üzerine etkisini incelediği çalışmada güneşe maruz kalma süresi, maruz bırakılan dalga boyunun türü, bulutluluk oranı, güneş zenit açısı ve ozon kolon derinliği gibi faktörlerin T₉₀ değeri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan tüm çalışmalar Eylül 1999 ve Şubat 2000 arasında yürütülmüş olup şeffaf polietilen torbalar içindeki *E.coli* ve atıksu mikroorganizmaları optik filtreler yardımıyla dalga boyu 400-700 nm arasında değişen PAR (fotosentetik aktif radyasyon) ile dalga boyu 280-400 nm arasında değişen UV ışınlarına maruz bırakılmıştır. Deneyler sonucunda PAR'ın *E.coli*'nin inaktivasyonunda hiçbir etkisinin olmadığı, PAR+UVA'nın ise 60 dk'lık maruz kalma süresi sonucunda konsantrasyonda önemli bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. PAR+UVA+UVB kombinasyonu ise 50 dk'lık maruz kalma süresi sonunda konsantrasyonda % 99'luk bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca bu çalışmada sığ sularda UVB ışımalarının UVA'ya göre *E.coli* bakterilerinin inaktivasyonu üzerine daha etkili olduğu gözlenmiştir (Hughes 2005).

Canteras vd (1995), Biscay Körfezi'ndeki T₉₀ değerini belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında farklı tuzluluk, sıcaklık ve ışık şiddetlerinin *E.coli*'nin inaktivasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.13'de verilmektedir.

Çizelge 2.13. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar (Canteras vd 1995)

Tuzluluk (%)	Işık Şiddeti (W/m ²)	Sıcaklık (°C)	T ₉₀ (sa)
8,5	0	18	23,65
15,0	0	18	21,74
25,0	0	18	19,04
35,0	0	18	18,78
45,0	0	18	13,47
8,5	40	18	3,14
8,5	120	18	1,12
8,5	960	18	0,91
8,5	0	10	36,05
8,5	0	26	17,16
8,5	0	34	12,06
8,5	0	42	8,38

Gabutti vd (2000), çeşitli çevresel faktörleri bertaraf ederek fekal koliform (FC), fekal streptokok (FS), *Salmonella spp.* ve *S. aerus* bakterilerinin deniz suyu (% 35) ve az tuzlu suda (% 27) karanlık koşullar altında hayatta kalma oranlarını incelemek için laboratuvarında çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yürütülen laboratuvar çalışmalarında % 35 tuzluluğa sahip deniz suyunda bakteriler için T₉₀ değerleri *S. Aerus* >FS >*Salmonella spp.* > FC'dir. Az tuzlu sudaki (% 27) T₉₀ değerleri ise % 35 oranında tuzluluk içeren deniz suyuna göre daha uzundur. Fekal koliform, fekal streptokok, *Salmonella spp.* ve *S. Aerus* için T₉₀ değerleri % 35 ve % 27'lik deniz suyunda sırasıyla 48-72 sa, 88-104 sa, 56-80 sa ve 98-96 sa olarak hesaplanmıştır. Fekal koliform bakterileri tuzluluk değişimine en hassas bakteri iken, *S. aerus* en fazla adaptasyon sağlayan bakteri olarak öne çıkmaktadır.

2.5. Belirsizlik Analizi

Mühendislik projelerinin güvenlik ve performans değerlendirmeleri genel olarak klasik mühendislik yaklaşımları olan kavramsal modelleme, nümerik simülasyon ve mühendislik güvenlik standartlarının uygulanması yoluyla yapılmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, doğal değişkenlerin hakim olduğu sistemlerde yetersiz kalabilmektedirler.

Su kalite modellemesi ve çevre koruma konularında doğal ortamın getirdiği belirsizlikler sistemlerin baskın karakterleri olarak öne çıkmaktadırlar. Bu belirsizlikler,

ilgili hidrodinamik, kimyasal ve biyokimyasal süreçlerdeki zamana ve mekana bağlı önemli değişimlerden kaynaklanmaktadır. Çeşitli araştırmacılar değişik tipteki belirsizlikleri analiz etmiş ve belirsizlikleri kavramsal ve kavramsal olmayan olarak sınıflandırmışlardır. Kavramsal olmayan belirsizlikler doğal belirsizlikler veya rastlantısal belirsizlik olarak tanımlanırken, kavramsal belirsizlik insan veya teknoloji kaynaklı belirsizlik olarak tanımlanmaktadır (Bogardi ve Duckstein 1978, Duckstein ve Plate 1987, Plate 1991, Ganoulis 1991). Doğal belirsizlik, sistemin veya sürecin doğasında olan ve metodun veya teknolojinin iyileştirilmesiyle bertaraf edilemeyen belirsizliklerdir. Doğal belirsizlik barındıran sistemlerin analizinde stokastik veya bulanık mantık yaklaşımlarının kullanımı sistemin daha gerçekçi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. İnsan ve teknoloji kaynaklı belirsizlikler ise; örnekleme hatalarından kaynaklı veri belirsizlikleri, parametre tahminlerindeki hatalardan kaynaklanan belirsizlikler, uygun olmayan modellerin kullanımından kaynaklı belirsizlikler ve operasyonel belirsizlikler olarak sıralanabilir. Doğal belirsizliklerin tersine insan ve teknoloji kaynaklı belirsizlikler metodolojinin ve kullanılan teknolojinin geliştirilmesiyle bertaraf edilebilir. Örneğin bir su deposuna giren debi ile su seviyesi arasındaki ilişki deterministik olarak kurulabilirken su seviyesinin rastgele tüketime bağlı değişimi ile zaman arasındaki ilişkinin kurulmasında deterministik yaklaşımlar uygun olmamaktadır (Ganoulis 1991).

Stokastik modelleme, belirsiz sistemlerin simülasyonuna olasılıkların dahil edilmesi prensibine dayalı bir metodolojidir. Bu tür sistemler kıyasal alanlar, nehir sistemleri, göller ve akiferler gibi hidrolojik sistemler olabildiği gibi, baraj, su dağıtım sistemleri ve atıksu arıtma tesisleri gibi mühendislik sistemleri de olabilmektedir. Mühendislikte stokastik yöntemler, genel olarak sistemlerdeki belirsizliklerin ortaya konması ile sistem riskinin değerlendirilmesi amacıyla hizmet eder. Söz konusu stokastik yöntemler; zaman serileri analizi, stokastik diferansiyel denklemler, dağılım analizi, pertürbasyon analizi ve Monte Carlo Simülasyonu olarak sıralanabilir (Ganoulis 2004).

Monte Carlo Simülasyonunda kullanıcı tarafından belirlenen parametreler ve bu parametrelere ilişkin olasılık dağılımları dikkate alınarak ilgilenilen nihai değişkenler için elektronik araçlar ve yazılımlardan destek alınarak çok fazla sayıda simülasyon sonucu elde edilir ve bu sonuçların istatistiksel değerlendirmesi yapılır. Monte Carlo

Simülasyonu sonucunda ilgilenilen nihai değişkenler için olasılık dağılımları elde edilebilmektedir. Belirtilen yöntemin uygulanabilmesi için çalışmaya dahil edilen parametrelere ilişkin çok fazla sayıda veri ve hesaplama süresi gereklidir.

Günümüzde gelişen bilişim teknikleri ile hesaplama süresi bir sorun olmaktan çıkmıştır ancak belirsizliğe yol açan parametrelere ilişkin veri seti temin edilmesi ve bu verilere dayalı olasılık dağılımlarının elde edilmesi oldukça güç olabilmektedir. Literatürde pek çok farklı disiplinde Monte Carlo Simülasyonu ile gerçekleştirilmiş olan belirsizlik analizi çalışmaları bulunabilmektedir (Bevington ve Robinson 1992, Manly 1997, Cullen ve Frey 1999).

Literatürde en yaygın olarak kullanılan olasılık yaklaşımı Monte Carlo Simülasyonudur. Bu yaklaşımda parametreler tek bir deterministik değer yerine olasılık dağılımları ile tanımlanmaktadır. Mühendislik analizi ve tasarımlarında Monte Carlo Simülasyonu sistem tepkilerinin belirsiz koşullar altında değerlendirilmesi amacı ile kullanılmaktadır (Yegnan vd 2002). Monte Carlo Simülasyonunda temel prensip belirsizliğe sahip girdi parametrelerinin olasılık dağılımlarından rastgele seçilen değerlerle yinelemeli simülasyonlar yapılmasıdır. Buna bağlı olarak girdi parametrelerinin olasılık dağılımından alınan verilerle elde edilen sonuçlar için de olasılık dağılımına ulaşılmakta ve değerlendirilebilmektedir (Ang ve Tang 1984). Böylece çıktılar tekil deterministik değerler yerine belirli bir güven aralığı için elde edilen olasılık dağılımları şeklinde olabilmektedir.

Deniz deşarj sistemleri ile deşarj edilen atıksular gerek toplanan atıksuyun mahiyeti, gerekse alıcı ortam olan deniz ortamının dinamik yapısı nedeniyle bir takım belirsizliklere sahiptir. Arıtma tesisine günün farklı saatlerinde farklı atıksu debileri iletilmekte, değişen debilerle birlikte atıksu içindeki kirleticilerin niteliği ve niceliği değişime uğramaktadır. Ayrıca arıtılan atıksuların deşarj edildiği deniz ortamı da oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Özellikle akıntı hız ve yönleri meteorolojik şartlara bağlı olarak sürekli değişim içerisindedir. Bu sebeplerden ötürü deniz deşarjlarının tasarım ve işletilmesinde deterministik yöntemlerin yanında stokastik yöntemlerin de kullanılması olasılık ve risk değerlendirmesi açısından önem taşımaktadır.

Mukhtasor vd (1999) çalışmalarında deşarj edilen atıksu debisi, başlangıç koliform konsantrasyonu, akıntı ve T_{90} parametreleri tam karışimli ortamlardaki deniz deşarj sistemi tasarımları için belirsiz parametreler olarak belirlenmiştir. T_{90} parametresi güneş ışınması, tuzluluk, sıcaklık, pH, başka organizmalar tarafından parçalanma ve besin eksikliği faktörlerine bağlıdır (Evison 1988, Gameson 1984). Bu faktörler arasında güneş ışınması en önemli çevresel etken olarak belirlenmiştir. Bazı araştırmacılara göre T_{90} değerleri gün içerisinde de büyük değişimler göstermektedir (Yükselen vd 2003) ve T_{90} parametresinin seçimi deniz deşarj tasarımlarında özel bir önem taşımaktadır (Larsen 2000). T_{90} parametresi güneş ışınmasının mevcut olduğu ortamlarda zamansal olarak yüksek oranda değişken ve aynı zamanda belirsizliği yüksek bir parametre olmasının yanısıra tutsaklanmış atıksu deşarjlarında gerçekleşen bakteriyel inaktivasyon süreci karanlık ortamda sıcaklık ve tuzluluk etkisi altında daha kararlı ve sabit bir durum almaktadır.

Ganoulis (2004) tarafından yapılan çalışmada, zaman içinde çok önemli hız ve yön değişimleri gösteren rüzgar akıntıları belirsiz parametre olarak kabul edilerek, Rodos Adası civarında yapılacak olan deşarj hattının yer seçimi için belirsizlik analizi uygulanmıştır. Çalışma için gerekli olan verilerin toplanması için batmış akıntı ölçerler vasıtasıyla ölçümler yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak belirsizlik analizi ile farklı deşarj noktalarından bırakılan atıksulardan kaynaklanan kirliliğin kıyı bölgelerindeki olasılık dağılımları elde edilerek standartlarla kıyaslanmıştır.

Mukhtasor vd (2002), çalışmalarında deniz deşarjları için kullanılan stokastik metodolojinin değerlendirilmesi amacıyla Monte Carlo Simülasyonu ile elde edilen sonuçları ortalama-değer birinci-mertebe ikinci-moment (MFOSM) ve gelişmiş birinci-mertebe ikinci-moment (AFOSM) yöntemleri sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Çalışmalar Kanada New Foundland kıyılarında bulunan Spaniards Körfezi deniz deşarj sistemi üzerinde yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, mesafeye bağlı toplam koliform konsantrasyonlarının tahmininde AFOSM yönteminin, birinci seyrelmenin tahmini aşamasında ise MFOSM yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Buna rağmen gerekli verinin bulunması halinde Monte Carlo Simülasyonunun tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

2.6. Risk Analizi

Kıyı sularına insan veya hayvan kaynaklı atıksuların deşarj edilmesi durumunda deniz suyunda patojen mikroorganizmaların bulunması beklenen bir sonuçtur (Metcalf ve Eddy 1991). İnsan veya hayvan popülasyonlarında meydana gelen hastalıklara bağlı olarak, rekreasyonel sularda patojen organizmalar bulunabilmektedir. Bu nedenle, kıyı sularında insan kaynaklı enterik virüsler (norovirüs, astrovirüs, hepatit A virüsü) ve patojen bakteriler (*Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, Shiga-toksin üreten *E.coli*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus* vd) uzun yıllardır kaydedilmektedir (Grimes 1991, Bosch vd 2001, Kong vd 2002). Bu organizmalar gastrointestinal ve solunum yolu hastalıkları ile diğer enfeksiyonlara (cilt, göz vb.) neden olmaktadır (Griffin vd 2003). Virüslere ilişkin bir risk değerlendirme çalışmasında, maksimum risk değeri yüzme faaliyetinde bulunan her 100 kişiden 1,3 kişinin enfeksiyona maruz kalabileceğini göstermiştir (Colwell vd 1996). Patojenlerin çevresel ortamlarda bulunmasına bağlı risklerin değerlendirilmesi amacı ile belirgin kriterlerin tanımlanması gerekmektedir. Bu kapsamda enfeksiyon dozu büyük önem taşımaktadır (Çizelge 2.14).

Çizelge 2.14. Bazı mikroorganizmalar için enfeksiyon dozları

Mikroorganizma	Tahmini minimum enfeksiyon dozu	Referans
<i>Salmonella</i> spp.	10^4 - 10^{10}	Forsythe (2000)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10^6 - 10^9	Forsythe (2000)
<i>Campylobacter jejuni</i>	10^2 - 10^9	Black vd (1988)
<i>Vibrio cholerae</i>	10^3	Forsythe (2000)
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	10 - 10^2	Forsythe (2000)
Hepatit A	<10	Forsythe (2000)
Norovirüs	<10	Moe (2002)

Enfeksiyon dozu, patojen suşu, hastalanan kişinin yaşı ve diğer parametrelere bağlı ise de bazı patojenler (HAV, *E.coli* O157:H7, *Vibrio cholerae*) insanlar için çok düşük dozlarda dahi çok tehlikelidir. Bazı patojenlerin zararlı etki gösterebilmesi için ise çok fazla sayıda vücuda alınması (*V. Parahaemolyticus*) gerekmektedir. Bazı patojenler yüksek enfeksiyon riskine sahip olsa da (norovirüs) tehlikeli değildirler (Pommepuy vd 2006).

Enterik mikroorganizmaların deniz ortamında bulunması fiziksel, biyolojik ve

biyokimyasal proseslerin etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Bazı mikroorganizmaların konak ortam dışında hayatta kalma süreleri sınırlı ise de virüsler daha dirençlidir. Buna rağmen bazı bakteriler alıcı ortamlarda günlerce ve hatta aylarca yaşayabilmektedir. Bilim ve istatistiksel araçlar ne kadar gelişmiş olsa da patojenlerin çevresel ortamlarda bulunması halen karmaşık bir olgu niteliği taşımaktadır. Kıyı alanlarında ve özellikle de körfez ve haliçlerde birbirinden ayrı ve çok farklı üç ortamın (kara, tatlısu ve tuzlusu) birleşimi söz konusudur. Bu alanlarda gerçekleşen prosesler deniz ve kara kaynaklı etkilerin büyüklüklerindeki salınımlara bağlıdır. Yoğun insan faaliyetleri neticesinde atıksu arıtma tesisleri ve nehir deşarjları ile deniz ortamına direkt fekal kirlilik girişi gerçekleşebilmektedir. Deniz ortamlarında gözlenen fekal kontaminasyon, gelen kirlenici akısının karışımı, sedimanda birikimi ve mikrobiyal direncin neticesidir. Patojenlerin deniz ortamındaki varlığını etkileyen temel parametreler Çizelge 2.15’de sunulmaktadır (Pommepuy vd 2006).

Çizelge 2.15. Patojenlerin deniz ortamındaki varlığını etkileyen temel parametreler (Pommepuy vd 2006)

<i>Kara ve tatlısu etkileşimi</i>	
Mikrobiyal türler	Fekal flora veya patojenler (bakteri, virüs)
Mikrobiyal statü	Boyut, yoğunluk, organik veya partikül maddeye bağlanma
Kıyı popülasyonu	Salgınlar, pandemik, taşıyıcı hayvanlar
Akılar	Kesikli, sürekli, yağış etkisi vb.
<i>Tatlısu ve deniz etkileşimi</i>	
Karışım	Açık deniz, haliç, körfez vb.
Çökelme	Çamur ve ince sediman varlığı
Ekosistem karakteristikleri	Güneş ışınması, tuzluluk, sıcaklık, predasyon, besin azlığı
Direnç	Zayıf, dirençli veya adaptif bakteri

Hastalık yapıcı mikroorganizmalar her zaman evsel nitelikli atıksu içerisinde belirli seviyelerde bulunabilir. Bunun nedeni enfekte olmuş bireylerin enfekte oldukları zaman yüksek sayılardaki patojeni vücutlarından atmalarıdır. Örnek olarak 1 gr dışkı içerisinde 10^{10} adet rotavirüs bulunabilmektedir. Enfekte olan bireyler, birkaç haftadan birkaç aya kadar enterik patojenleri salgılayabilir. Enterik patojenlerin atıksudaki konsantrasyonları çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Pommepuy vd 2006).

- *Yerel halkın enfeksiyon sıklığı*: Daha fazla sayıda birey enfekte olduğunda, atıksuya daha fazla sayıda patojen salgılanmaktadır. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde enterik hastalıkların sıklığı fazla olduğundan, atıksularda daha yüksek konsantrasyonlarda patojen organizma bulunması beklenmektedir.
- *Nüfusun sosyo-ekonomik seviyesi*: Bu faktörler toplumun eğitim ve hijyen seviyeleri kadar enfeksiyon hastalıklarının tedavi edilebileceği sağlık hizmetlerine ulaşılabilirliğini de içermektedir.
- *İklim ve mevsimsel değişimler*: Ilıman iklimlerde, rotavirüs enfeksiyonları kış mevsimi başında zirve yapmaktadır. *Cryptosporidium* enfeksiyonları ise ilkbahar ve sonbahar mevsimleri başında maksimum düzeye ulaşmaktadır.
- *Kişi başına düşen su tüketimi*: Kişi başına tüketilen su miktarı ne kadar az ise atıksudaki patojen organizma konsantrasyonu o oranda yüksek olmaktadır.

Bu nedenlere bağlı olarak, gelişmekte olan ülkelerdeki atıksularda enterik patojen konsantrasyonları, gelişmiş ülkelere göre daha yüksektir. Örnek olarak, evsel nitelikli atıksulardaki enterovirüs konsantrasyonu Amerika Birleşik Devletleri'nde 10-1.000 adet/L olmasına rağmen Afrika ve Asya'da 100.000 adet/L değerine kadar yükselebilmektedir (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16. Dışkıda bulunan enterik patojen konsantrasyonları (Henze vd 2008)

Organizma	Konsantrasyon (1 gr dışkıda)
Enterik virüsler	
Enterovirüsler	10^3-10^7
Rotavirüs	10^{10}
Adenovirüs	10^{11}
Enterik bakteri	
<i>Salmonella</i> spp.	10^4-10^{10}
<i>Shigella</i>	10^5-10^9
İndikatör bakteri	
Toplam Koliform	10^7-10^9
Fekal koliform	10^6-10^9

Atıksularda enterik patojenlerin varlığını tespit etmek üzere rutin incelemelerin yapılması zaman alıcı, zor ve maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle, fekal kontaminasyonun varlığını ve atıksu arıtma sisteminin verimliliğini değerlendirmek üzere indikatör organizmalar kullanılmaktadır. İndikatör organizmalar, sıcakkanlı tüm canlıların

dışkılarında mevcut olup patojen olmayan bakterilerdir. İndikatör organizmalar basit yöntemlerle kolaylıkla izole edilebilmekte ve sayılabilmektedir. Suda indikatör organizmaların varlığı, fekal kontaminasyonun olduğunu ve enterik patojenlerin de varolabileceğini göstermektedir.

Örnek olarak koliform bakteriler normal olarak tüm sıcakkanlı canlıların bağırsaklarında mevcut olup, dışkı ile yüksek sayılarda vücuttan atılmaktadır. Kirlenmiş sularda, fekal kirlilik düzeyine yakın yoğunluklarda koliform bakteri bulunmaktadır. Sularda koliform bakteri bulunmaması, insani amaçlı tüketim için suyun bakteriyolojik açıdan güvenilir olduğunu gösterir. İndikatörler geleneksel olarak enterik patojenlerin var olabilme potansiyelini belirlemek üzere kullanılmışsa da günümüzde bakteriyel indikatörler ile insan kaynaklı patojenler arasında direkt bir korelasyon olmadığı farkedilmektedir. Bu nedenle de, arıtma proseslerinin verimliliğini değerlendirmek için proses indikatörleri, fekal kirliliği belirlemek üzere fekal indikatörler kullanılmalıdır. Ham atıksuda bulunan indikatör organizmaların tahmini konsantrasyon değerleri Çizelge 2.17’de verilmektedir.

Çizelge 2.17. İndikatör organizmaların ham atıksudaki tahmini konsantrasyonları (Henze vd 2008)

Organizma	Konsantrasyon (CFU/100 ml)
Koliform	10^7-10^9
Fekal koliform	10^6-10^7
Fekal streptokok	10^5-10^6
Enterokok	10^4-10^5
<i>Clostridium perfringens</i>	10^4
<i>Staphylococcus</i>	10^3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10^5
Kolifaj	10^2-10^3
<i>Bacteroides</i>	10^7-10^{10}

Klasik aktif çamur atıksu arıtma tesislerinde genellikle ön çökeltme, havalandırma ve ikinci çökeltme üniteleri bulunmaktadır. Belirtilen proses için patojen giderimi büyük değişimler göstermekte olup, organizma çeşidi ve prosesdeki bekleme süresine bağlıdır. Giderimin büyük bir kesimi çökeltme ve arıtma prosesi sırasında oluşan biyolojik yumaklara adsorplanma veya birleşme ile gerçekleşmektedir. Tüm patojenler

için giderim veriminin %40-99 arasında değiştiği bildirilmektedir (Henze vd 2008).

Patojen gideriminin ön çökeltme işleminde oldukça değişken olduğu rapor edilmektedir. Küçük boyutlarından dolayı, ön çökeltme işleminde düşük oranda virüs ve bakteri giderimi gözlenmektedir. Bu üniteye solucan yumurtaları %60-90 verimlilikle en iyi giderilen gruplardır. Protozoa için giderim verimleri %4-93 arasında değişken olarak tespit edilmiştir. Benzer durumlar enterik bakteri ve virüsler için de geçerlidir. Enterik virüs giderimi %0-98 arasında kaydedilmiştir. Aktif çamur prosesi ile indikatör bakteri ve patojen giderim verimleri ise %80-90 arasında kaydedilmiş olup, giderimi sağlanan bakterinin büyük bir kısmı çamura geçmektedir. Virüslerin de çoğunluğu bakterilere bağlanmakta ve dolayısıyla çamur içerisinde tutulmaktadır. Virüslerin giderimi aktif çamur prosesi süresince de gerçekleşmektedir. Bazı araştırmacıların bulgularına göre 10 saat süreli havalandırma işleminden sonra virüslerin %75'i inaktif olmakta, %25'i ise oluşan çamur yumaklarına bağlanmaktadır. 6-12 saatlik bekleme sürelerinin virüslerin çoğunun inaktif hale gelmesi için tek başına yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. İşletim halindeki aktif çamur tesislerinde enterovirüslerin ve rotavirüslerin %90-99 verimlilikle giderildiği kaydedilmiştir (Çizelge 2.18) (Henze vd 2008). Virüs ve bakterilerin giderimi 3 faktöre bağlanmıştır:

- çamur katılarına adsorplanma veya katılar içerisinde sarılım
- virüslerin bakteriler tarafından inaktif hale getirilmesi
- protozoa ve küçük solucanlar tarafından yenilme

Rekreasyonel su kalitesi ile gastrointestinal belirtiler, göz enfeksiyonları, cilt irritasyonu, kulak, burun ve boğaz enfeksiyonları ve solunum yolu rahatsızlıklarını içeren olumsuz sağlık etkilerini birlikte değerlendirmek üzere 1950'lerden günümüze değin çeşitli epidemiyoloji araştırmaları yürütülmüştür (Pruss 1998, Wade vd 2006, Zmirou vd 2003). Belirtilen çalışmalarda aktarıldığı gibi denizde yüzenlerde gözlenen olumsuz sağlık etkileri yüzmeyenlere göre daha yüksektir. Fekal indikatör bakteriler (özellikle fekal streptokok/enterokok ve *E.coli*) rekreasyonel sulara maruz kalınarak oluşan gastrointestinal ve solunum yolu hastalıklarının tahmin edilmesinde kullanılabilir özelliktedir. Literatür incelemesinden ve güncel araştırmalardan (Soller vd 2010) elde edilen veriler ışığında, evsel nitelikli atıksularda bulunan indikatör organizma ve

patojenler için konsantrasyon aralıkları Çizelge 2.19’da verilmektedir.

Çizelge 2.18. Aktif çamur atıksu arıtma tesisinde patojen giderimi (Henze vd 2008)

	Enterik virüsler	<i>Salmonella</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
Ham atıksudaki konsantrasyonu (sayı/L)	10 ⁵ -10 ⁶	5.000-80.000	9.000-200.000	1-3.960
Birincil arıtmada ^a % giderim Kalan (sayı/L)	50-98,3 1.700-500.000	95,8-99,8 160-3.360	27-64 72.000-146.000	0,7
İkincil arıtmada ^b % giderim Kalan (sayı/L)	53-99,92 80-470.000	98,65-99,996 3-1075	45-96,7 6.480-109.500	
İleri arıtmada % giderim Kalan (sayı/L)	99,983- 99,9999998 0,007-170	99,99- 99,999999995 0,000004-7	98,5-99,99995 0,099-2,951	2,7 ^d

^a Ön çökeltme ve dezenfeksiyon

^b Ön çökeltme, damlatmalı filtre veya aktif çamur, dezenfeksiyon

^c Ön çökeltme, damlatmalı filtre veya aktif çamur, dezenfeksiyon, koagülasyon, filtrasyon, dezenfeksiyon

^d Sadece filtrasyon

Çizelge 2.19. Evsel nitelikli atıksulardaki patojen konsantrasyonları (Soller vd 2010)

Kaynak	Ön çökeltmeden sonra ^b Log ₁₀ değer aralığı ^a		İkincil arıtma ve klorlamadan sonra ^b Log ₁₀ değer aralığı	
	Min	Maks	Min	Maks
Organizma				
Enterokok	5,8	8,0	0,5	2,7
<i>E.coli</i>	6,7	8,0	0,5	4,0
<i>E.coli</i> O157:H7	ND ^c	3,3	ND	
<i>Campylobacter</i>	ND	2,3	ND	
<i>Salmonella</i>	0,5	3,0	ND	
<i>Cryptosporidium</i>	-0,3	2,6	-1	1,5
<i>Giardia</i>	0,8	4,0	-1	2,1
Norovirus	3,0	6,0	2,2	3,0

^a Çizelgede verilen değerler log-uniform dağılımın minimum ve maksimum değerleridir (örnek olarak 2,0 değeri 10^{2,0} değerine karşılık gelmektedir).

^b Ön çökeltme sonrası ve ikincil arıtma ve klorlama sonrası değerler Log₁₀ (cfu/L veya kist/L) birimindedir.

^c Tespit edilememiştir.

Çizelge 2.19'dan anlaşılacağı üzere, ön çöktürme işleminin bakteri giderimi üzerine etkisi oldukça düşük seviyelerde kalmakta olup, bakteri sayısı literatürde verilen orta düzeyde kirliliğe sahip ham atıksu bakteri konsantrasyonları olan 10^7 - 10^8 CFU/100 ml (Metcalf ve Eddy 1991) değerlerine oldukça yakın düzeydedir. Bu bakımdan ön çökeltme sonrası yapılan deşarjlarda halk sağlığı riskleri daha yüksek seviyelerde ortaya çıkmaktadır.

3. MATERYAL ve METOD

Tez çalışması kapsamında, derin deniz deşarjı ile bırakılan atıksuların farklı alıcı ortam koşullarındaki seyrelme mekanizmaları ve bakteri konsantrasyonunun tahminindeki belirsizliklerin incelenmesi amacı ile Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi deniz deşarjı sistemi seçilmiş olup gerekli verilerin sağlanması için hem saha, hem de laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Farklı alıcı ortam koşullarının belirlenmesi amacıyla 12 aylık dönemdeki alansal ve zamansal değişimi yansıtacak şekilde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmış, çalışma dönemi içinde gerekli olan verilerin eş zamanlı olarak temin edilmesi sağlanmıştır. Sahada yapılan ölçüm ve örnekleme çalışmaları sonucunda elde edilen önemli veri grupları içinde derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluk profilleri, akıntı ölçümleri yer alırken, kurum ve kuruluşlardan alınan önemli veri grupları arasında ise atıksu debisi, rüzgar hız ve yönleri gibi uzun vadeli ölçüm ve izleme gerektiren parametreler bulunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında öncelikli olarak deşarj edilen atıksu karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmış olup, bunun için atıksu arıtma tesisi ile ilgili veriler toplanmış buna ilaveten bir yıl boyunca giriş ve çıkış sularında bakteriyolojik örnekleme çalışmaları yapılmıştır.

Deniz deşarjı ile deşarj edilen atıksuların alıcı ortam koşullarındaki davranışlarını belirlemek için deşarj bölgesinde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişiminin belirlenmesi amacıyla saha çalışmaları yapılmış, buna ilaveten derinlik boyunca akıntı hız ve yönlerinin tespit edilmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Saha çalışmalarına deşarj bölgesindeki bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları ile devam edilmiştir.

Özellikle bakteriyel inaktivasyon prosesindeki belirsizliklerin giderilmesi amacıyla, laboratuvar ortamında değişik ortam koşullarını temsil etmek üzere deneyler yapılmış,

deneyler sonucu elde edilen bakteriyel inaktivasyon hızları (k_d) ve T_{90} değerleri modelleme çalışmalarında kullanılmıştır.

Çalışma bölgesine ait veri toplama, örnekleme-analiz çalışmaları ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar hidrodinamik modelin uyarlanması ve akıntı tahmini ile bakteriyolojik kirliliğin modellenmesi amacıyla kullanılmıştır. Modelleme çalışmaları kapsamında çeşitli yönetim senaryoları üretilerek seyrelme tahminleri elde edilmiştir.

Deniz ortamının dinamik yapısından ileri gelen çeşitli belirsizlikler göz önüne alınarak deşarj bölgesi yakınlarında bulunan rekreasyonel alanlara ulaşabilecek olası bakteri konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizlik analizi sonucu elde edilen olasılık dağılımlarından yola çıkılarak deşarj edilen atıksuda bulunan patojen mikroorganizmaların sebep olabileceği muhtemel sağlık risklerinin belirlenmesi amacıyla risk analizi yapılmıştır.

Bu bölümde öncelikli olarak atıksu arıtma tesisi ve deniz deşarj sistemi kısaca tanıtılacak, izleyen kısımlarda ise sırasıyla tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen saha çalışmaları, laboratuvar deneyleri, modelleme çalışmaları ve belirsizlik ile risk analizlerinde kullanılan materyal ve yöntemler ayrıntılı olarak sunulacaktır.

3.1. Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarjı Sistemi

Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından Dünya Bankası desteğiyle 1996 yılında başlatılan “Antalya Entegre Su ve Atıksu Projesi” kapsamında Antalya İli atıksularının toplanması, arıtılması ve deniz ortamına deşarj edilerek gerek yeraltı sularının gerekse deniz suyu kalitesinin korunması amaçlanmıştır. Arıtmaya tabi olacak evsel atıksular, çapları 200 mm ile 2000 mm arasında değişen 700 km uzunluğundaki atıksu toplama ana boruları ve 750 km uzunluğundaki kanalizasyon şebekesiyle şehrin çeşitli bölgelerinde bulunan 7 adet terfi istasyonu vasıtasıyla Hurma Atıksu Arıtma Tesisi’ne taşınmaktadır (ANONİM IV). Tesis, Antalya’nın batı bölgesindeki Hurma mevkiinde yer almakta olup kıyıdan uzaklığı 2600 m’dir. “Antalya Entegre Su ve Atıksu Projesi” kapsamında tesisin ilk olarak planlanan şeklinde evsel atıksular ön arıtma ünitesinde

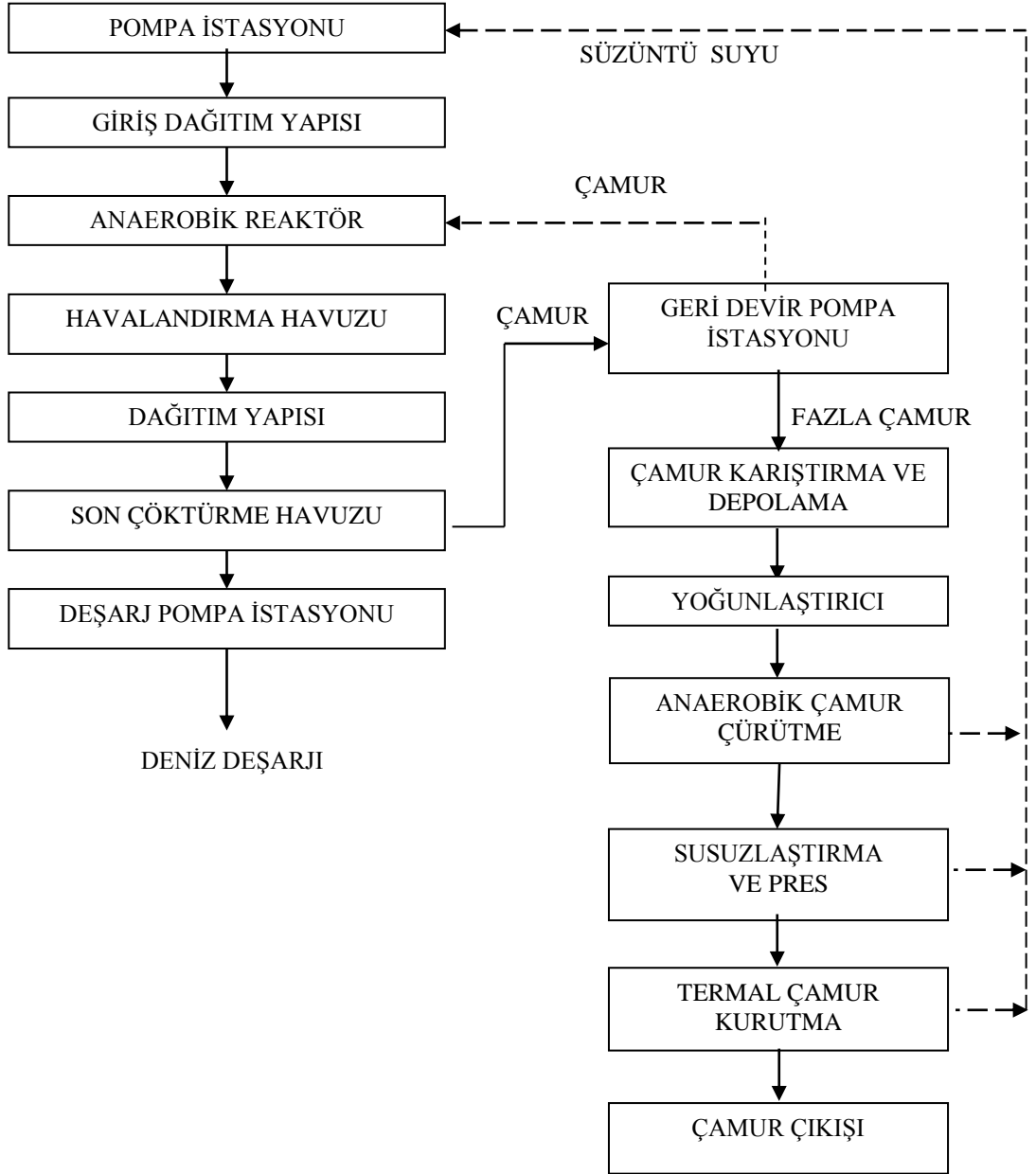
arıtıldıktan sonra, atıksuyun deniz ortamında yeterli seyrelmeyi sağlayacak bir derinliğe uzun bir deşarj hattı ile verilmesi planlanmıştır. Ancak ön arıtma ünitesinde alıcı ortamda kirliliğe yol açabilecek organik madde artırımının gerçekleşmemesi nedeniyle kirlilik riskini azaltmak amacıyla projeye 2001 yılında ön arıtma tesisine ek olarak biyolojik atıksu arıtma ünitesi de eklenmiştir.

Tesis, 1.000.000 Eşdeğer Nüfus (E.N.)'a göre projelendirilmiş olup her etap 250.000 E.N.'a göre tasarlanmıştır. İlk aşamada 250.000 E.N.'a hizmet edecek bir biyolojik atıksu arıtma tesisi yapılmış olup ilk aşamadaki ortalama atıksu debisi 37.500 m³/gün olarak alınmıştır. 2005 yılında tamamlanan ikinci kademenin de işletmeye alınması ile tesis kapasitesi 500.000 E.N.'a hizmet verecek kapasiteye ulaştırılmış olup ortalama atıksu debisi de 75.000 m³/gün'e çıkarılmıştır. 2010 yılında başlanan nihai kademe inşaatı ile tesis başlangıçta hedeflenen 1.000.000 E.N. kapasitesinin üzerine çıkarılarak 1.400.000 E.N.'a hizmet edebilecek bir kapasiteye çıkarılmıştır. 2011 yılında hizmete alınan nihai tesis ile 210.000 m³/gün'lük ortalama atıksu debisi için hizmet verilebilecektir. Çizelge 3.1'de Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nin tasarım kriterleri yer almaktadır (ANONİM V, ANONİM VI).

Çizelge 3.1. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi tasarım kriterleri (ANONİM V, ANONİM VI)

Parametre	1. aşama	2. aşama	Nihai
Eşdeğer Nüfus (kişi)	250.000	500.000	1.400.000
Birim Atıksu (l/kişi.gün)	150	150	150
Ortalama Atıksu Debisi (m ³ /gün)	37.500	75.000	210.000

Hurma Atıksu Arıtma Tesisi, ön arıtma, biyolojik arıtma ve çamur susuzlaştırma ünitelerinden oluşmakta olup, mevcut kirlilik değerlerine ve atıksu debilerine göre dizayn edilmiştir. Atıksu arıtma tesisinde azot ve fosfor artırımını içeren uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi uygulanmaktadır (Yalçın 2004, ANONİM V, ANONİM VI). Tesisin genel akım şeması Şekil 3.1'de verilmektedir. Çizelge 3.2'de Antalya Kenti atıksularının genel karakteristiği, atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularındaki ortalama kirletici konsantrasyonu ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre müsaade edilen sınır değerler verilmiştir (SKKY 2008).



Şekil 3.1. Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi genel akım şeması (Yalçın 2004, ANONİM V, ANONİM VI)

Antalya Deniz Deşarj Sistemi, karadaki uzunluğu 2472 m, denizdeki uzunluğu 2600 m olan bir ana boru ve 315 m'lik difüzör kısımlarından oluşmaktadır. Ortalama deşarj derinliği 48 m'dir. Kullanılan boru tipi HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) olup boru dış ve iç çapları sırasıyla 1600 ve 1477,6 mm'dir. Boruların basınç dayanımı 4 bar olup, hesaplanan maksimum ve minimum debiler sırasıyla 4040 l/s ve 280 l/s'dir (Muhammetoğlu vd 2000).

Çizelge 3.2. Arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu konsantrasyonları ve deşarj standartları (ANONİM V, SKKY 2008)

Parametre	Tesis Girişi Atıksu Konsantrasyonu	SKKY’de Atıksu Deşarjına İzin Verilen Konsantrasyonlar	Tesis Çıkışı Deşarj Konsantrasyonu
KOİ (mg/l)	450	400	35-45
BOİ mg/l)	300	250	5-15
AKM (mg/l)	250	350	15-25
Toplam N (mg/l)	40	40	4-7
Toplam P (mg/l)	10	10	1-1.5
pH	6-9	6-9	~ 8

Deşarjın başladığı ilk yıllar için hesaplanan minimum debi 280 l/s’dir. Sistemin deşarj ömrü sonunda hesaplanan maksimum deşarj debisi 4040 l/s’dir (Muhammetoğlu vd 2000). Antalya’nın turistik bir şehir olmasından ileri gelen yaz ve kış nüfusu arasındaki büyük farklılık, debilerin birbirine oranının da oldukça yüksek olmasına sebep olmaktadır. Başlangıç debisinin oldukça küçük bir değere sahip olması birçok işletme problemine sebep olabilecek potansiyele sahiptir. Bunların başında çökme gelmektedir. Boru içindeki çökelmeler zamanla boruların tıkanmasına sebep olabilmektedir. Bu tür olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için çeşitli önlemler alınmıştır. Bunlar;

- Difüzör hattı azalan çaplarla her biri 105 m uzunluğunda olan üç farklı kısımdan oluşturulmuştur. Difüzörün başlangıcından sonuna doğru sırasıyla 1600 mm, 1200 mm ve 800 mm’lik bu kısımlar hız kaybını engellemek amacıyla tasarlanmıştır ve her kısımda toplam 40 delik vardır.
- Difüzör delikleri zaman içinde debi arttıkça açılacaktır. Sistemin işletmeye alındığı ilk yıllarda sadece difüzörün 800 mm çapa sahip olan son kısmındaki 40 deliğin açılması sağlanmıştır. Debi 900 l/s değerine ulaştığında 1200 mm’lik kısımdaki 40 delik ve son olarak debi 1700 l/s değerine ulaştığında da kalan 40 deliğin açılması önerilmiştir.
- İlk yıllarda debi oldukça düşük olduğundan bir yıkama tankı tasarlanmıştır. Bu tankın hacmi 500 m³ olarak düşünülmüştür ve bu tank 30 dk sürede dolabilmektedir. Yıkama yapıldığında boru içerisindeki debi 1000 l/s değerinin üzerine çıkmakta dolayısıyla hız da kritik hız olan 0,5 m/s değerini aşmaktadır.

- Difüzör deliklerine, difüzör içine deniz suyu girişini engellemek amacıyla tek yönlü vanalar takılmıştır. Bu vanalar atıksu debisine göre tek yönlü olarak açılıp kapanabilmektedir (Muhammetoğlu ve Günbak 2000).

3.2. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu bakteriyolojik örnekleme ve analiz çalışmaları

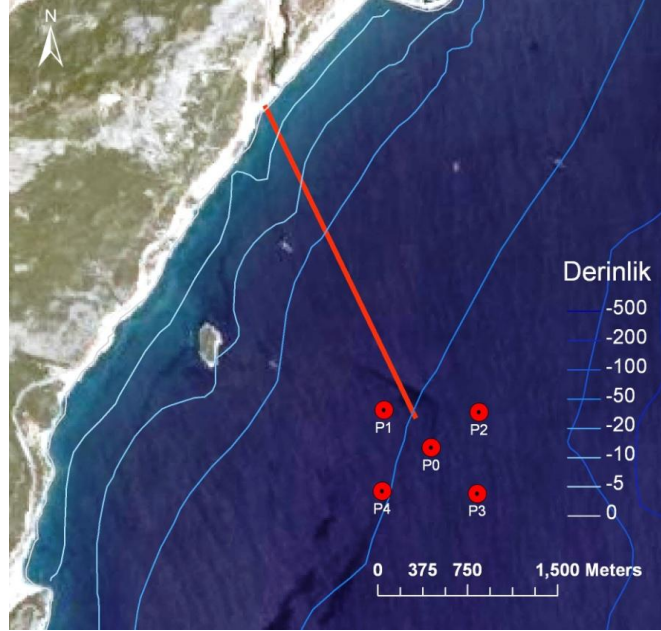
Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu bakteriyolojik karakterinin belirlenmesi amacıyla Ağustos 2008 – Temmuz 2009 tarihleri arasında kapsayacak şekilde haftalık olarak alınan su numunelerinde toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) parametreleri için membran filtre yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizlerde TC ve FC bakterileri için sırasıyla mEndo ve mFC (Sartorius marka tek kullanımlık steril besi yerleri) hazır besi yerli steril petri kutuları kullanılmıştır. Süzme işlemi sonrasında, mEndo petrileri 37 ± 1 °C’de, mFC petrileri ise $44,5\pm 0,5$ °C’de 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucu petrilerde gelişen koloniler sayılarak kaydedilmiştir. Numuneler için farklı oranlarda seyrelme uygulanmıştır.

Bakteriyolojik örnekleme çalışmalarına ek olarak Antalya Büyükşehir Belediyesi, Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü’nden 2008 yılı Ocak ayından 2009 yılı Aralık ayı sonuna kadarki dönem için Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş debisi, tesis giriş ve çıkış suyu kalitesi verileri elde edilmiştir.

3.3. Derinlik Boyunca Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk Değişiminin Belirlenmesi

Deniz deşarj sisteminin deşarj noktası etrafında derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluk değişimlerini belirlemek üzere, bir yıl süre için mevsimlik olarak deniz suyu derinliği boyunca 5 m aralıklarla sıcaklık ve tuzluluk ölçümleri yapılmıştır. Belirtilen ölçümler deniz deşarjı çevresindeki farklı su derinliklerini temsil etmek üzere en fazla 60 m derinliğe kadar gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde mevcut olan ve 60 metre uzunluğunda kablosu bulunan WTW LF 197/LF 597 marka ve model SCT (Salinity-Conductivity-Temperature) metre ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ve örnekleme çalışmaları Antalya Körfezi’nde, deşarj noktası civarında seçilen 5 istasyonda, mevsimsel farklılıkları temsil edecek şekilde

yapılmıştır. Şekil 3.2’de ölçüm istasyonlarının lokasyonları, Çizelge 3.3’de ise istasyonların koordinatları verilmektedir.



Şekil 3.2. Deniz deşarj hattı ve ölçüm istasyonlarının lokasyonları

Çizelge 3.3. Deniz deşarj hattı çevresinde belirlenen ölçüm istasyonlarının koordinatları

İstasyon No	UTM X	UTM Y	Derinlik (m)
P0 (deşarj)	286812	4074829	48
P1	286421	4075143	42
P2	287214	4075124	50
P3	287197	4074446	50
P4	286405	4074466	46

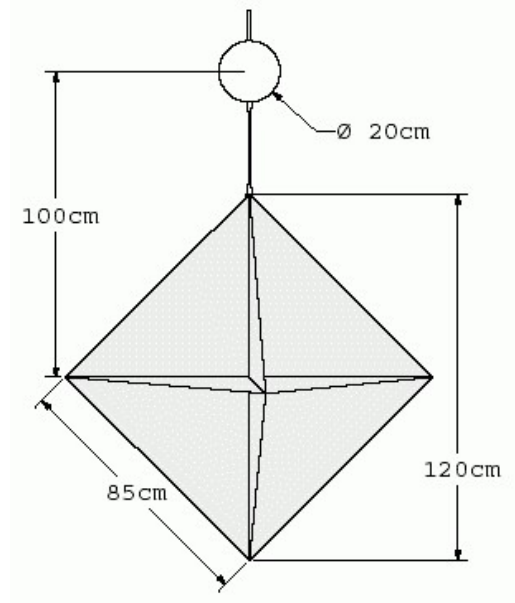
Saha ölçüm çalışmaları sonbahar mevsimini temsilen 24 Ekim 2008, kış mevsimini temsilen 25 Şubat 2009, ilkbahar mevsimini temsilen 13 Mayıs 2009 ve yaz mevsimini temsil etmek üzere 22 Temmuz 2009 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Deniz suyunun yoğunluğu, sıcaklık ve tuzluluk değerleri kullanılarak “US-EPA, Yoğunluk Dönüşüm Tabloları” yardımıyla hesaplanmıştır (US-EPA 1985).

3.4. Derinlik Boyunca Akıntı Hız ve Yönlerinin Tespit Edilmesi

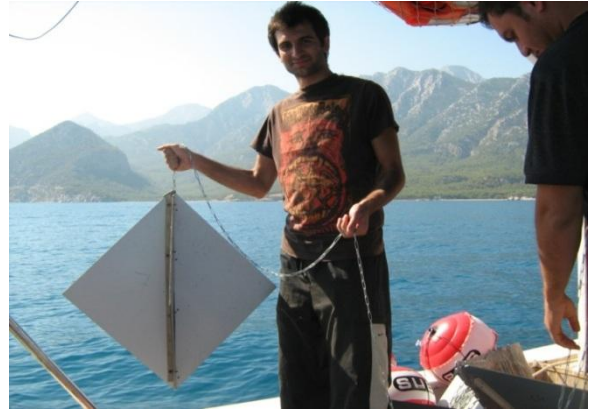
Deniz deşarj sistemi için alıcı ortamda, saha çalışmaları ile dört mevsimdeki akıntı düzenlerinin belirlenmesi ve seçilen farklı nokta ve derinliklerde akıntı paternlerinin

izlenmesi çalışması yapılmıştır. Akıntı düzeni belirleme çalışmaları, TÜBİTAK 107Y184 nolu araştırma projesi kapsamında proje araştırmacıları olan Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Lale Balas, Prof. Dr. Can Balas ve ekibi tarafından koordine edilmiştir. Bu kapsamda Haziran 2008’de, ilk saha çalışması ile uygun lokasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Sonbahar mevsimine yönelik olarak Eylül ve Ekim aylarında iki dönemde saha çalışmaları ile akıntı düzeni belirleme çalışmaları tamamlanmıştır. Kış mevsimi çalışmaları 27 Şubat - 5 Mart 2009, ilkbahar mevsimi çalışmaları 27 Nisan - 1 Mayıs 2009 ve yaz mevsimi çalışmaları 31 Mayıs - 4 Haziran 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

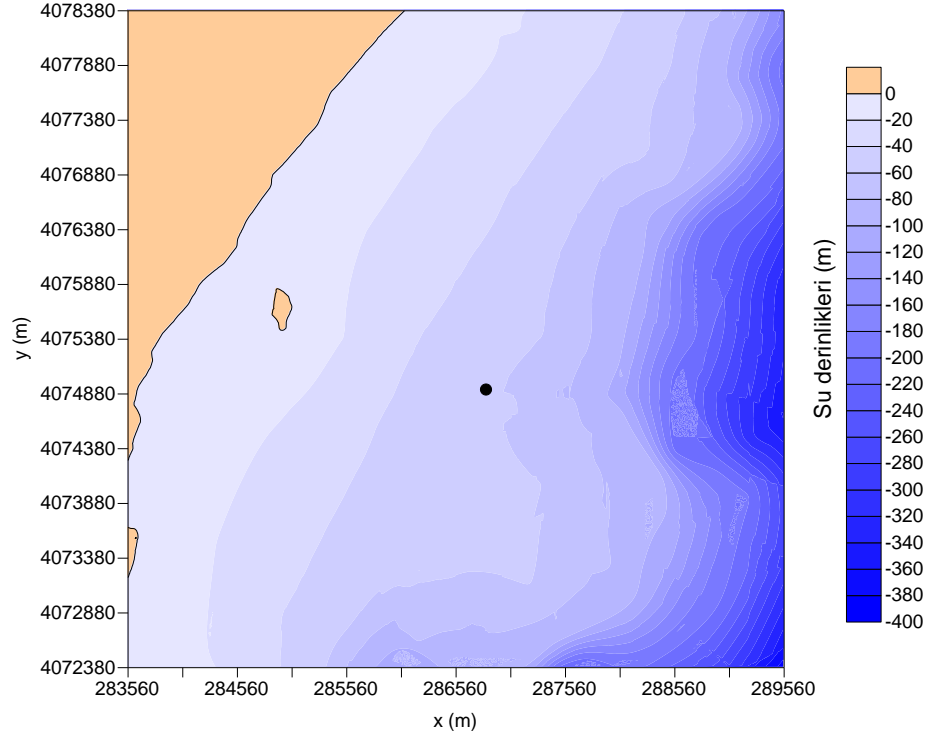
Bölgedeki akıntı düzeninin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen alan çalışmalarında hem Lagrange (akıntı ile aynı hızda sürüklenen yüzeklerin yollarını izleme), hem de Euler yöntemi (bir noktada derinlik boyunca akıntı ölçümü) kullanılmıştır. Lagrange yönteminde, akıntı yönü doğrudan, akıntı hızı ise yolun zamana göre türevi alınarak bulunmaktadır. Kıyasal akıntıların izlediği yol, akıntı ile aynı hızda sürüklendiği varsayılan yüzeklerin, Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System - GPS) kullanılarak izlenmesiyle saptanmıştır. Farklı derinliklerde izlenen yüzeklerin yolları boyunca akıntı hızları hesaplanmıştır. Yüzeklerin kanatlarından ikisi, akıntı yönüne yaklaşık olarak dik konum almakta ve akıntının kanatları itmesiyle, bağlı oldukları deniz yüzeyindeki şamandıra taşınmaktadır. Kanatlar ile şamandıra arasındaki bağlantının uzunluğu ayarlanarak, istenilen derinlikte akıntının ölçülmesi sağlanmaktadır. Farklı derinliklerde kullanılmak amacı ile farklı yüzekler tasarlanmıştır (85x85cm, 35x35 cm). Proje çalışmalarında kullanılan kanatlı yüzekler Şekil 3.3 ve 3.4’de gösterilmiştir (Muhammetoğlu vd 2011). Euler yönteminde, ultrasonik akıntı ölçer (ultrasonic aquadoppler) difüzör çıkış ağzına yakın bir noktaya (UTM koordinatları $x= 286830$, $y=4074920$) yerleştirilerek derinlik boyunca akıntı hızları ölçülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.3. Akıntı ölçümlerinde kullanılan yüzekler (Muhammetoğlu vd 2011)



Şekil 3.4. Akıntı ölçümlerinde kullanılan yüzekler (Muhammetoğlu vd 2011)



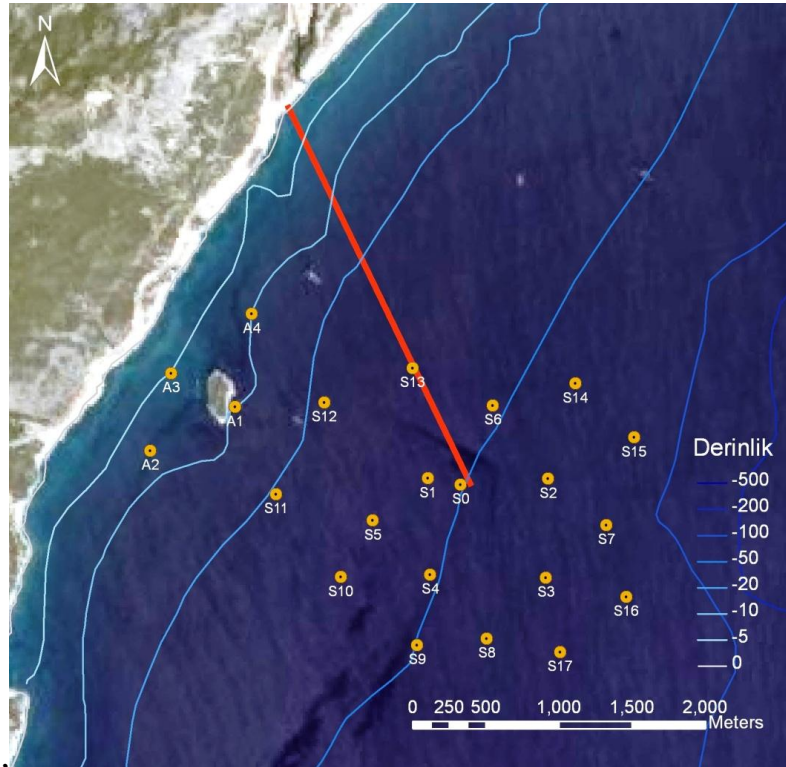
Şekil 3.5. Derinlik boyunca ultrasonik akıntı ölçer ile akıntı ölçülen nokta, ●

3.5.Çalışma Bölgesindeki Bakteriyolojik Su Kalite İzleme Çalışmaları

Antalya Körfezi'nde yürütülen bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları sonbahar mevsiminde 20-24 Ekim 2008 tarihleri arasında, deşarj noktası ve çevresinde belirlenen 22 istasyonda yürütülmüştür. 2008 yılı Ekim ayında, bir hafta boyunca süren bu izleme çalışmasının yürütüldüğü örnekleme istasyonlarının koordinatları ve derinlikleri Çizelge 3.4'te, istasyon lokasyonları Şekil 3.6'da verilmektedir. 2009 yılındaki çalışmalar, kış mevsimi için 17-22 Şubat, ilkbahar mevsimi için 11-13 Mayıs ve yaz mevsimi için 20-22 Temmuz tarihlerinde, deşarj noktası ve çevresinde belirlenen 24 istasyonda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.5 ve Şekil 3.7'de 2009 yılı Şubat, Mayıs ve Temmuz aylarında örnekleme yapılan istasyonların koordinatları, derinlikleri verilmektedir.

Çizelge 3.4. Örneklemeye istasyonlarının koordinatları ve maksimum örneklemeye derinlikleri (Ekim 2008)

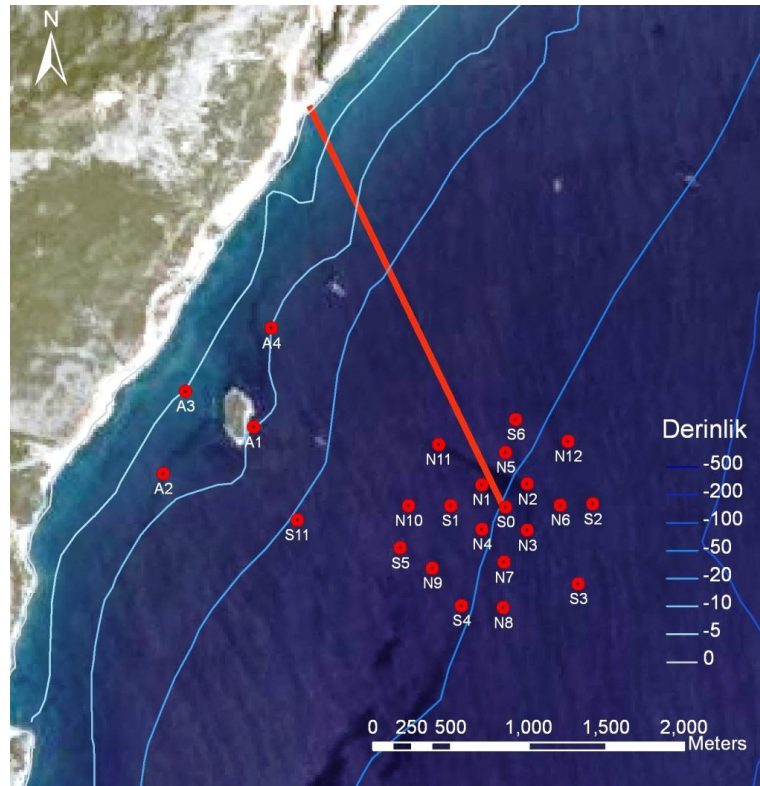
Örneklemeye İstasyonu	UTM X	UTM Y	Maksimum Örneklemeye Derinliği (m)	Örneklemeye İstasyonu	UTM X	UTM Y	Maksimum Örneklemeye Derinliği (m)
S0	286812	4074829	48	S11	285348	4075019	26
S1	286421	4075143	42	S12	285681	4075648	26
S2	287214	4075124	50	S13	286284	4075882	34
S3	287197	4074446	50	S14	287401	4075777	50
S4	286405	4074466	46	S15	287803	4075407	50
S5	286012	4074838	39	S16	287750	4074315	50
S6	286835	4075627	46	S17	287297	4073936	50
S7	287613	4074807	50	A1	285069	4075616	15
S8	286791	4074029	50	A2	284489	4075316	10
S9	286316	4073984	50	A3	284631	4075846	5
S10	285793	4074450	37	A4	285181	4076254	10



Şekil 3.6. Deniz deşarj hattı ve örneklemeye istasyonlarının lokasyonları (Ekim 2008)

Çizelge 3.5. Örnekleme istasyonlarının koordinatları ve maksimum örnekleme derinlikleri (Şubat, Mayıs ve Temmuz 2009)

Örnekleme İstasyonu	UTM X	UTM Y	Maksimum Örnekleme Derinliği (m)	Örnekleme İstasyonu	UTM X	UTM Y	Maksimum Örnekleme Derinliği (m)
S0	286687	4075101	50	N5	286687	4075453	45
S1	286336	4075111	40	N6	287039	4075114	50
S2	287248	4075121	50	N7	286679	4074745	50
S3	287156	4074607	50	N8	286674	4074453	50
S4	286405	4074466	45	N9	286217	4074708	40
S5	286012	4074838	35	N10	286066	4075110	35
S6	286753	4075665	45	N11	286260	4075503	35
S11	285348	4075019	25	N12	287092	4075525	50
N1	286535	4075244	45	A1	285069	4075616	15
N2	286828	4075249	50	A2	284489	4075316	10
N3	286828	4074951	50	A3	284631	4075846	5
N4	286535	4074958	45	A4	285181	4076254	10



Şekil 3.7. Örnekleme istasyonlarının ve deniz deşarj hattının lokasyonları (Şubat, Mayıs ve Temmuz 2009)

Bakteriyolojik su kalitesi izleme çalışmalarında, 2 litre hacmindeki iki adet su numune alma cihazı yardımıyla, örnekleme istasyonlarından derinlik boyunca 5 m aralıklarla deniz suyu numuneleri alınmış (Şekil 3.8 ve 3.9) ve su numuneleri hiç hava almayacak şekilde ikişer adet 300 ml hacimli steril amber renkli şişeler içerisine doldurulmuştur. +4 °C’de saklanan deniz suyu numuneleri, maksimum 4 saat içinde laboratuvara getirilerek membran filtrasyon tekniği kullanılarak TC ve FC analizleri yapılmıştır.

Deniz suyu numunelerinin mikrobiyolojik analizleri için membran filtrasyon yöntemi kullanılmış ve seyrelme işlemi uygulanmamıştır. 0,45 µm delik çapı ve 50 mm filtre çapına sahip steril selüloz nitrat filtre kağıtları, üçlü manifoldlu mikrofiltrasyon setinin filtre aparatlarının kenarlarından sıvı geçmeyecek şekilde yerleştirildikten sonra, 100 ml hacmindeki deniz suyu numuneleri filtre kağıtlarından süzdürülmüştür. Süzme işlemi takiben filtre aparatından alınan filtre kağıtları kontaminasyonu önlemek amacıyla hızlı bir şekilde toplam ve fekal koliform bakterileri için üretilmiş olan mEndo ve mFC hazır besiyerlerine yerleştirilmiştir. Toplam ve fekal koliform besiyerleri sırasıyla 37±1 °C ve 44,5±0,5 °C’de 24 saat boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda besiyerde gelişen koloniler sayılıp deniz suyu numuneleri içindeki bakteri konsantrasyonu CFU/100 ml cinsinden ifade edilmiştir.



Şekil 3.8. Deniz suyu numunelerinin alınmasında kullanılan numune alma cihazları



Şekil 3.9. Saha çalışmalarında kullanılan tekne

3.6. Bakteriyel İnaktivasyon Hızı ve T_{90} Değerinin Laboratuvarda Belirlenmesi

Deniz deşarj sistemleri vasıtasıyla deniz ortamına verilen evsel nitelikli atıksular içerisinde bulunan kirleticilerden halk sağlığı açısından en önemli grup mikrobiyolojik kirleticilerdir (Wood vd 1993) Bu sebeple, dezenfeksiyon uygulanmadan deşarj edilen atıksular için bakteriyolojik kirliliğin deniz ortamında ne kadar sürede bozunacağı oldukça önem kazanmaktadır. (Gameson 1984, 1986).

Literatür araştırmasında ortaya konulduğu gibi, özellikle güneş ışınımı bakteriyel inaktivasyon prosesini etkileyen en önemli parametredir Güneş ışığının yokluğunda, sıcaklık ve tuzluluk bakteriyel inaktivasyon açısından en önemli parametreler haline gelmektedir (Yalçın ve Muhammetoğlu 2011).

Deniz deşarjı ile deşarj edilen atıksular değişik çevresel koşullar altında farklı davranışlarda bulunmaktadır. Yoğunluk tabakalaşmasının varlığı ve yokluğuna göre sırasıyla tutsaklanma ve yüzey tarlası oluşumları söz konusu olabilmektedir. Yüzey tarlası oluşumu durumunda atıksu içerisindeki bakteriler direkt güneş ışığına maruz kalmakta ve hızlı bir biçimde inaktive olmaktadır. Batmış tarla durumunda ise, atıksu tarlası deniz yüzeyinin altında tutsaklanmakta ve tutsaklanma derinliğine bağlı olarak kısmen veya tamamen karanlıkta kalmaktadırlar. Ayrıca deşarj işlemi sürekli bir işlem olduğundan deşarj edilen atıksu yüzey tarlası oluştursa bile gece periyodu boyunca yine karanlıkta kalmaktadır. Bu sebeplerle farklı çevresel şartlar altında bakteriyel

inaktivasyon hızının, dolayısıyla T_{90} parametresinin nasıl değişeceği oldukça önem kazanmaktadır.

Laboratuvar deneylerinde temel amaç yukarıda anlatılan farklı ortam koşullarında T_{90} parametresinin nasıl değişeceğinin belirlenmesi ve modelleme çalışmalarında bakteriyel inaktivasyona bağlı seyrelme tahminlerinin daha hassas bir şekilde yapılması olarak özetlenebilmektedir.

Laboratuvar ortamında genel olarak üç farklı çalışma yürütülmüş olup, bu çalışmaların ilkinde ışıksız ortamda sıcaklık ve tuzluluğun bakteriyel inaktivasyona etkisi incelenmiştir. İkinci çalışmada güneş ışığı etkisi araştırılmış olup, değişik ışık şiddetleri altında bakteriyel inaktivasyon hızının nasıl değiştiğinin belirlenmesine çalışılmıştır. Son olarak sabit ışık şiddeti altında, değişik ışık dalga boylarının bakteriyel inaktivasyona etkisi araştırılmıştır.

3.6.1. Karanlık ortam deneyleri

Deniz ortamında, güneş ışığı penetrasyonu belli bir derinliğe kadar olmakta ve bu derinliğin altı ışıksız bölge olarak kabul görmektedir. Özellikle batmış tarla durumunun mevcut olduğu dönemlerde ve gece koşullarında ışıksız ortam oluşabilmektedir (Yalçın ve Muhammetoğlu 2011). Secchi disk derinliği olarak bilinen derinlik altında ışığın bakteriyel inaktivasyona etkisi ihmal edilebilir düzeylere düşmektedir (Davies-Colley vd 1997, Sinton vd 1999). Yüzeydeki sıcaklığın yüksek olduğu ve rüzgarların nispeten düşük şiddetlerde estiği yaz aylarında yoğunluk tabakalaşması sıklıkla rastlanan bir durumdur (Muhammetoğlu vd 1999, 2001, 2002, 2003). Laboratuvarda karanlık ortam koşullarında gerçekleştirilen deneylerde, yoğunluk tabakalaşması altında, batmış tarla oluşumu sebebiyle güneş ışığı penetrasyon derinliği altında kalan atıksu bulutunda bakteriyel inaktivasyon prosesinin sadece sıcaklık ve tuzluluk etkileri altında hangi hız mertebelerinde meydana geldiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında deniz ortamında yapılan ölçüm çalışmaları sonucunda elde edilen verilerden yola çıkılarak deneylerin hangi sıcaklık ve tuzluluklar için yapılacağı belirlenmiştir. Ölçümlerden elde edilen mevsimsel ortalama yüzey

sıcaklıkları kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için sırasıyla 16, 20, 28 ve 24°C olarak elde edilmiş ve deneyler için belirtilen sıcaklıklar esas alınmıştır. Deniz ortamı ortalama yüzey sıcaklık değerleri 16-28°C aralığında değişirken yüzey tuzluluk değerleri çok daha kararlı olarak elde edilmiş olup yaklaşık olarak 36-39,6 ppt değerleri aralığında değiştiği görülmüştür.

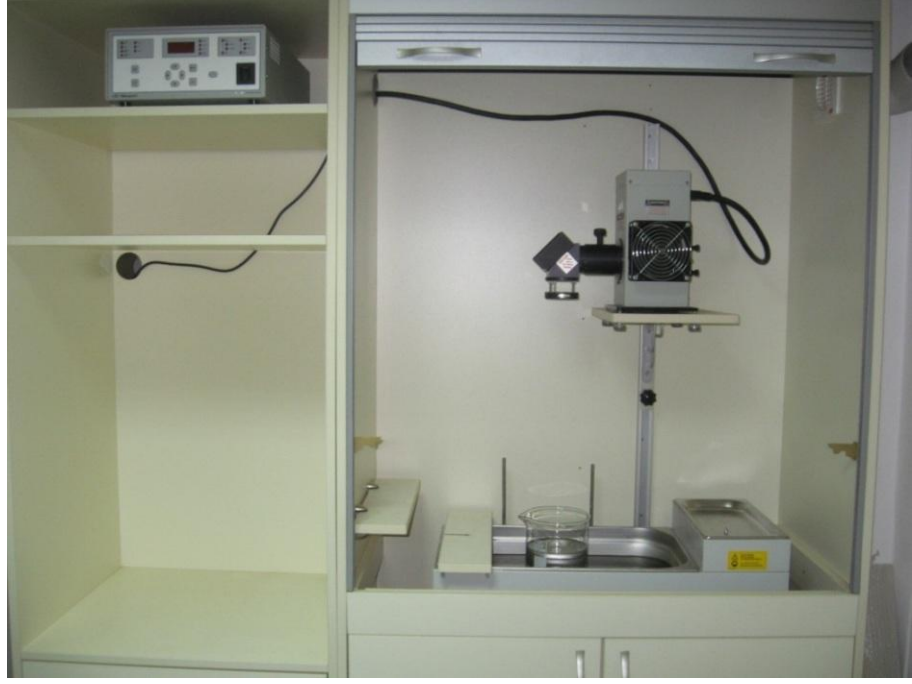
Karanlık ortam deneyleri sonucunda elde edilebilecek sonuçların çalışma bölgesi ile sınırlı olmaması ve farklı tuzluluk değerlerine sahip denizlere de uygulanabilirliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Bu sebeple daha global bir tuzluluk aralığı seçilerek her sıcaklık için 20, 25, 30, 35 ve 40 ppt tuzluluğa sahip örnekler için bakteriyel inaktivasyon deneyleri yapılmıştır. Karanlık ortamda yapılan deneylere ait sıcaklık ve tuzluluk değişkenleri Çizelge 3.6'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.6. Karanlık ortam deneylerinde kullanılan değişken parametreler ve değerleri

Deney No	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (ppt)	Işık Şiddeti (W/m ²)
1	16	20-25-30-35-40	0
2	20	20-25-30-35-40	0
3	24	20-25-30-35-40	0
4	28	20-25-30-35-40	0

Karanlık ortam deneylerinde deney düzeneğine ışık penetrasyonunun engellenmesi amacıyla özel bir laboratuvar kabini dizayn edilmiş ve deneyler bu kabin içerisine yerleştirilen Nüve BS 402 soğutmalı su banyosu kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.10'da kullanılan deney düzeneğinin açık ve kapalı durumuna ait fotoğraflar sunulmaktadır.

Deneyler, Antalya Körfezi'nden alınan deniz suyu örneklerinin, Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundan alınan atıksu ile aşılması ile elde edilen deniz suyu-atıksu karışımları kullanılarak yapılmıştır. Çalışılan her bir sıcaklıkta, 20, 25, 30, 35 ve 40 ppt tuzluluğa sahip bir seri oluşturularak deneylere başlanmıştır. Deneylerde kullanılan deniz suyu numuneleri, belirlenen tuzluluk serisini oluşturmak amacıyla saf su ile seyreltilmiştir. Tuzluluğu farklı her bir numunenin hazırlanması sırasında tuzluluk ölçümleri HACH HQ40d marka ve model SCT metre ile yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.10. Karanlık ortam deneylerinde kullanılan düzeneğin açık (a) ve kapalı (b) durumda çekilmiş fotoğrafları

Oluşturulan farklı tuzluluğa sahip beş adet numune 2 L'lik kapaklı borosilikat cam şişelere alınarak Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundan alınan atıksu ile

1/100 oranında aşılacak suretiyle deneylere başlanmıştır. Aşılamanın hemen ardından karışım sağlanarak başlangıç koşullarını temsil eden numuneler alınmış ve izleyen 48 saat boyunca, 4 saat aralıklarla numuneler alınarak deneye devam edilmiştir. Alınan numuneler, TC, FC ve *E. Coli* için membran filtre yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde TC, FC ve *E. Coli* bakterileri için sırasıyla mEndo, mFC ve ECD (Sartorius marka tek kullanımlık steril besi yerleri) hazır besi yerli petri kutuları kullanılmıştır. Süzme işlemi sonrasında, mEndo ve ECD petrileri 37±1 °C’de, mFC petrileri ise 44,5±0,5 °C’de 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucu petrilerde gelişen koloniler sayılarak kaydedilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar yardımıyla bakteriyel inaktivasyon hızları (k_d) ve T_{90} değerleri birinci derece kinetik kullanılarak hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen T_{90} değerlerinin, çalışılan sıcaklık ve tuzluluk setleri ile birlikte değerlendirilmesi ve T_{90} parametresi ile sıcaklık ve tuzluluk arasındaki ilişkiyi ifade edebilmek amacıyla çoklu lineer regresyon analizleri yapılarak her bir indikatör organizma için T_{90} parametre değerini hesaplayabilen lineer regresyon modelleri geliştirilmiştir.

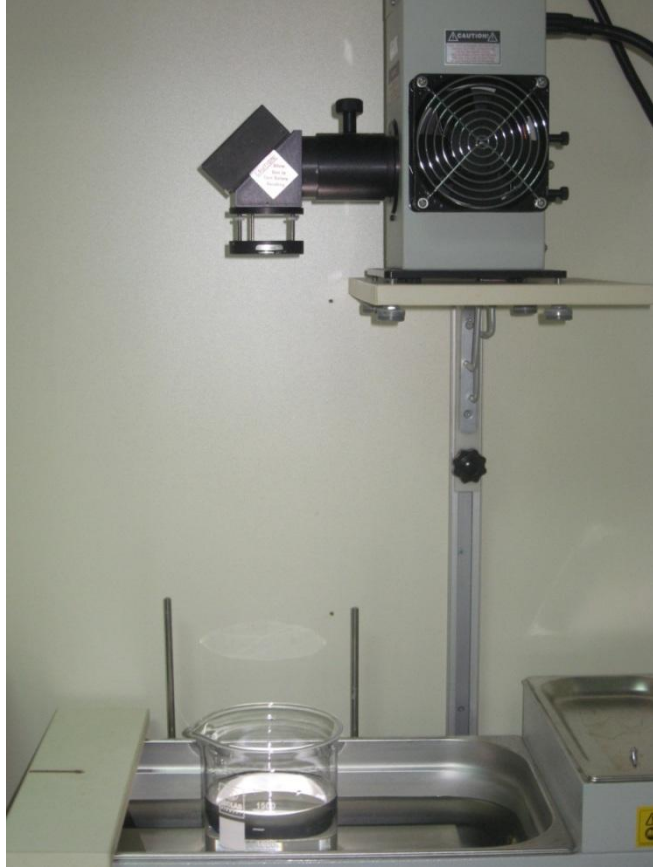
3.6.2. Işıklı ortam deneyleri

3.6.2.1. Değişen ışık şiddetlerinin bakteriyel inaktivasyona etkisi

Işık şiddetinin bakteriyel inaktivasyon hızını nasıl etkilediğini araştırmak amacıyla değişen ışık şiddetleri etkisinde deneyler yapılmıştır. Deneylerde, doğal ışığın simülasyonu için Newport Oriel 150 W Solar Simulator marka ve model güneş simülatörü kullanılmıştır. Güneş ışığının deneyler üzerine etkisini engellemek amacıyla deneysel sistem ışık geçirimi engellenmiş laboratuvar kabini içerisine kurulmuş ve bütün deneyler bu kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği, karanlık ortam deneylerinde kullanılan soğutmalı su banyosuna ilaveten yukarıda bahsedilen güneş simülatörünün eklenmesi ile oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan güneş simülatörü, doğal güneş ışığı spektrumuna oldukça yakın bir spektrumda ışık verme yeteneğine sahiptir. Güneş simülatörü ve deney düzeneğine ait görüntüler Şekiller 3.11 ve 3.12’de verilmektedir.

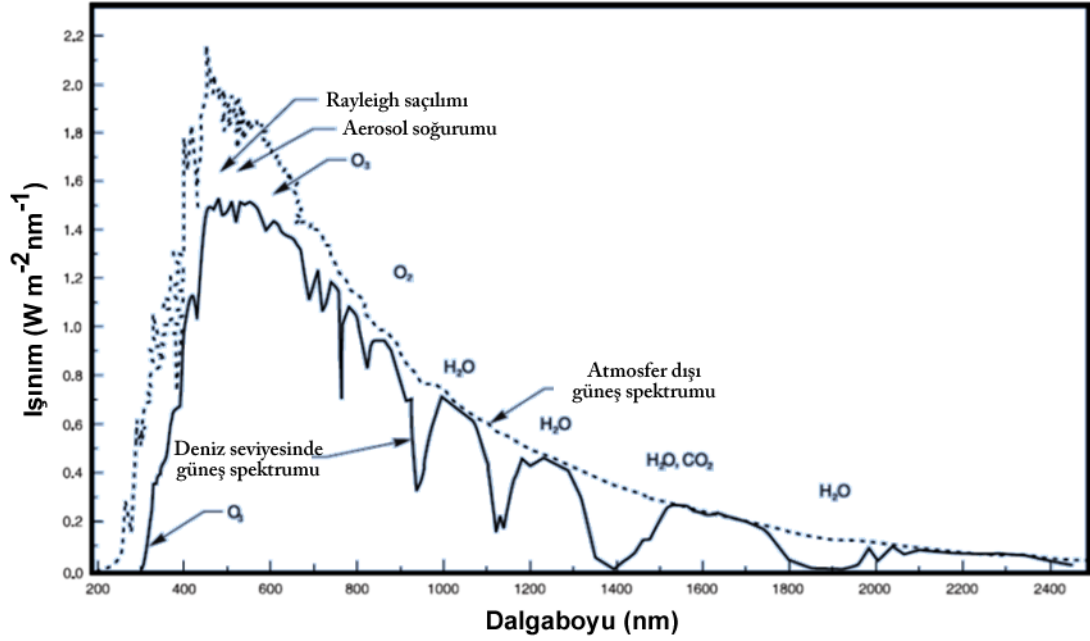


Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan güneş simülatörü

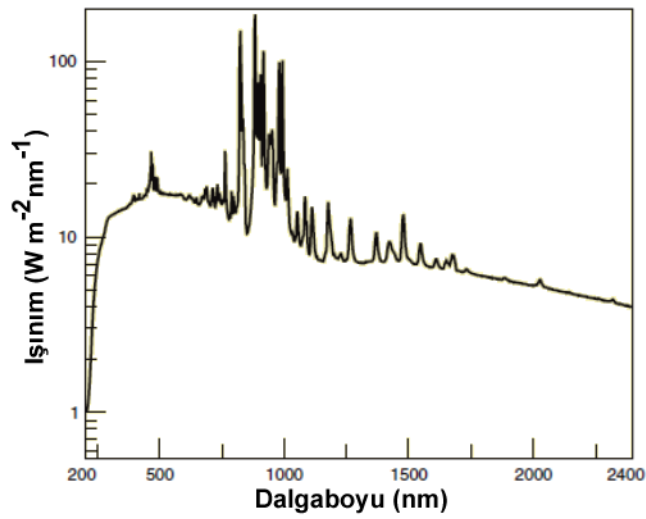


Şekil 3.12. Deneyler sırasında güneş simülatörü çalışırken çekilmiş fotoğraf

Güneş simülatörü çıkışındaki dalgaboyu spektrumu, güneş ışığının atmosfere girmeden önceki spektrumuna benzemekte olup, deniz seviyesindeki ışık spektrumunun elde edilebilmesi için atmosferik ışık sönüm filtrelerinin kullanılması gerekmektedir. Şekiller 3.13 ve 3.14'de sırasıyla ve doğal atmosferik güneş spektrumu ile güneş simülatörü çıkışındaki ışığa ait spektrumlar sunulmaktadır.



Şekil 3.13. Atmosfer dışı (noktalı çizgi) ve deniz seviyesindeki güneş ışığına ait spektrum (ANONİM VII)



Şekil 3.14. Güneş simülatöründen elde edilen toplam atmosferik ışınım spektrumu

Şekil 3.13’de gösterildiği gibi, atmosfer dışı güneş ışık spektrumunda önemli miktarda düşük dalgaboylu UV radyasyonu bulunmaktadır. Söz konusu UV radyasyonunun önemli bir kısmı atmosferde çeşitli mekanizmalar sonucu soğrulmakta ve atmosfere giren en düşük dalga boylu UV radyasyonu yaklaşık 280 nm’de olmaktadır. Şekil 3.14’de verilen güneş simülatörü çıkışındaki ışınım spektrumunda da oldukça önemli miktarda UV radyasyonu bulunmakta, bu sebeple bu ışınım spektrumundaki UV bölgesinin atmosferik güneş ışığı spektrumuna benzeştirilmesi gerekmektedir. Bunun için, güneş simülatör çıkışına, AM0 ve AM1 (atmosferik ışık sönüm filtreleri) filtreler uygulanmış ve simülatör çıkışındaki ışınım sırasıyla önce atmosferik güneş ışınımına, daha sonra da deniz seviyesindeki ışınımına benzeştirilmiştir. AM0 ve AM1 filtreleri ile elde edilen spektrum Şekil 3.15’de verilmektedir. Söz konusu spektrum ölçümü International Light Technologies ILT 900-W marka ve model spektrodadyometre ile yapılmıştır.



Şekil 3.15. Atmosferik filtreler (AM0 ve AM1) sonrası güneş simülatörü spektrumu

Spektral olarak benzeşimi sağlanan ışınımın şiddetinin ayarlanmasında nötral yoğunluk filtreleri kullanılmış, bu sayede istenilen seviyelerde ışık şiddetleri elde edilmiştir. Nötral yoğunluk filtreleri, gelen ışığın dalga boyunu değiştirmeksizin sadece şiddetinin istenilen seviyede azaltılmasında kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan Newport marka nötral yoğunluk filtre setine ait fotoğraf Şekil 3.16’da verilmektedir. Işık şiddetinin ayarlanması sırasında ışık ölçümleri International Light Technologies, ILT 1400 A marka ve model radyometre (Şekil 3.17) kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu radyometrenin ölçüm yaptığı spektral aralık 220-1100 nm’dir.

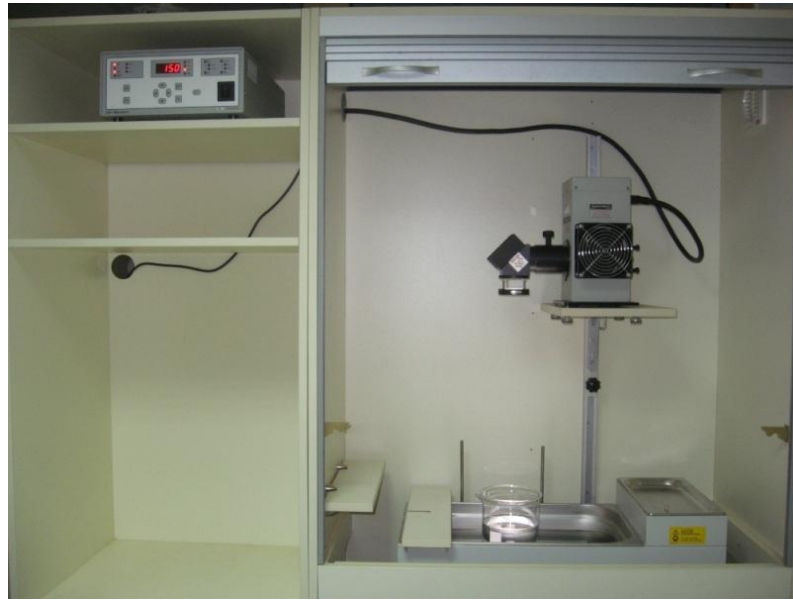


Şekil 3.16. Deneylerde ışık şiddetinin ayarlanması amacıyla kullanılan nötral yoğunluk filtre seti



Şekil 3.17. Deneylerde simüle edilen ışığın şiddetini ölçmek için kullanılan radyometre

Antalya Körfezi'nin bulunduğu enlem ve boylam göz önünde bulundurulduğunda maksimum teorik ışık şiddeti 800 W/m^2 civarında olmaktadır (Yiğit ve Atmaca 2010). Bu sebeple deneylerde kullanılacak maksimum ışık şiddeti 800 W/m^2 olarak seçilmiştir. 800 W/m^2 değerindeki maksimum ışık şiddetine ilaveten 600, 400, 200 ve 100 W/m^2 olmak üzere deneyler toplamda beş farklı ışık şiddeti için yapılmıştır. Deneyler sırasında sıcaklık ve tuzluluk sabit tutulmuş olup, deniz yüzeyindeki mevsimsel ortalama değerler olan $24 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve 38 ppt tuzluluk değerleri kullanılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Deney düzeneği ve güneş simülatörü

Deneylerde, deniz suyunu temsil etmek üzere kullanılan örnek Antalya Körfezi açıklarından alınan deniz suyunun tuzluluğunun 38 ppt'ye ayarlanması ile hazırlanmıştır. Her bir ışık şiddeti deneyi için hazırlanan deniz suyu örneği 2 L'lik beherlere alınarak Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundan alınan atıksu ile 1/100 oranında aşılacak suretiyle deneye başlanmıştır. Aşılamanın hemen ardından karışım sağlanarak, güneş ışığına maruz bırakılmadan önce karışımdan başlangıç koşullarını temsil eden bakteriyolojik numuneler alınmıştır. Örneklem süreleri deneyde kullanılan ışık şiddetine bağlı olarak deneyden deneye değişiklik göstermekle birlikte 10-20 dk arasında değiştirilmiştir. Işıklı deneylerde toplam deney süresi yine ışığın şiddetine bağlı olarak 1-2,5 saat arasında değişmiştir. Alınan numuneler, TC, FC ve *E.coli* için membran filtre yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

3.6.2.2. Farklı ışık dalgaboylarının bakteriyel inaktivasyon hızına etkisi

Değişen ışık şiddetleri için yapılan deneylerde ışık şiddetinin bakteriyel inaktivasyon hızını nasıl değiştirdiğinin araştırılması hedeflenmiştir. 280-2200 nm gibi geniş bir dalga boyu aralığındaki ışınımın bir karışımı olan doğal güneş ışığının hangi dalga boylarında ne ölçüde inaktivasyona katıldığı önceki deneyler ile anlaşılammaktadır. Bu sebeple sabit ışık şiddeti altında, değişik dalgaboyu aralıklarının bakteriyel inaktivasyon prosesini nasıl etkilediğinin araştırılması amacıyla farklı bir seri deney oluşturulmuştur. Deneylerde dalgaboyu filtreleri ile International Light Technologies ILT 900-W marka ve model spektrometre kullanılmıştır. Söz konusu dalgaboyu filtreleri ile spektrometreye ait görüntü Şekil 3.19 ve 3.20’de verilmektedir.



Şekil 3.19. Değişik dalgaboyları için yapılan deneylerde kullanılan dalgaboyu filtreleri

Farklı ışık dalga boylarının bakteriyel inaktivasyon üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla 600 W/m^2 sabit ışık şiddetinde; 400-1000 nm, 280-400 nm (UVB+UVA), 320-400 nm (UVA), 390-480 nm (mavi), 505-575 nm (yeşil), ve 615-730 nm (kırmızı) dalgaboyu aralıkları için deneyler yapılmıştır. Çalışmalarda ışık şiddeti 600 W/m^2 değerine ayarlandıktan sonra dalga boyu filtreleri kullanılarak her deney seti için iki seri olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında ışık şiddetleri International Light Technologies, ILT 1400 A marka ve model radyometre ile ölçülmüş, ışık spektrumları ise International Light Technologies ILT 900-W marka ve model spektrometre yardımıyla denetlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Farklı dalgaboyları için yapılan deneylerde kullanılan spektrometre

Farklı dalgaboyu aralıkları için yapılan deneylerde, bir önceki kısımda kullanılan yöntem aynen uygulanmış, ancak artan dalgaboyları için deney süreleri uzatılmıştır. 400-1000 nm, 505-575 nm (yeşil) ve 615-730 nm (kırmızı) dalgaboyu aralıklarındaki ışınımın düşük enerjisi sebebiyle bakteriyel inaktivasyon prosesinin diğer dalgaboyu aralıklarına göre daha da yavaş ilerleyeceği varsayımından yola çıkarak özellikle bu üç set için deneyler 4 saate kadar uzatılmış olup örnekleme aralığı 40 dk'ya kadar çıkarılmıştır. 280-400 nm (UVB+UVA) ile 320-400 nm (UVA) aralıklarında ise 10-15 dk'lık örnekleme aralıklarında deneyler toplam 1-1,5 sa sürdürülerek sonlandırılmıştır.

Deneylerde deniz suyunu temsil etmek üzere kullanılan numune, Antalya Körfezi açıklarından alınan deniz suyunun tuzluluğunun 38 ppt'ye ayarlanması ile hazırlanmıştır. Her bir ışık şiddeti deneyi için hazırlanan deniz suyu örneği 2 L'lik beherlere alınarak Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundan alınan atıksu ile 1/100 oranında aşılacak suretiyle deneye başlanmıştır. Aşılamanın hemen ardından karışım sağlanarak, güneş ışığına maruz bırakılmadan önce karışımdan başlangıç koşullarını temsil eden bakteriyolojik numuneler alınmıştır. Alınan numuneler, toplam koliform TC, FC ve *E.coli* için membran filtre yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

3.7. Deniz Deşarj Sistemi İçin Seyrelme Değerlerinin Tahmini

3.7.1. Akıntı modellenmesi

Akıntı modellenmesi çalışmaları HİDROTAM-3 (Balas ve Özhan 2000, 2001, 2002, 2003; Balas 2001, 2004; Balas vd 2006) isimli üç boyutlu sayısal hidrodinamik model yardımıyla yapılmıştır. HİDROTAM-3 kıyısal su alanlarında rüzgar, gelgit ya da yoğunluk farklılaşması sebebiyle oluşabilecek akıntıları ve su düzeyi değişimlerini ve bir kirleticinin deniz suyuna bırakılması durumunda yayılmasını ve ilerlemesini, askıda taşınan maddelerin taşınım olaylarını başarıyla benzeştirebilen üç boyutlu sayısal hidrodinamik ve taşınım modelidir. TÜBİTAK 107Y184 nolu araştırma projesi kapsamında, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Lale Balas, Prof. Dr. Can Balas ve ekibi tarafından gerçekleştirilen akıntı çalışmaları sırasında elde edilen veriler ile HİDROTAM-3 modeli Antalya Körfezi'ne uyarlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, HİDROTAM-3 modeli belirlenen mevsimsel koşullar ile anlık rüzgar hızları kullanılarak çalıştırılmış, elde edilen akıntı hızları seyrelme proseslerinin modellenmesi esnasında girdi olarak kullanılmıştır.

3.7.2. Seyrelme proseslerinin modellenmesi

Bakteriyolojik kirlilik örneklemelerinin yapıldığı günler için saatlik rüzgar hızları temin edilip, HİDROTAM-3 modeline aktararak söz konusu günlerde deniz ortamında oluşması beklenen akıntı hız ve yönleri elde edilmiştir. Elde edilen akıntı tahminleri ve

diğer girdi verilerinin Visual Plumes modelinde kullanılması ile atıksu deşarjına yönelik birinci seyrelme tahminleri elde edilmiştir.

Visual Plumes karışım bölgesi modellemesi için geliştirilmiş Windows tabanlı bir yazılım olup DOS-tabanlı PLUMES programının (Baumgartner vd 1994) yerini almıştır. Visual Plumes modeli tabakalı alıcı ortamlardaki tekil ve çoklu deşarj sistemleri için yüzeydeki veya batmış atıksu bulutu hareketi için birinci seyrelme modelleri içermektedir. Model ile tahmin edilen parametreler seyrelme miktarı, bulut yüksekliği ve diğer bulut hareketi değişkenleridir. Uzak alan merkez çizgisi seyrelmesi ve atıksu tarlası genişliği için Brooks algoritması kullanılmaktadır. Modelde yüzey deşarj modeli (PDS), Mancini yaklaşımına dayanan bakteriyel bozunma modeli (Mancini 1978), grafik çıktıları, zaman serisi girişi ve hassasiyet analizi uygulaması, kullanıcının seçebildiği birim özellikleri yer almaktadır. Visual Plumes modelinde beş farklı model kullanılabilir: DKHW, NRFIELD/FRFIELD, UM3, PDSW ve DOS PLUMES (Frick vd 2003). Bu modellere ilişkin temel bilgiler aşağıda sunulmaktadır:

UM3: Tekil ve çoklu delikli deşarj sistemlerinin simülasyonu için geliştirilmiş ve ismini üç boyutlu Updated Merge (UM) modelinden alan programdır. Program Delphi Pascal dilinde yazılmıştır. Tez çalışmaları kapsamında yakın alan (birinci) seyrelme simülasyonları için UM3 modeli kullanılmıştır.

DKHW: Model ismini Windows için geliştirilen Davis, Kannberg, Hirst modelinden almıştır. UM3 modeli gibi DKHW modeli de üç boyutlu bir model olup tekil ve çoklu deşarjlar için bulut hareketini tahmin edebilmektedir. DKHW modeli Fortran dilinde yazılmıştır. Modelde yakın alan teorisi daha detaylı bir şekilde ele alındığından daha uzun işletim süresine sebep olmaktadır. DKHW model teorisi UDKHG and UDKHDEN modellerine bağlı olup *Fundamentals of Environmental Discharge Modeling* (Davis 1999) yayınında detaylı bilgiler verilmektedir.

PDSW: PDSWIN model ismi ile kullanılmakta olup Prych, Davis, Shirazi modelinden Windows için uyarlanmış ve Visual Plumes modeline dahil edilmiştir. PDSWIN yüzey deşarj modeli olan PDS için yeni bir versiyon olup model detayları

Fundamentals of Environmental Discharge Modeling (Davis 1999) yayınında anlatılmaktadır. PDS üç boyutlu bir bulut modeli olup kanallar ve soğutma suyu deşarj sistemleri için kullanımı uygundur. PDSWIN modeli de Fortran dilinde yazılmıştır.

NRFIELD (RSB), tabakalı ortamlarda çok delikli difüzörler için yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle geliştirilmiş ampirik bir modeldir. Modele ilişkin deneysel sonuçlar Roberts vd (1989a, 1989b, 1989c)'ne ait yayınlarda anlatılmaktadır. Belirtilen modelde T-yükselticiler yer almakta olup en az dört delik ile uygulama yapılabilmektedir. Önemli bir model kabulü olarak difüzör yapısı çizgisel bir kaynak olarak kabul edilmektedir.

Atıksu bulutunun yükselmesinin sona ermesiyle birlikte yatayda ilerlemeye başlayan atıksu tarlası, hareketi sırasında türbülanslı karışım sebebiyle yayılım etkisi altında kalır. İkinci seyrelme olarak isimlendirilen bu prosesin modellenmesinde bütün mevsimler için Brooks (1960) tarafından geliştirilen dispersiyon modeli kullanılmıştır. Brooks modeli yataydaki harekete bağlı olarak, türbülans sonucu meydana gelen seyrelmeyi tahmin etmektedir. Modele ait matematiksel ifadeler Eşitlikler 3.1-3.2 ile verilmektedir (Metcalf ve Eddy 1991). Model için önemli girdilerden olan akıntı hızı parametresi gerçek zamanlı olarak HİDROTAM-3 modelinden elde edilerek kullanılmıştır.

$$S_2 = \frac{C_0}{C_t} = \frac{1}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{\left(1 + \left[\frac{8E_y x}{Ub^2}\right]^3\right)^{-1}}} \quad (3.1)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (3.2)$$

S_2 : ikinci seyrelme

C_t : t anındaki maksimum kirletici konsantrasyonu, (mg/l)

C_0 : birinci seyrelmeden sonraki kirletici konsantrasyonu, (mg/l)

$\operatorname{erf}(x)$: x'in hata fonksiyonu

$$E_y = 4,53 \cdot 10^{-4} (b)^{4/3}, \text{ (m}^2/\text{s) (b, metre)}$$

U : akıntı hızı, (m/s)

x : difüzörden uzaklık, (m)

b : etkin difüzör boyu, (m)

İkinci seyrelmeye benzer olarak üçüncü seyrelme veya bakteriyolojik inaktivasyona bağlı seyrelmenin modellenmesi de bütün mevsimlerde aynı yaklaşım kullanılarak yapılmıştır. Bakteriyolojik inaktivasyonun genel olarak birinci dereceden kinetiğe uyduğu kabul edilerek üçüncü seyrelme Eşitlik 3.3'deki şekilde ifade edilmektedir:

$$S_3 = e^{k_d t} \quad (3.3)$$

S_3 = Bakteriyel inaktivasyondan kaynaklanan üçüncü seyrelme

k_d = bakteriyel inaktivasyon hız sabiti, (1/sa)

$t = \frac{x}{V_x}$ = atıksuyun hareket süresi

x = mesafe, (m)

V_x = akıntı hızı

Üçüncü seyrelme için en önemli parametre olan T_{90} parametresi laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen eşitlikler yardımıyla ortam şartları için hesaplanarak kullanılmıştır. Üçüncü seyrelmeyi yine önemli ölçüde etkileyen diğer parametre olan akıntı hızı parametresi ise gerçek zamanlı olarak HİDROTAM-3 modelinden elde edilmiştir.

Yukarıda verilen birinci, ikinci ve üçüncü seyrelme eşitlikleri kullanılarak toplam seyrelme Eşitlik 3.4 ile elde edilmektedir:

$$S_T = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (3.4)$$

3.8. Yönetim Senaryoları Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında, plajlar, kültür balığı çiftlikleri, kıydan uzaktaki rekreasyonel alanlar gibi önemli hedef bölgelerdeki bakteri konsantrasyonu seviyesinin azaltılması için farklı yönetim senaryoları oluşturularak, Antalya Deniz Deşarjı uygulaması için incelemeler yapılmıştır. Senaryo analizi çalışmalarında aşağıda genel tanımları verilen yönetim senaryoları ile model tahminleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır:

- 1981-2006 yıllarına ait 25 yıllık maksimum günlük rüzgar hızı verileri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş ve belirtilen yıllara ait tüm veriler dört mevsim için alt kategorilere ayrılmıştır. Her mevsim için 1981-2006 yıllarına ait maksimum günlük rüzgar verilerinin istatistiksel analizi ile %95 olasılık için rüzgar hızı ve yönleri tespit edilmiştir.
- 1981-2006 yıllarına ait 25 yıllık saatlik ortalama rüzgar hızı verileri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş ve belirtilen yıllara ait tüm veriler dört mevsim için alt kategorilere ayrılmıştır. Her mevsim için 1981-2006 yıllarına ait saatlik ortalama rüzgar verilerinin istatistiksel analizi ile %95 olasılık için rüzgar hızları ve yönleri tespit edilmiştir. Her mevsim için elde edilen rüzgar hızı verileri ile HİDROTAM-3 modelinden akıntı tahminleri elde edilmiş ve elde edilen akıntı hızı verileri ile Visual Plumes yazılımı kullanılarak seyrelme prosesleri ve koliform konsantrasyonları için tahminler elde edilmiştir. Bu çalışmada Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundaki bakteri konsantrasyonlarının farklı arıtma yöntemleri ve verimlilik değerlerine bağlı olarak değişmesi durumu eş zamanlı olarak ele alınmış olup, deniz ortamındaki koliform konsantrasyonlarının nasıl değişeceğini araştırmak amacıyla toplam 20 adet yönetim senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolarda her mevsim için üç farklı başlangıç koliform konsantrasyonu belirlenmiş olup;
 - herhangi bir arıtım yapılmadan atıksuların direkt deniz deşarjına verilmesi
 - ön arıtım sonrası deniz deşarjı uygulaması
 - ileri arıtıma ilaveten dezenfeksiyon sonrası deniz deşarjı durumları senaryolaştırılmıştır.

Belirtilen yönetim senaryolarının seçiminde başka deşarj uygulamaları için de örnek oluşturabilmesine önem verilmiştir. Önerilen yönetim senaryoları ile farklı meteorolojik ve arıtma koşulları altında alıcı ortamdaki TC ve FC seviyelerinin oluşmasına yönelik tahminler elde edilerek yorumlanabilmektedir.

3.9. Belirsizlik Analizi

Deniz deşarj sistemleri ile deşarj edilen atıksular gerek toplanan atıksuyun mahiyeti, gerekse alıcı ortam olan deniz ortamının dinamik yapısı nedeniyle bir takım belirsizliklere sahiptir. Arıtma tesisine günün farklı saatlerinde farklı atıksu debileri iletilmekte, değişen debilerle birlikte atıksu içindeki kirleticilerin de niteliği ve niceliği değişime uğramaktadır. Tez çalışması kapsamında atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularında bir yıl boyunca yapılan mikrobiyolojik analizler sonucunda bakteri konsantrasyonlarının günün farklı saatlerinde önemli miktarlarda değişime uğradığı saptanmıştır. Ayrıca arıtılan atıksuların deşarj edildiği deniz ortamı da oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Özellikle akıntı hız ve yönlerinin meteorolojik şartlara bağlı olarak sürekli değişim içerisinde olduğu deniz ortamında bir yıl boyunca yapılan akıntı ölçümleri sonucunda ortaya konulmuştur. Bu sebeplerden ötürü deniz deşarjlarının tasarım ve işletilmesinde deterministik yöntemlerin yanında stokastik yöntemlerin de kullanılmasının olasılık ve risk değerlendirmesi açısından önemli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında deşarj edilen atıksuların alıcı ortamdaki seyrelme prosesleri ele alındığından, seyrelme prosesleri üzerinde en etkin parametreler olarak bakteriyel inaktivasyon süresini tanımlayan T_{90} değeri, akıntı hızları, deşarj edilen atıksu debisi, deşarj edilen atıksu içindeki koliform bakteri konsantrasyonu gibi önemli giriş parametreleri belirsizlik analizi kapsamında incelenmiştir. Belirsizlik analizi kapsamında incelenen parametrelere ait verilerin bir kısmı yapılan ölçüm ve analizler sonucu elde edilirken, bir kısmı da ilgili kurum ve kuruluşlardan elde edilerek kullanılmıştır. Belirsiz parametrelere ait veri gruplarının istatistiksel dağılımları incelenmiş ve elde edilen istatistiksel dağılımlar Monte Carlo yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Belirsizlik analizi çalışması dört mevsim koşulları için yapılmış olup, her mevsimin kendine özgü karakterine uygun olan matematiksel seyrelme modelleri kullanılmıştır. Arazi ölçümleri sonucunda tam karışım durumunun hakim olduğu sonbahar ve kış mevsimleri için atıksu deşarjına yönelik yakın alan (birinci) seyrelme prosesi Cederwall (1968) tarafından geliştirilen matematiksel model kullanılarak çözümlenmiştir. Cederwall modeli derinlik boyunca üniform yoğunluğun elde edildiği ortamlarda, deniz yüzeyine kadar çıkan atıksuyun uğradığı birinci seyrelmeyi tahmin edebilmektedir. Söz konusu model eşitlikleri, Eşitlikler 3.5-3.7’de verilmektedir.

$$Fr_0 = \frac{u_j}{\sqrt{\left[g \left(\frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} \right) d_p \right]}} \quad (3.5)$$

$$\frac{z}{d_p} > 0,5 Fr_0 \Rightarrow \frac{S_m}{Fr_0} = 0,54 \left(\frac{0,38 z}{Fr_0 d_p} + 0,66 \right)^{1,66} \quad (3.6)$$

$$\frac{z}{d_p} < 0,5 Fr_0 \Rightarrow \frac{S_m}{Fr_0} = 0,54 \left(\frac{z}{d_p Fr_0} \right)^{7/16} \quad (3.7)$$

u_j : jet hızı (m/s)

g : yerçekimi ivmesi (m/s²)

ρ_a : deşarj noktası seviyesinde deniz suyu yoğunluğu (kg/m³)

ρ_o : atıksu yoğunluğu (kg/m³)

d_p : difüzör delik çapı (m)

Fr_0 : jet densimetrik Froude sayısı

z : difüzör delik ekseninden deniz yüzeyine olan mesafe (m)

S_m : minimum birinci seyrelme (boyutsuz)

Yoğunluk tabakalaşmasının gözlemlendiği ilkbahar ve yaz dönemlerinde ise birinci seyrelme tahminleri Roberts vd (1989a, 1989b, 1989c) tarafından geliştirilen modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Yoğunluk tabakalaşmasının hakim olduğu durumlar için

kullanılan model birinci seyrelmeyi ve batmış tarla derinliğini tahmin edebilmektedir. Roberts modeline ait matematiksel ifadeler, Eşitlikler 3.8-3.16'da verilmektedir.

$$q = \frac{Q}{L}; \quad m = u_j q; \quad b = g' q \quad (3.8a,b,c)$$

$$g' = g \left(\frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} \right) \quad (3.9)$$

$$N = \sqrt{\left(-\frac{g}{\rho_a} \frac{d\rho}{dz} \right)} \quad (3.10)$$

$$l_q = \frac{q^2}{m}; \quad l_b = \frac{b^{(1/3)}}{N}; \quad l_m = \frac{m}{b^{(2/3)}} \quad (3.11a,b,c)$$

$$F = \frac{u^3}{b} \quad (3.12)$$

$$\frac{S_m q N}{b^{(2/3)}} = 0,97 \quad (F \leq 0,1) \quad (3.13)$$

$$\frac{Z_e}{l_b} = 2,6; \quad \frac{h_e}{l_b} = 1,8; \quad \frac{Z_m}{l_b} = 1,7 \quad (F \leq 0,1) \quad (3.14)$$

$$\frac{S_m q N}{b^{(2/3)}} = 2,19 F^{(1/6)} - 0,52 \quad (0,1 \leq F \leq 100) \quad (3.15)$$

$$\frac{Z_e}{l_b} = 2,5 F^{(-1/6)}; \quad \frac{Z_m}{l_b} = 1,5 F^{(-1/6)}; \quad h_e = z_e \quad (0,1 \leq F \leq 100) \quad (3.16)$$

q : birim difüzör uzunluğu başına düşen debi ($m^3/m.s$)

Q : toplam debi (m^3/s)

L : difüzör uzunluğu (m)

m : momentum akısı (m^3/s^2)

b : yüzdürme akısı (m^3/s^3)

d : difüzör delik çapı (m)

g' : yoğunlukla düzeltilmiş yerçekimi ivmesi (m/s^2)

N : yüzdürme frekansı

F : deniz ortamına ait Froude sayısı

u : akıntı hızı (m/s)

S_m : minimum birinci seyrelme

Z_e : atıksu tarlasının üst yüzeyinin difüzör ekseninden yüksekliği (m)

h_e : atıksu tarlasının üst yüzeyinin su yüzeyinden derinliği (m)

Z_m : atıksu tarlasının merkezinden difüzör eksenine olan mesafe (m)

İkinci ve üçüncü seyrelmenin analizinde sırasıyla Brooks (1960) tarafından geliştirilen dispersiyon modeli ile birinci derece kinetik eşitliği kullanılmış olup, toplam seyrelme Eşitlik 3.4'den elde edilmiştir.

Belirsizlik analizi çalışmaları kapsamında kullanılan Monte Carlo Simülasyonu ile deşarj edilen atıksular için alıcı ortamdaki seyrelme etkileri ve hedef noktalardaki bakteri konsantrasyonlarının olasılık dağılımının tahmin edilmesi mümkün olmuştur. Belirsizlik parametreleri mevsimsel olarak değerlendirilmiş ve ilgili modelde belirsiz parametreler yerine söz konusu parametrenin istatistiksel dağılımının içinden alınan rastgele değerler ile iterasyonlar yapılarak belirsizlik analizi tamamlanmıştır. Her bir dönem için yapılan belirsizlik analizinde belirsiz parametreler için 100.000 iterasyon yapılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak, belirsizlik analizine dahil edilen parametreler için hassasiyet analizi de yapılmıştır. Belirsizlik analizi kapsamındaki tüm çalışmalar Microsoft EXCEL ve Palisade Risk 5.5 yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.10. Risk Analizi

Risk analizi kapsamında atıksu arıtma tesisi çıkış sularında yaygın olarak bulunan ve indikatör bakteri özelliği ile patojen özelliğini birlikte barındıran bir bakteri türünün halk sağlığı açısından risklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu uygulamada hedefe en uygun bakteri türünün *E.coli* olduğu sonucuna varılmış ve risk analizi belirtilen bakteri

türü için Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

E.coli, insan ve diğer sıcakkanlı hayvanların bağırsaklarında bulunan bir bakteri türüdür. Bu bakteri türünün birçok serotipi patojen özellik göstermezken *E. coli* O157:H7 gibi patojen özellik taşıyan serotipleri de mevcuttur (Haas vd 2000). *E. coli* türü içerisinde bağırsak patojeni olan başlıca beş virotip bulunmaktadır. Bunlar Enterotoksijenik *E.coli* (ETEC), Enteroaderan *E.coli* (EAEC), Enteropatojenik *E.coli* (EPEC), Enteroinvazif *E.coli* (EIEC) ve Enterohemorajik *E.coli* olarak sıralanabilirler (Teunis 1997). *E. Coli*'nin bağırsak patojeni olan virotipleri genellikle gelişmekte olan ülkelerin çoğunda bulunurken, EHEC enfeksiyonları ise başta gelişmiş ülkeler olmak üzere dünyanın pek çok yerinde görülmektedir (Öngen 2006). ETEC grubu *E.coli* yüksek infeksiyöz özellik göstermemekle birlikte salgıladıkları toksinler sebebiyle diyareye sebep olurlar. EPEC virotipleri ETEC grubuna benzer enfeksiyon etkilerine sahiptirler ancak toksin salgısı söz konusu değildir. Bağırsakların absorpsiyon kapasitesini azaltarak sıvı ve mineral kaybına, dolayısıyla diyareye sebep olurlar. EIEC virotipleri kanlı dizanteriye sebep olurlar. Klinik etkileri *Shigella*'ya benzese de daha az infeksiyöz özelliğe sahiptirler. Son olarak EHEC yukarıda bahsedilen virotiplerden çok daha yüksek infeksiyöz özelliklere sahiptir. Shiga benzeri toksinler üreterek kanlı diyareye, dizanteriye ve hemolitik üremik sendroma sebep olabilirler. Bu grubun en iyi bilinen patojen serotipi *E. coli* O157:H7'dir (Teunis 1997).

Patojen özellik gösteren bir mikroorganizmanın hastalık yapma dozları klinik deneyler sonucu belirlenmekte ve bir mikroorganizma türünün popülasyonunun yarısında enfeksiyon geliştirebilmesi için gerekli dozu ED₅₀ olarak tanımlanmaktadır. Bir patojenin hastalık yapma olasılığı genel olarak Beta-Poisson modeliyle tariflenebilmektedir (Haas 1983). Bu model maruziyet, enfeksiyon, hastalık ve ölüm hallerinin koşullu haller olduğunu ve herhangi bir hedef (konak) organizmanın bir patojene maruz kalmadan enfeksiyon gelişmeyeceği kabulünden yola çıkar. Buna ilaveten sağ kalan tek bir patojen organizmanın enfeksiyonu başlatmak için yeterli olduğu ("single-hit" hipotezi) ve konak organizmaya giren her bir patojenin bağımsız olarak enfeksiyon oluşturma potansiyeline sahip olduğu da diğer model kabulleri olarak sıralanabilir (Teunis 1997).

Poisson dağılımına sahip (D) sayıda organizmanın her birinin konak organizmayı enfekte etme olasılığı (p_m) olarak tanımlanırsa, konak organizmanın enfekte olma olasılığı (p_i) Eşitlik 3.17 ile hesaplanabilir (Strachan vd 2005).

$$p_i = 1 - e^{-p_m D} \quad (3.17)$$

Konak organizmaya giren ve sağ kalan her bir patojenin enfeksiyona neden olma olasılığının eşit olamayacağından yola çıkılarak bu olasılıkların Beta dağılım ile ifade edilebileceği sonucuna varılmıştır (Haas 1983, Haas vd 1993). Bu şekilde konak organizmanın enfekte olma olasılığını tanımlayan Beta-Poisson modeli elde edilmektedir. Beta dağılımı parametreleri olan α ve β 'nin $\beta \gg 1$ ve $\alpha \ll \beta$ olması durumunda Beta-Poisson modeli Eşitlik 3.18'deki şekilde basitleştirilebilmektedir (Strachan vd 2005).

$$p_i = 1 - \left[1 + \frac{D}{\beta}\right]^{-\alpha} \quad (\beta \gg 1 \text{ ve } \alpha \ll \beta \text{ için}) \quad (3.18)$$

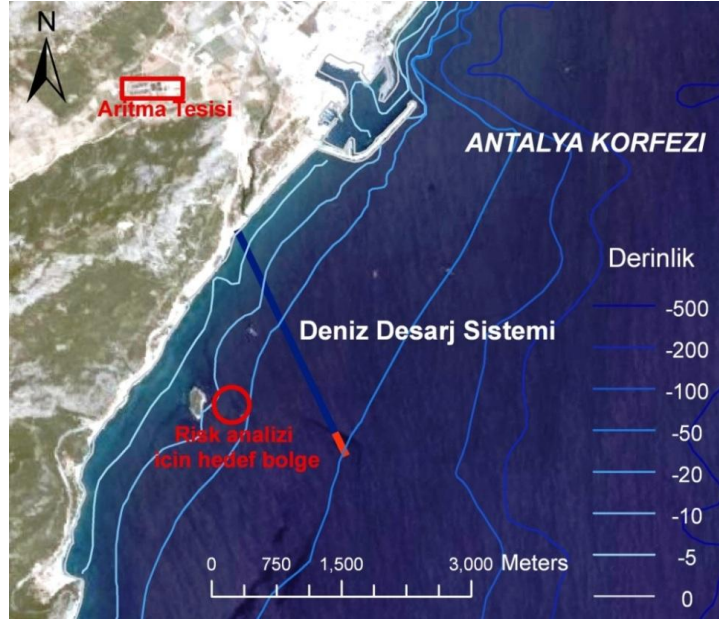
Tez çalışması kapsamında yapılan risk analizi için hedef organizma Enteropatojenik *E. coli* (EPEC) olarak seçilmiş ve *E. coli*'nin bu virotipi için beta dağılım parametreleri (α , β) literatürden elde edilmiştir. Bu kapsamda Enteropatojenik *E. coli* (EPEC) virotipi için beta dağılım parametreleri α ve β sırasıyla 0,221 ve $3,11 \times 10^6$ olarak alınmıştır (Strachan vd 2005).

Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkışı suyundaki *E.coli* bakteri konsantrasyonları çalışma kapsamında izlenmediği için çıkış suyundaki *E.coli* bakteri konsantrasyonlarının elde edilmesi için laboratuvar ortamında yapılan T_{90} denemelerinden elde edilen sonuçlardan faydalanılmıştır (Yalçın ve Muhammetoğlu 2011).

Laboratuvar ortamında yapılan T_{90} süresinin tespit edilmesine yönelik deneylerde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundan alınan numuneler için TC, FC ve *E.coli* sayıları analiz edilmiş olup bu verilerle deşarj edilen atıksudaki fekal koliform konsantrasyonları ile *E. coli* konsantrasyonları arasında kuvvetli bir korelasyon bulunmuş, bu korelasyondan yola çıkılarak elde edilen çıkış suyu *E.coli*

konsantrasyonları risk analizi kapsamında kullanılmıştır.

Risk analizi için hedef bölge, özellikle turizm sezonunda gezi teknelerinin rekreasyon amacıyla sıkça kullandığı Sıçan Adası bölgesi olarak seçilmiştir. Söz konusu bölge, deşarj noktasının yaklaşık 1500 m kuzey batısında bulunmaktadır. Şekil 3.21’de deşarj hattı ve söz konusu hedef bölgeyi gösteren harita verilmektedir.



Şekil 3.21. Deşarj hattı ve risk analizi için seçilen hedef bölge

Belirtilen hedef bölge için Monte Carlo Simülasyonu ile Bölüm 3.9’da anlatılan yöntem kullanılarak belirsizlik analizi yapılmış, seyrelmeler sonucu deniz ortamında kalması beklenen *E.coli* bakterilerinin olasılık dağılımları elde edilmiştir. Bu olasılık dağılımları Beta-Poisson modelinde girdi olarak kullanılmış ve yine Monte Carlo Simülasyonu ile inceleme bölgesinde Enteropatojenik *E.coli* açısından halk sağlığı riskleri hesaplanmıştır. Risk analizi dört mevsim için ve her mevsimde iki farklı koşulu temsil etmek üzere yapılmıştır. Bu koşullardan birincisi atıksuların Hurma Atıksu Arıtma Tesisi’ndeki mevcut standart arıtım sonrası deşarj edilmesi durumu, diğeri ise atıksu arıtma tesisinin herhangi bir sebeple devre dışı kalması sonucu atıksuyun arıtılmadan deşarj edilmesi durumudur. Her iki durumda da toplam seyrelme sonucunda deniz ortamında kalan *E. coli* bakterilerinin halk sağlığı açısından oluşturacağı riskler araştırılmıştır.

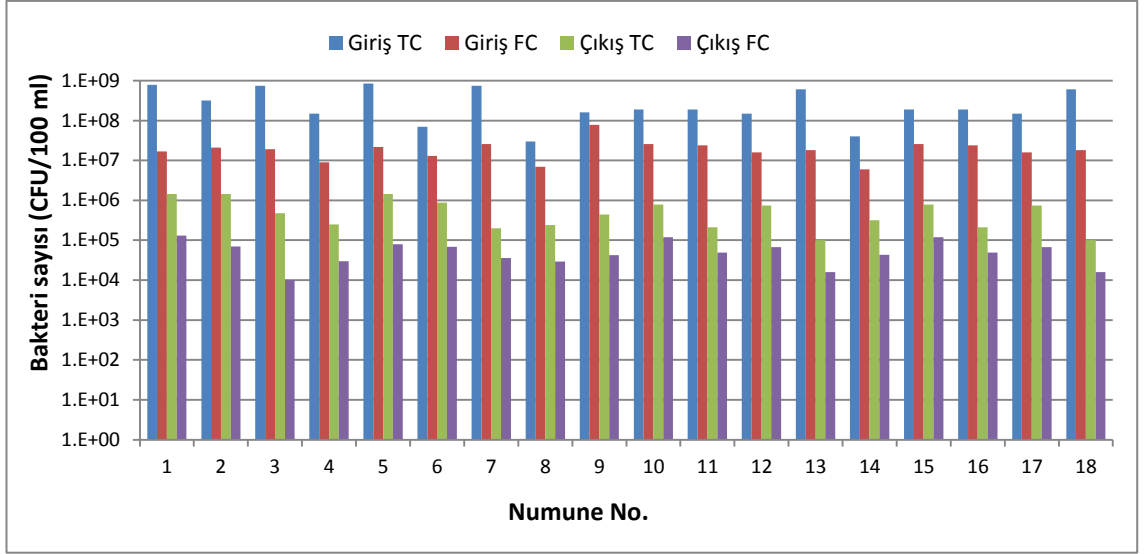
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, Bölüm 3'te tanımlanan materyal ve yöntemlerin uygulanması ile elde edilen sonuçlar tartışmalarıyla birlikte sunulmaktadır. Çalışmalar genel olarak, arazi çalışmaları, laboratuvar deneyleri, modelleme çalışmaları, belirsizlik ve risk analizlerinden oluşmaktadır.

4.1. Atıksu Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış Suyu Örnekleme ve Analizleri

Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu bakteriyolojik karakteristiğinin belirlenmesi amacıyla Ağustos 2008 tarihi itibarıyla örnekleme ve analiz çalışmaları başlatılmış olup, çalışmalara dört mevsimi temsil etmek amacıyla bir yıl boyunca devam edilerek Ağustos 2009 tarihinde son verilmiştir. Örnekleme çalışmaları haftada en az bir kere olmak üzere günün değişik saatlerinde yapılmış, bu kapsamda tesis giriş ve çıkışından alınan bakteriyolojik numuler laboratuvarda analiz edilmiştir. Çalışmalar sonucunda atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularında bulunan TC ve FC bakteri sayıları elde edilmiştir.

Sonbahar mevsimini temsil eden örnekleme periyodu Eylül – Kasım 2008 tarihleri olarak kabul edilmiş olup, bu süre zarfında tesis giriş ve çıkış suları 18 kez örneklenerek analiz edilmiştir. Bakteriyolojik analiz sonuçları Şekil 4.1'de verilmektedir. Sonbahar mevsiminde tesis girişindeki TC sayısı 3×10^7 ile $8,4 \times 10^8$ CFU/100 ml aralığında değişim gösterirken ortalama TC konsantrasyonu $3,43 \times 10^8$ CFU/100 ml olarak elde edilmiştir. Çıkış suyu için TC bakteri konsantrasyonu 1×10^5 ile $1,44 \times 10^6$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş, ortalama TC konsantrasyonu da $5,99 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen diğer indikatör organizma olan FC konsantrasyonunun tesis girişinde 6×10^6 – $7,8 \times 10^7$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş olup, giriş suyunda ortalama FC konsantrasyonu $2,14 \times 10^7$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır. Tesis çıkışı suyunda FC değişim aralığı 1×10^4 – $1,3 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak elde edilmiş, ortalama FC konsantrasyonu ise $5,78 \times 10^4$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.

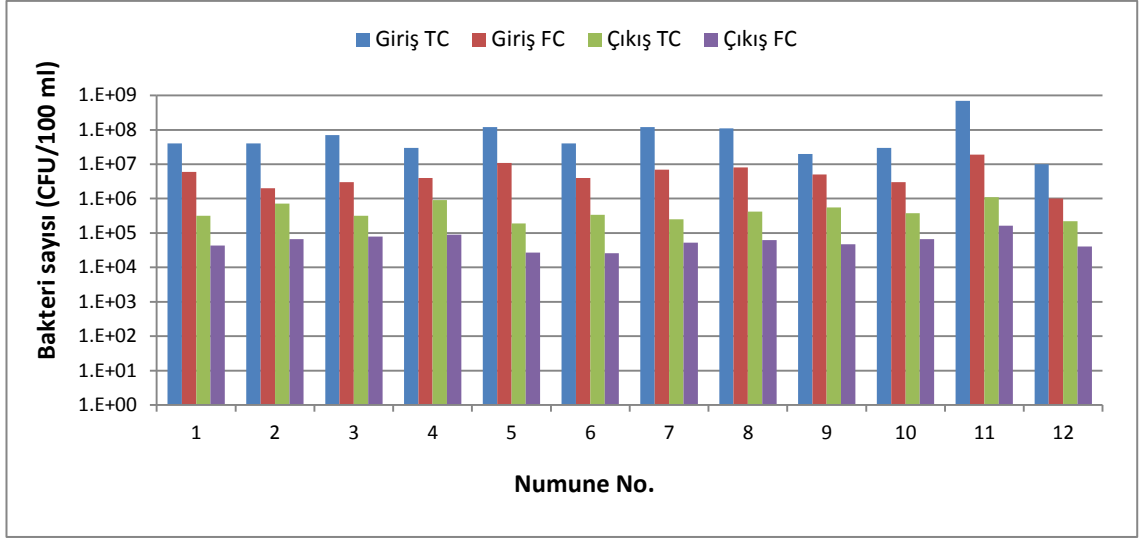


Şekil 4.1. Sonbahar mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları

Kış mevsimini temsil eden örnekleme periyodu Aralık 2008 – Şubat 2008 tarihleri olarak kabul edilmiş olup, bu süre zarfında tesis giriş ve çıkış suları 12 kez örneklendirilerek analiz edilmiştir. Bakteriolojik analiz sonuçları Şekil 4.2’de verilmektedir.

Kış mevsiminde tesis girişindeki toplam koliform (TC) sayısı 1×10^7 ile 7×10^8 CFU/100 ml aralığında değişim gösterirken ortalama TC konsantrasyonu $1,11 \times 10^8$ CFU/100 ml olarak elde edilmiştir. Çıkış suyu için ise TC bakteri konsantrasyonu $1,9 \times 10^5$ ile $1,11 \times 10^6$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş, ortalama TC konsantrasyonu da $4,78 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen diğer indikatör organizma olan fekal koliform (FC) konsantrasyonunun tesis girişinde 10^6 – $1,9 \times 10^7$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş olup, giriş suyunda ortalama FC konsantrasyonu $6,08 \times 10^6$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır. Tesis çıkış suyunda FC değişim aralığı $2,6 \times 10^4$ – $1,62 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak elde edilmiş, ortalama FC konsantrasyonu ise $6,34 \times 10^4$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.

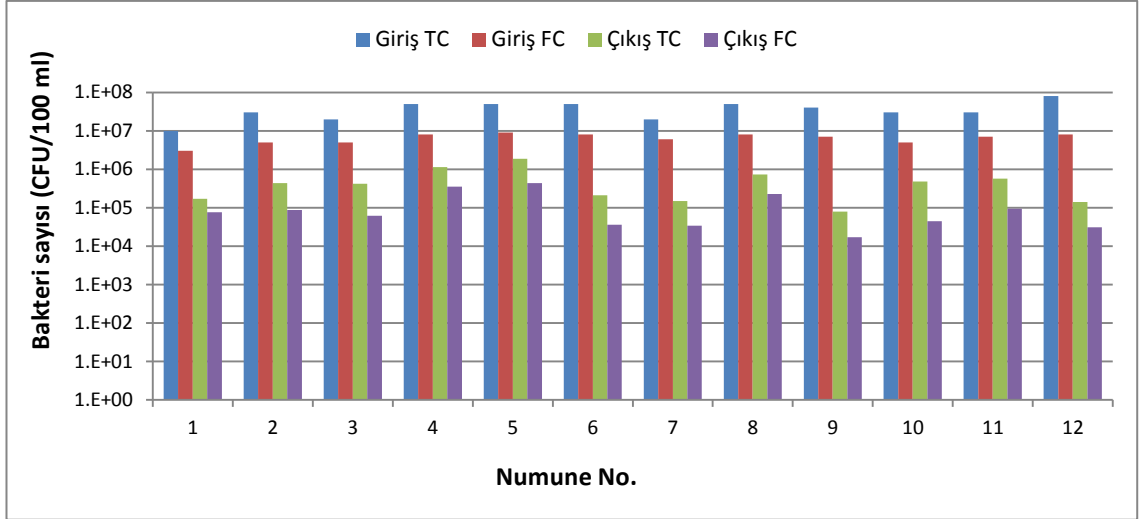


Şekil 4.2. Kış mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları

İlkbahar mevsimini temsil eden örnekleme periyodu Mart – Mayıs 2009 tarihleri olarak kabul edilmiş olup, bu süre zarfında tesis giriş ve çıkış suları 12 kez örneklenecek analiz edilmiştir. Bakteriyolojik analiz sonuçları Şekil 4.3’de verilmektedir.

İlkbahar mevsiminde tesis girişindeki toplam koliform (TC) sayısı 10^7 ile 8×10^7 CFU/100 ml aralığında değişim gösterirken ortalama TC konsantrasyonu $3,83 \times 10^7$ CFU/100 ml olarak elde edilmiştir. Çıkış suyu için ise TC bakteri konsantrasyonunun 8×10^4 ile $1,86 \times 10^6$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş, ortalama TC konsantrasyonu da $5,33 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen diğer indikatör organizma olan fekal koliform (FC) konsantrasyonunun tesis girişinde 3×10^6 – 9×10^6 CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş olup, giriş suyunda ortalama FC konsantrasyonu $6,58 \times 10^6$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır. Tesis çıkış suyunda FC değişim aralığı $1,7 \times 10^4$ – $4,33 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak elde edilmiş, ortalama FC konsantrasyonu ise $1,25 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.

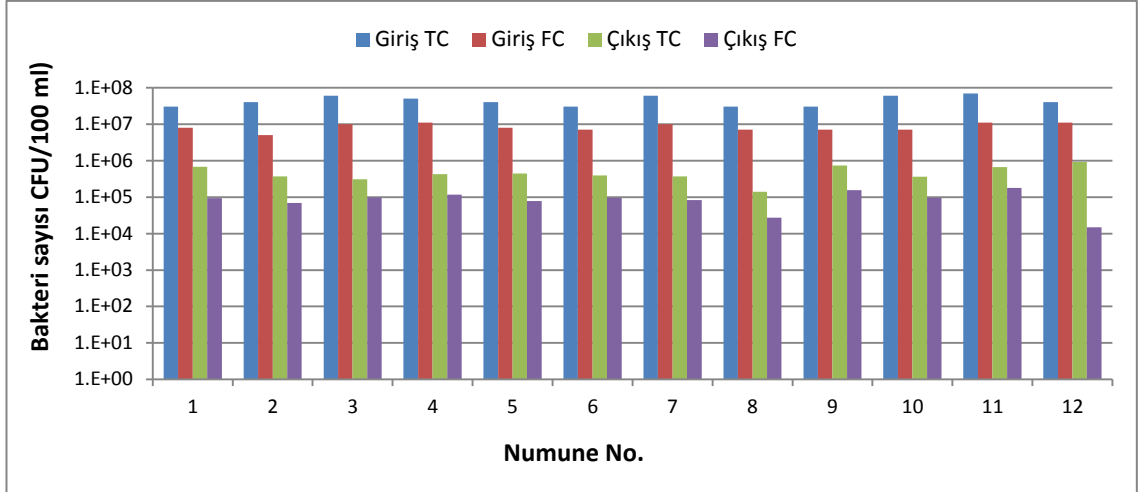


Şekil 4.3. İlkbahar mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları

Yaz mevsimini temsil eden örnekleme periyodu Haziran – Ağustos 2009 tarihleri olarak kabul edilmiş olup, bu süre zarfında tesis giriş ve çıkış suları 12 kez örneklenerek analiz edilmiştir. Bakteriyolojik analiz sonuçları Şekil 4.4’de verilmektedir.

Yaz mevsiminde tesis girişindeki toplam koliform (TC) sayısı 3×10^7 ile 7×10^7 CFU/100 ml aralığında değişim gösterirken ortalama TC konsantrasyonu $4,5 \times 10^7$ CFU/100 ml olarak elde edilmiştir. Çıkış suyu için ise TC bakteri konsantrasyonunun $1,4 \times 10^5$ ile $9,2 \times 10^5$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş, ortalama TC konsantrasyonu da $4,85 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.

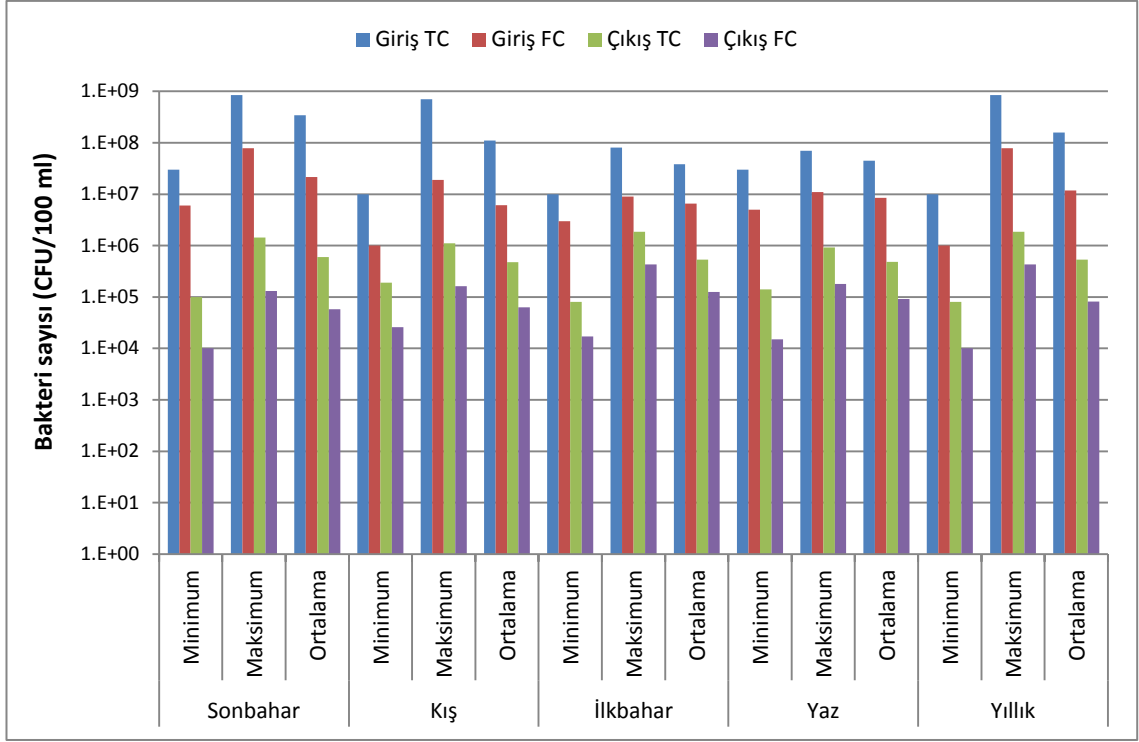
Çalışma kapsamında incelenen diğer indikatör organizma olan fekal koliform (FC) konsantrasyonunun tesis girişinde 5×10^6 – $1,1 \times 10^7$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiş olup, giriş suyunda ortalama FC konsantrasyonu $8,5 \times 10^6$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır. Tesis çıkış suyunda FC değişim aralığı $1,5 \times 10^4$ – $1,79 \times 10^5$ CFU/100 ml olarak elde edilmiş, ortalama FC konsantrasyonu ise $9,21 \times 10^4$ CFU/100 ml olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Yaz mevsiminde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için elde edilen toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) analiz sonuçları

Yıl boyunca yapılan analizlerin mevsimsel ve yıllık maksimum, minimum ve ortalama değerleri Şekil 4.5'te verilmektedir. Şekilden görülebileceği üzere, mevsimler arasında giriş ve çıkış suyu indikatör bakteri konsantrasyonları merteye olarak birbirine yakınlık göstermekle birlikte giriş ve çıkış suyu arasındaki değişim dikkat çekmektedir. Hurma Atıksu Arıtma Tesisinde uygulanan arıtma prosesi uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi olup, literatürde bakteri giderimi en yüksek olan biyolojik arıtım prosesi olarak bilinmektedir (Henze vd 2008). Giriş ve çıkış sularının analiz sonuçları incelendiğinde bakteri konsantrasyonlarında 10^2 mertebesinde bir giderim söz konusu olduğu ve tesisin bakteri giderim veriminin % 99 civarında olduğu görülmektedir. Bu da deşarj edilen atıksuyun bakteri konsantrasyonunun literatürde kabul edilen 10^8 CFU/100 ml değerinin (Henze vd 2008) 100 kat altında bir başlangıç bakteri konsantrasyonu anlamına gelmektedir.

Mevsimlik analiz sonuçları kendi aralarında değerlendirildiğinde, giriş suyunda, sonbahar ve kış mevsimlerinde diğer iki mevsime kıyasla daha yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanmaktadır. Şekil 4.5 incelendiğinde, mevsimsel maksimumların sonbahar ve kış mevsimlerinde 10^8 mertebesinde olduğu görülürken, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde bu mertebenin 10^7 seviyesine düştüğü görülmektedir. Bunun sebebinin genel olarak artan sıcaklık olduğu, yükselen sıcaklıkla birlikte artan bakteriyel inaktivasyon hızlarıyla tesis giriş suyunda bakteri konsantrasyonunun azaldığı düşünülmektedir.



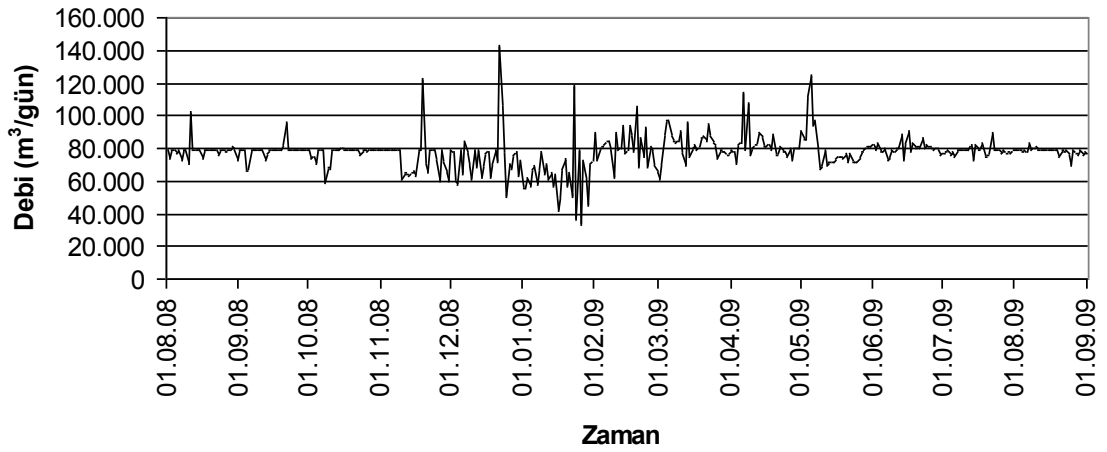
Şekil 4.5. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu için mevsimsel ve yıllık maksimum, minimum ve ortalama bakteri konsantrasyonları

Bakteriyolojik örnekleme ve analiz çalışmalarına ek olarak atıksu arıtma tesisi debileri de çalışma dönemi olan Ağustos 2008–Ağustos 2009 aralığı için Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş debi değerleri ilgili kurumdan günlük bazda elde edilmiş, bu debiler de dört mevsimi temsil edecek şekilde sınıflandırılarak kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de ortalama mevsimlik tesis giriş debileri sunulmaktadır.

Çizelge 4.1. Mevsimlik ortalama tesis giriş debileri

	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Ortalama Debi (m ³ /s)	0,91	0,96	0,85	0,94

Tesis giriş debisinin bir yıl boyunca değişimi Şekil 4.6’da verilmektedir. Özellikle yağışlara bağlı olarak kış aylarında önemli miktarlarda salınım gösteren tesis giriş debisi diğer mevsimlerde, özellikle de yaz mevsiminde oldukça kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.6. Ağustos 2008 – Ağustos 2009 dönemi için Hurma Atıksu Arıtma Tesisi günlük giriş debileri

4.2. Deniz Araştırmaları

Bu bölümde, modelleme çalışmaları için gerekli verinin elde edilmesine yönelik deniz ortamında yapılan ölçüm, örnekleme ve analiz sonuçları sunulmaktadır. Deniz ortamında yürütülen çalışmalar genel olarak üç ayrı başlık altında sunulacak olup, bunların ilki derinlik boyunca tuzluluk ve sıcaklığın belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların sonuçlarından oluşurken, ikinci başlık altında akıntı ölçümleri sunulacak olup, son olarak da deniz ortamında deşarj kaynaklı bakteriyolojik kirliliğin araştırıldığı örnekleme çalışmalarının sonuçları sunulacaktır.

4.2.1. Derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluğun belirlenmesi

Sıcaklık ve tuzluluk parametrelerinin ölçümleri her bir mevsimi temsil üzere çalışma dönemi boyunca toplam 4 defa tekrarlanmıştır. Söz konusu parametrelerin belirlenmesine yönelik ölçüm çalışmalarında derinlik boyunca sıcaklık ve tuzluluk değerleri 5 farklı isatasyonda 50 m'ye kadar 5 m aralıklarla ölçülmüştür. Çalışmalar sırasında, su ortamında maksimum ışık penetrasyon derinliğini ifade eden Secchi disk derinliği ölçümleri de yapılmıştır. Sıcaklık ve tuzluluk parametrelerinin ölçüm sonuçları ile hesaplanan derinlik boyunca yoğunluk değerleri de sunulmaktadır.

4.2.1.1. Sıcaklık

Sonbahar mevsimini temsilen 24 Ekim 2008 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresi derinlik boyunca genellikle sabit olup 24,00-24,40 °C arasında değişim göstermiştir. Derinlik boyunca ortalama sıcaklık değeri ise 24,38 °C olarak belirlenmiştir.

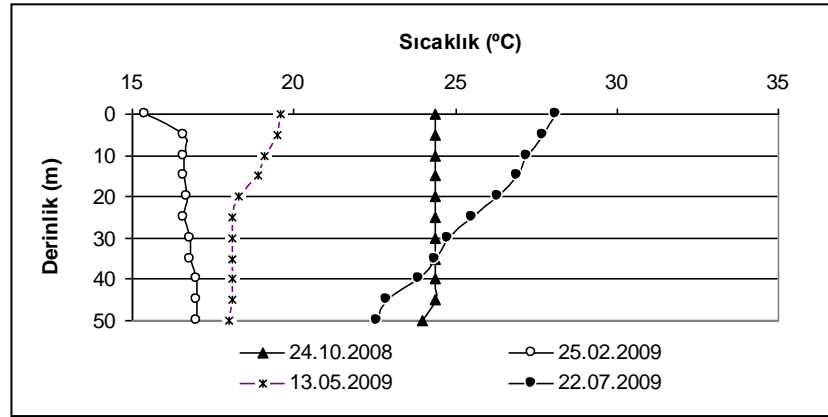
Kış mevsimini temsilen 25 Şubat 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresi derinlik boyunca artmaktadır. Özellikle 0-5 metre derinlikleri arasında sıcaklık değişimi gözlenmiştir. Bununla beraber deniz yüzeyi ile derinlikleri arasındaki sıcaklık değerleri 15,40-17,00 °C arasında değişim göstermiş olup derinlik boyunca ortalama sıcaklık değeri ise 16,65 °C olarak belirlenmiştir.

İlkbahar mevsimini temsilen 13 Mayıs 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresinin derinlik boyunca azaldığı gözlenmiştir. Deniz yüzeyi ile derinlikleri arasındaki sıcaklık değerleri 18,00-19,60 °C aralığında ölçülmüş ve derinlik boyunca ortalama sıcaklık değeri ise 18,54 °C olarak belirlenmiştir.

Yaz mevsimini temsilen 22 Temmuz 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresinin derinlik boyunca sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerine göre çok daha fazla değişim göstererek, artan derinlikle beraber sıcaklığın azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Sıcaklık değerleri 22,60-28,10 °C arasında değişim göstermiştir. Derinlik boyunca ortalama sıcaklık değeri ise 25,48 °C olarak belirlenmiştir.

Bir yıllık ölçüm çalışmaları sonucunda en düşük deniz suyu sıcaklıkları kış mevsiminde gözlenirken, en yüksek deniz sıcaklıkları yaz mevsiminde belirlenmiştir. Ölçüm çalışmalarının gerçekleştirildiği tüm mevsimlerde deniz suyu sıcaklığının mevsim koşulları göz önünde bulundurularak hava sıcaklığı ile paralellik gösterdiği görülmüştür. Şekil 4.7'de sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sıcaklığın

derinlikle değişimine yer verilmektedir.



Şekil 4.7. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sıcaklığın derinlikle değişimi

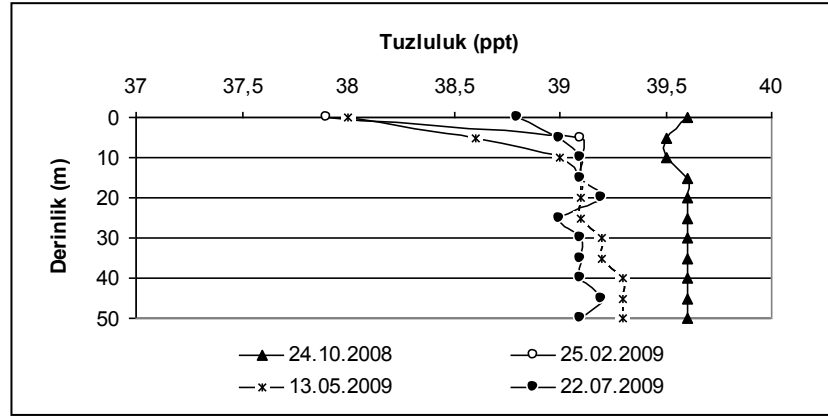
4.2.1.2. Tuzluluk

Sonbahar mevsimini temsilen 24 Ekim 2008 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda tuzluluk parametresi derinlikle değişim göstermemiştir. Tuzluluk derinlik boyunca 39,5-39,6 ppt aralığında ölçülmüş olup, derinlik boyunca ortalama tuzluluk değeri 39,59 ppt olarak belirlenmiştir.

Kış mevsimini temsilen 25 Şubat 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda tuzluluk parametresinin derinlik boyunca artış gösterdiği gözlenmiştir. Özellikle 0-5 metre derinlikleri arasında zayıf bir tuzluluk tabakalaşması söz konusudur. Bununla beraber deniz yüzeyi ve derinliklerindeki tuzluluk derinlik boyunca 37,90-39,30 ppt aralığında yer almış olup ortalama tuzluluk değeri 39,06 ppt olarak belirlenmiştir.

İlkbahar mevsimini temsilen 13 Mayıs 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda tuzluluk parametresi derinlik boyunca artış göstermiştir. Bununla beraber deniz yüzeyi ve derinliklerindeki tuzluluk derinlik boyunca 38,00-39,30 ppt aralığında olup ortalama tuzluluk değeri 39,02 ppt olarak belirlenmiştir.

Yaz mevsimini temsilen 22 Temmuz 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının sonucunda tuzluluk parametresi derinlikle değişim göstermemiştir. Tuzluluk derinlik boyunca 38,80-39,20 ppt arasında değişim göstermiş olup ortalama tuzluluk değeri 39,07 ppt olarak belirlenmiştir. Şekil 4.8’de sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde tuzluluğun derinlikle değişimine yer verilmektedir.



Şekil 4.8. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde tuzluluğun derinlikle değişimi

4.2.1.3. Yoğunluk

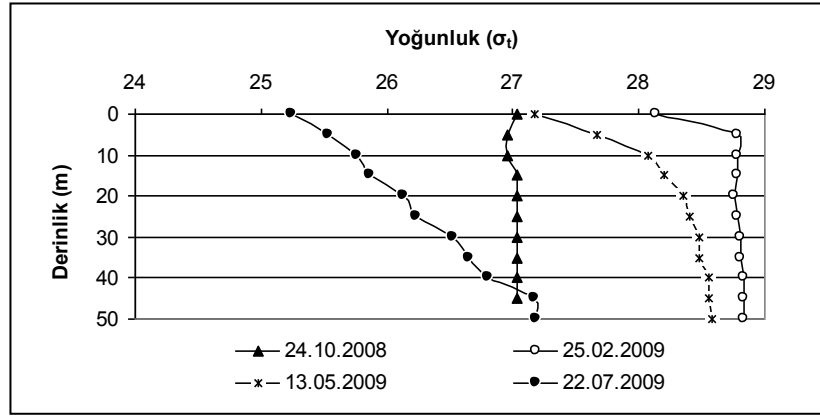
24 Ekim 2008, 25 Şubat 2009, 13 Mayıs 2009 ve 22 Temmuz 2009 tarihlerinde yürütülen ölçüm çalışmalarından elde edilen sıcaklık ve tuzluluk verileri yardımıyla hesaplanan yoğunluk değerlerine ait veriler aşağıda değerlendirilmektedir. Yoğunluk değerlerinin hesabında “US-EPA, Yoğunluk Dönüşüm Tabloları” kullanılmıştır (US-EPA 1985).

Sonbahar mevsiminde yoğunluğun derinlikle değişim göstermeyip sabit olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri sigma-T (σ_t) cinsinden 26,95-27,15 arasında değişmekte olup derinlik boyunca ortalama yoğunluk değeri 27,02’dir. Sonbahar koşullarında deniz ortamında tam karışım mevcuttur.

Kış mevsiminde yoğunluğun derinlikle değişim göstermeyip 5 metrenin altında sabit olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri sigma-T cinsinden 28,14-28,84 arasında değişmekte olup derinlik boyunca ortalama yoğunluk değeri 28,74’ür. Kış koşullarında 5 metrenin altında tam karışım mevcuttur.

İlkbahar mevsiminde yoğunluğun derinlikle değişmeye başladığı belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri sigma-T cinsinden 27,18-28,59 arasında değişmekte olup derinlik boyunca ortalama yoğunluk değeri 28,23'tür. İlkbahar koşullarında deniz ortamında hafif bir yoğunluk tabakalaşması mevcuttur.

Yaz mevsimini temsilen 22 Temmuz 2009 tarihinde yoğunluğun derinlik boyunca diğer üç mevsime göre daha fazla değişim gösterdiği belirlenmiş olup, yoğunluğun derinlere doğru artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri sigma-T cinsinden 25,25-27,18 arasında değişmekte olup, derinlik boyunca ortalama yoğunluk değeri 26,28'dir. Yaz koşullarında deniz ortamında yoğunluk tabakalaşması mevcuttur. Yoğunluğun derinlikle değişimi ise Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

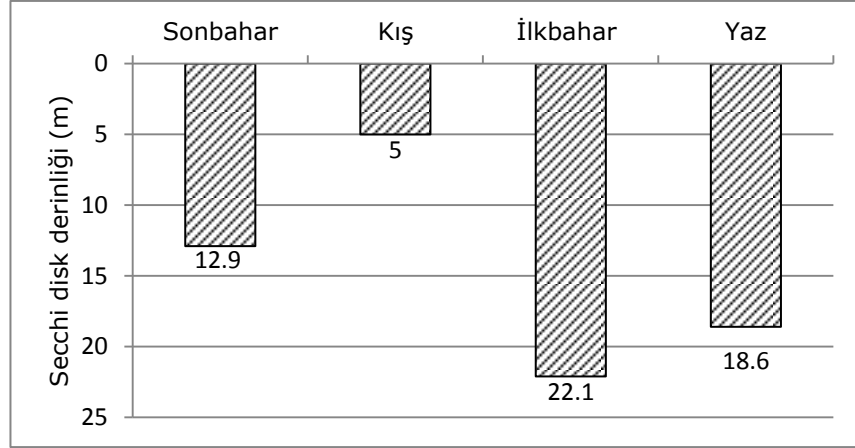


Şekil 4.9. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yoğunluğun derinlikle değişimi

4.2.1.4. Secchi disk derinliği

Secchi derinliğinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için ölçülen değerleri Şekil 4.10'da verilmektedir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde Secchi disk derinlikleri yıl içindeki en yüksek değerlerini almış olup sırasıyla 22,1 ve 18,6 m olarak tespit edilmiştir. Bu mevsimlerde güneş ışınlarının ölçülen derinliklere kadar nüfuz edebildiği gözlenmiştir. Özellikle kış mevsiminde, artan yağışlara birlikte kıyıda denize taşınan partikül madde miktarının artması ve şiddetli rüzgarların varlığı deniz ortamına ışık nüfuzunu sınırlamakta, bu sebeple bu mevsimde Secchi derinliği yılın en düşük değerlerini almaktadır. Secchi derinliği ölçüm sonuçları kış mevsiminde 5 m gibi

oldukça düşük değerler almaktadır.



Şekil 4.10. Secchi disk derinliğinin mevsimlik olarak değişimi

4.2.1.5. Sonuçların değerlendirilmesi

i. Sonbahar mevsimi alışmaları:

Sonbahar mevsimini temsilen 24 Ekim 2008 tarihinde gerçekleştirilen ölüm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresi derinlik boyunca 24,00-24,40 C arasında değişim göstermiştir. Deniz suyu sıcaklığının sonbahar mevsimi koşulları altında hava sıcaklığı ile paralellik gösterdiği görülmüştür. Tuzluluk parametresi bu mevsimde değişim göstermemiş olup, derinlik boyunca 39,5-39,6 ppt olarak llmüştür. Sonbahar mevsiminde tuzluluğun deniz yüzeyinde ve derinlerde değişim göstermemesinin nedeni, bu mevsimde derinlik boyunca herhangi bir sıcaklık tabakalaşmasının görülmemesi ve tam karışımın sağlanmasıdır. Antalya Körfezi'ne dökülen ve körfeze tatlı su girişi sağlayan derelerin bu mevsimdeki debilerinin oldukça düşük olması ve derelerin döküldüğü bölgelerin ölüm istasyonlarına uzak mesafede bulunması nedeni ile deniz yüzeyinde tuzluluk açısından bir değişim gözlenmemiştir. Sonbahar mevsimi için elde edilen sıcaklık ve tuzluluk değerleri ile hesaplanan yoğunluk değerlerinin derinlikle değişim göstermediği tespit edilmiştir. İletkenlik parametresi de, derinlik boyunca gerçekleşen tam karışıma bağlı olarak homojen bir dağılım göstermiş ve ortalama iletkenlik değeri 59,3 mS/cm olarak belirlenmiştir. Oşinografik lm sonuçlarına bağlı olarak sonbahar mevsiminde deniz ortamında tam

karişim durumunun mevcut olduğu tđm parametre ölçđmlerinde gözlenmiştir.

ii. Kış mevsimi çalışmalarını:

Kış mevsimini temsilen 25 Şubat 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçđm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresinin derinlik boyunca azaldığı ve değerlerinin 15,40-17,00 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Deniz suyu sıcaklığının kış mevsimi koşulları altında hava sıcaklığı ile paralellik gösterdiği görđlmüřtür. Tuzluluk parametresi, yüzeide en düşük değerlerini alırken, derinlik boyunca artış göstermiştir. Bu dönemde yüzeideki tuzluluk değerlerindeki farkların yağış etkisinden kaynaklandığı düşünölmektedir. Kış mevsimi için elde edilen sıcaklık ve tuzluluk değerleri ile hesaplanan yoğunluk değerleri ile birlikte iletkenlik ölçđmlerinin de derinlikle değişim göstermediği belirlenmiştir. Kış mevsimi için elde edilen oşinografik ölçđmler neticesinde deniz ortamında tam karişim durumunun mevcut olduğu gözlenmiştir.

iii. İlkbahar mevsimi çalışmalarını:

İlkbahar mevsimini temsilen 13 Mayıs 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçđm çalışmalarının sonucunda sıcaklık parametresinin derinlik boyunca sınırlı bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. Deniz suyu sıcaklığının ilkbahar mevsimi koşulları altında hava sıcaklığı ile paralellik gösterdiği görđlmüřtür. Tuzluluk ve iletkenlik parametreleri, derinlik boyunca belirgin bir değişim göstermemiş olup, tuzluluk değerlerinin yüzeide daha düşük değerler alması mevsimlik yağışların etkisine bağlanmıştır. İlkbahar mevsiminde hafif bir yoğunluk değişimi belirlenmiştir.

iv. Yaz mevsimi çalışmalarını:

Yaz mevsimini temsilen 22 Temmuz 2009 tarihinde gerçekleştirilen ölçđm çalışmalarının sonucunda sıcaklık değerlerinin derinlik boyunca diğer mevsimlere göre çok daha fazla değişim göstererek, derinlikle azalma eğiliminde olduğu görđlmüřtür. Tuzluluk parametresi, derinlik boyunca değişim göstermeyip sabit kalmıştır. Yaz mevsiminde derinlik boyunca tuzluluk parametresinin çok az değişim göstermesi, yağış etkisinin ve körfeze ulaşan tatlı su kaynaklarının debisinin azalmasına bağlanmıştır. Bu dönemde artış gösteren buharlaşma etkisi ile tuzluluk oranlarının yüzeide oldukça

yüksek olduğu gözlenmiştir. Yaz mevsimi için elde edilen yoğunluk değerlerinin değişimi incelendiğinde, derinlik boyunca belirgin bir değişim olduğu gözlenmiştir. Yoğunluk tabakalaşmasının oluşmasında derinlik boyunca gözlenen belirgin sıcaklık değişimleri etkin olmuştur.

Çizelge 4.2’de deniz deşarj hattına en yakın noktada bulunan P0 istasyonunda mevsimsel olarak elde edilen oşinografik verilerin ölçülen aralık değerleri ve mevsim ortalamaları verilmektedir. Arazi çalışmaları sırasında yaz mevsimi genelinde Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında sıcaklık tabakalaşması gözlenmiş olup en yüksek sıcaklıklar Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.7). Tuzluluk verileri açısından derinlik boyunca en homojen ve en yüksek değerler Ekim ayında ölçülmüştür. Şubat ve Mayıs aylarında yağışların da etkisi ile deniz yüzeyindeki tuzluluk değerleri düşüş göstermiştir. Yoğunluk değerleri incelendiğinde, sonbahar ve kış mevsimlerinde derinlik boyunca tam karışım gözlenirken, ilkbaharda hafif bir tabakalaşma, yazın ise kuvvetli bir tabakalaşma olduğu görülmektedir (Şekil 4.9).

Çizelge 4.2. P0 istasyonunda mevsimsel oşinografik ölçümlerin aralık değerleri ve mevsim ortalamaları

Parametre	Sonbahar 24 Ekim 2008	Kış 25 Şubat 2009	İlkbahar 13 Mayıs 2009	Yaz 22 Temmuz 2009
Sıcaklık (°C) aralık ortalama	24,0-24,4 24,38	15,4-17,0 16,65	18,0-19,6 18,54	22,6-28,1 25,48
Tuzluluk (ppt) aralık ortalama	39,5-39,6 39,59	37,9-39,3 39,06	38,0-39,3 39,02	38,8-39,2 39,07
Yoğunluk (σ_t) aralık ortalama	26,95-27,15 27,02	28,14-28,84 28,74	27,17-28,59 28,23	25,25-27,18 26,28

4.2.2. Akıntı ölçüm sonuçları

Akıntı ölçümleri, HİDROTAM-3 hidrodinamik modelinin uyarlanması, seyrelme tahminleri ve belirsizlik analizi için gerekli olan akıntı verisinin sağlanması amacıyla yapılmıştır. Ölçümler bir yıl boyunca, dört mevsimi temsil etmek üzere toplam dört sefer yapılmış olup, her bir ölçüm çalışması bir hafta boyunca yapılan yoğun saha

çalışmalarından oluşmuştur. Akıntı ölçüm çalışmalarında, farklı derinliklerdeki akıntı hız büyüklüğü ve yönünün belirlenmesi amacıyla yüzek çalışmaları yapılmıştır. Buna ilaveten, derinlik profili boyunca, akıntı hız ve yönlerini belirlenen bir zaman aralığında sürekli olarak ölçerek kaydedebilen akustik hız ölçüm cihazı her ölçüm döneminde deniz tabanına yerleştirilerek ölçüm çalışmaları boyunca akıntı hız ve yönleri kaydedilmiştir. Bu bölümde elde edilen akıntı ölçüm sonuçları mevsimlik olarak sunulacaktır (Muhammetoğlu vd 2011).

4.2.2.1. Sonbahar mevsimi akıntı ölçümleri

Sonbahar mevsimi için akıntı ölçümleri 24-29 Eylül 2008 tarihleri arasında yedi gün ve 23-27 Ekim 2008 tarihleri arasında beş gün boyunca yapılmıştır. Ölçümler boyunca çeşitli derinliklerde yüzeklerin izlediği yolların tamamı Şekil 4.11’de, çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin ortalama hızları da Çizelge 4.3’de verilmektedir.



Şekil 4.11. Ölçüm boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar (derinlikler metre cinsindedir) (Muhammetoğlu vd 2011)

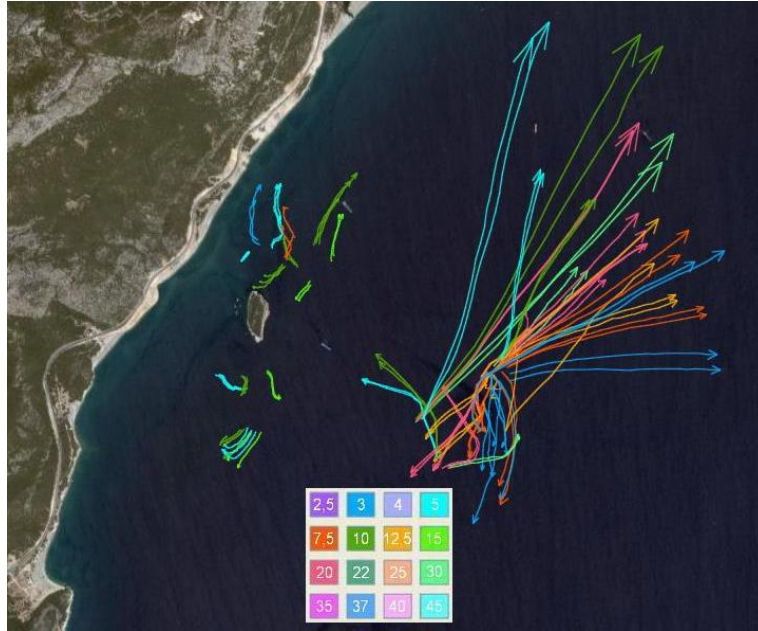
Çizelge 4.3. Çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları (Muhammetoğlu vd 2011)

Yol	d (Yüzeyden İtibaren) (m)	Ortalama Hız (cm/s)	Yol	d (Yüzeyden İtibaren) (m)	Ortalama Hız (cm/s)	Yol	d (Yüzeyden İtibaren) (m)	Ortalama Hız (cm/s)
A01	5,0	14,44	E03	5,0	17,97	G03	45,0	3,47
A02	5,0	17,56	E04	25,0	7,34	G04	45,0	1,03
A03	5,0	15,68	E05	25,0	12,90	G05	40,0	3,98
A04	5,0	16,20	E06	35,0	5,62	G06	40,0	4,79
A05	10,0	7,17	E07	4,0	3,33	G07	35,0	5,68
A06	3,0	14,56	E08	10,0	15,34	G08	35,0	4,94
A07	3,0	20,93	E09	10,0	17,78	H01	40,0	7,24
B01	25,0	5,39	E10	30,0	4,47	H02	40,0	6,46
B02	25,0	5,49	E11	3,0	1,74	H03	2,5	8,10
B03	12,5	18,56	E12	15,0	5,01	H04	5,0	3,07
B04	10,0	6,77	E13	15,0	13,12	H05	35,0	5,95
B05	10,0	5,04	E14	15,0	16,06	H06	35,0	6,78
B06	10,0	18,61	E15	40,0	4,84	H07	7,5	1,86
B07	25,0	6,07	E16	5,0	3,96	H08	7,5	3,61
B08	22,0	5,72	F01	15,0	17,53	H09	20,0	7,67
B09	12,5	17,07	F02	15,0	6,44	H10	45,0	6,63
C01	5,0	7,74	F03	15,0	12,48	H11	45,0	6,07
C02	5,0	10,44	F04	25,0	17,37	H12	7,5	3,12
C03	7,5	5,16	F05	5,0	2,12	H13	7,5	4,39
C04	5,0	8,63	F06	5,0	5,69	H14	15,0	3,81
C05	5,0	5,62	F07	35,0	15,90	H15	2,5	8,42
C06	10,0	3,56	F08	4,0	2,02	H16	2,5	15,95
C07	5,0	10,19	F09	4,0	9,84	H17	37,0	8,07
C08	5,0	7,51	F10	10,0	17,77	H18	37,0	7,69
C09	12,5	2,34	F11	10,0	4,65	H19	10,0	2,02
C10	5,0	11,15	F12	10,0	6,60	H20	10,0	4,00
C11	5,0	7,79	F13	30,0	17,12	H21	25,0	7,54
C12	25,0	4,55	F14	3,0	2,14	H22	5,0	4,14
D01	20,0	11,76	F15	3,0	10,00	H23	7,5	2,25
D02	25,0	12,33	F16	20,0	16,62	H24	45,0	9,76
D03	35,0	10,68	F17	20,0	7,69	H25	45,0	7,51
D04	30,0	12,88	F18	40,0	16,19	H26	5,0	4,93
D05	15,0	10,96	F19	5,0	1,69	H27	5,0	5,64
D06	40,0	11,59	F20	5,0	11,35	H28	10,0	2,49
E01	20,0	5,65	G01	37,0	5,15	H23	7,5	2,25
E02	20,0	15,77	G02	37,0	3,47	H24	45,0	9,76

Difüzörün bulunduğu su derinliklerinde akıntıların genellikle güneyden kuzeye doğru olduğu ve derinlik boyunca yaklaşık olarak yüzeyde 17 cm/s akıntı hızlarından, tabanda 3 cm/s akıntı hızlarına azalma olduğu görülmüştür. Adanın etrafında açık denizden karaya doğru ilerleyen akıntılar, kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinde ikiye ayrılmaktadır. Adanın kuzeyinde akıntılar kuzeydoğu yönünde, adanın güneyinde ise akıntılar güneybatı yönünde ilerlemektedir. Adanın batısı ile güney batısı arasında (ada ile kara arasında) bir çevrinti bölgesi oluşmaktadır. Adanın etrafında, yaklaşık olarak yüzeyde 21 cm/s akıntı hızlarından, tabanda 2 cm/s akıntı hızlarına azalma olduğu görülmüştür (Muhammetoğlu vd 2011).

4.2.2.2. Kış mevsimi akıntı ölçümü

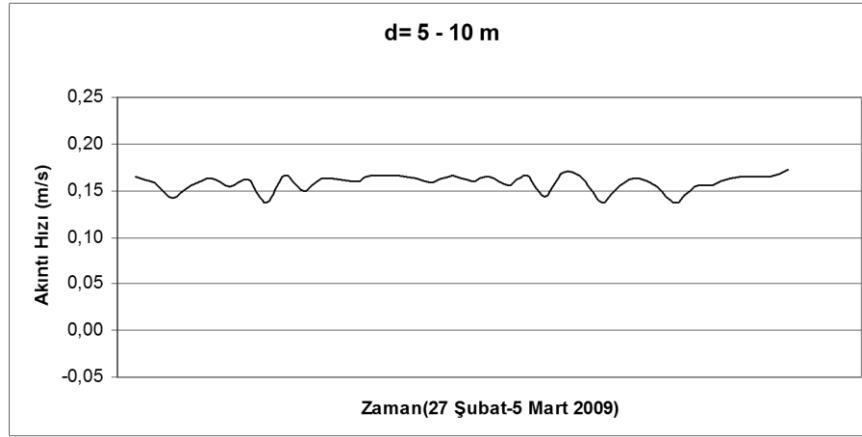
Kış mevsimi için akıntı ölçümleri 27 Şubat-5 Mart 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Kış mevsimi ölçümleri boyunca çeşitli derinliklerde yüzeklerin izlediği yolların tamamı Şekil 4.12’de sunulmaktadır. Çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin ortalama hızları Çizelge 4.4’de verilmektedir. Yüzek ölçümlerine ek olarak, ultrasonik akıntı ölçer ile difüzör yakınlarındaki bir noktada (UTM X=286830, Y=4074920) ölçülen derinlik boyunca akıntı hızları Şekil 4.13-4.16’da verilmektedir.



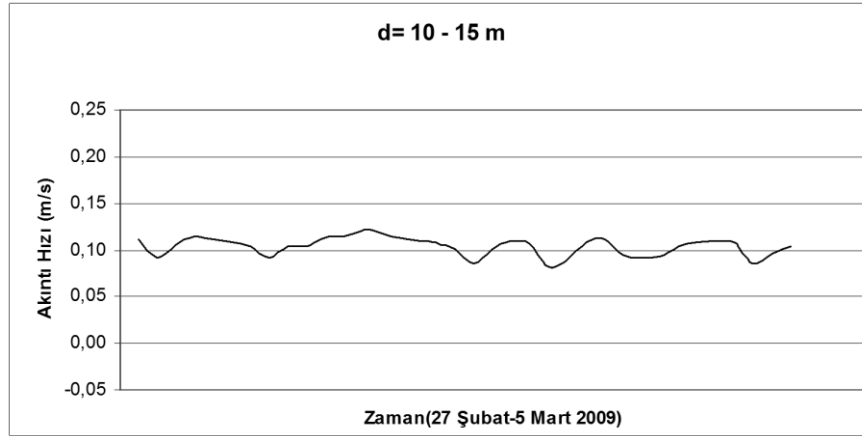
Şekil 4.12. Kış mevsimi ölçümü boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar (Göstergede verilen derinlikler metredir) (Muhammetoğlu vd 2011)

Çizelge 4.4. Kış ölçümünde çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları (Muhammetoğlu vd 2011)

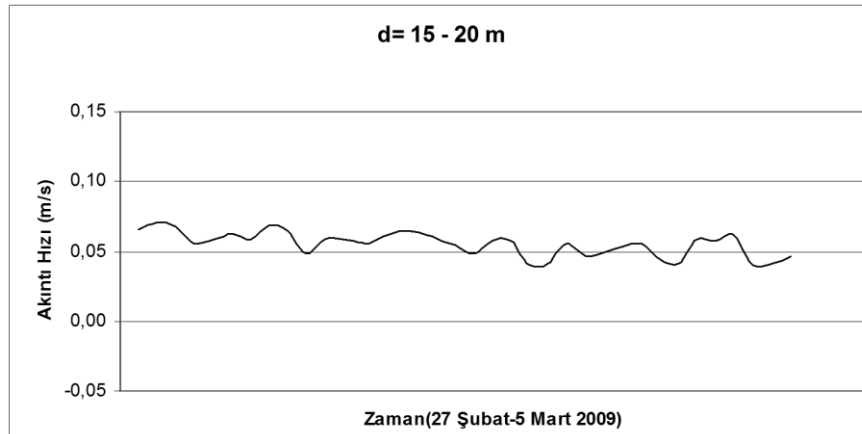
Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)	Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)	Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)
I01	7,5	7,15	K14	12,5	15,43	N03	10	2,85
I02	3	8,28	K15	7,5	16,29	N04	5	0,70
I03	12,5	10,39	K16	20	4,80	N05	10	2,47
I04	7,5	7,22	L01	20	3,64	N06	5	1,49
I05	12,5	9,61	L02	10	13,48	N07	5	1,11
I06	20	3,23	L03	30	2,42	N08	15	2,30
I07	3	9,30	L04	5	19,45	N09	15	3,95
I08	20	2,97	L05	10	14,28	N10	10	2,14
I09	7,5	5,62	L06	5	19,10	N11	10	2,75
I10	3	6,62	L07	20	3,91	N12	5	3,40
I11	12,5	8,41	L08	30	2,15	N13	10	3,09
I12	7,5	5,65	L09	20	3,15	N14	5	3,56
I13	12,5	7,95	L10	10	14,06	N15	5	4,01
I14	20	3,44	L11	30	2,10	N16	15	3,95
I15	3	6,85	L12	5	21,41	N17	3	5,76
I16	20	3,21	L13	10	13,69	N18	10	3,32
J01	20	3,16	L14	5	21,10	N19	7,5	5,56
J02	20	2,46	L15	20	2,68	N20	5	3,50
J03	12,5	2,40	L16	30	1,73	N21	10	2,69
J04	12,5	2,49	M01	20	4,26	N22	5	3,48
J05	7,5	8,17	M02	10	9,63	N23	7,5	3,56
J06	3	8,77	M03	30	2,08	N24	3	4,76
J07	3	7,94	M04	5	8,75			
J08	7,5	7,21	M05	10	8,87			
J09	20	2,30	M06	5	8,51			
J10	20	3,57	M07	20	4,19			
J11	12,5	3,02	M08	30	1,96			
J12	12,5	4,70	M09	15	5,56			
J13	7,5	7,20	M10	10	4,80			
J14	3	9,72	M11	10	5,02			
J15	3	7,20	M12	5	4,76			
J16	7,5	6,28	M13	10	4,56			
K01	12,5	12,29	M14	5	5,37			
K02	20	4,09	M15	5	5,86			
K03	7,5	15,72	M16	15	5,39			
K04	3	26,41	M17	15	4,05			
K05	3	26,14	M18	10	6,83			
K06	12,5	12,44	M19	10	7,72			
K07	7,5	15,95	M20	5	4,11			
K08	20	4,89	M21	10	5,14			
K09	12,5	13,61	M22	5	3,78			
K10	20	5,40	M23	5	3,73			
K11	7,5	17,54	M24	15	4,59			
K12	3	27,00	N01	15	1,96			
K13	3	27,15	N02	10	4,31			



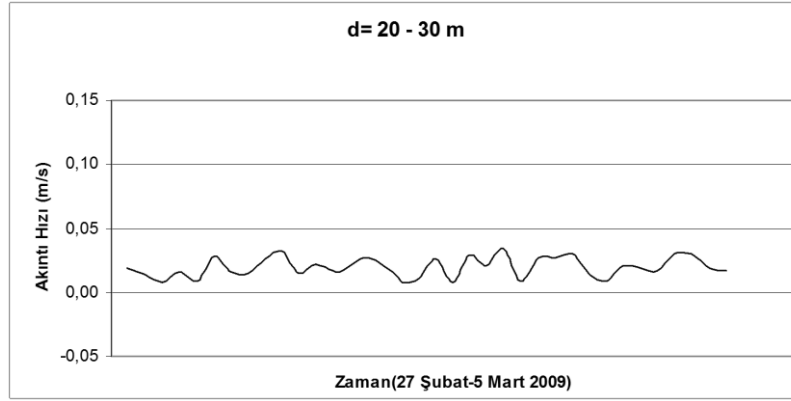
Şekil 4.13. Su yüzeyinden tabana doğru d= 5-10 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.14. Su yüzeyinden tabana doğru d=10-15 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.15. Su yüzeyinden tabana doğru d=15-20 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.16. Su yüzeyinden tabana doğru d=20-30 m tabakasında ölçülen akıntı hızları

4.2.2.3. İlkbahar mevsimi akıntı ölçümü

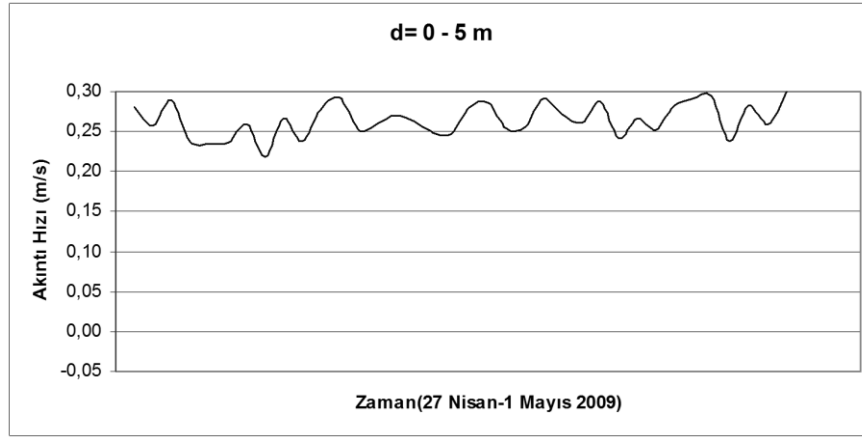
İlkbahar mevsimi için akıntı ölçümleri 27 Nisan-1 Mayıs 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. İlkbahar mevsimi ölçümleri boyunca çeşitli derinliklerde yüzeklerin izlediği yolların tamamı Şekil 4.17’de sunulmaktadır. Çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin ortalama hızları Çizelge 4.5’de verilmektedir. Yüzek ölçümlerine ek olarak, ultrasonik akıntı ölçer ile difüzör yakınlarındaki bir noktada (UTM X=286830, Y=4074920) ölçülen derinlik boyunca akıntı hızları Şekil 4.18-4.22’de verilmektedir (Muhammetoğlu vd 2011).



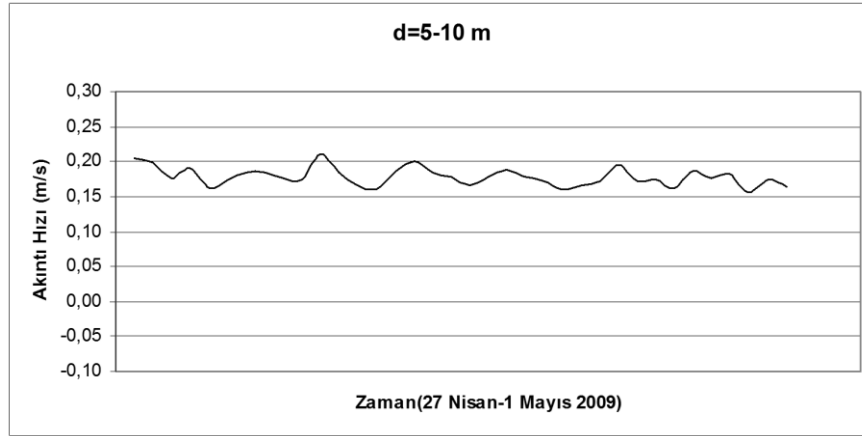
Şekil 4.17. İlkbahar mevsimi ölçümü boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar (Göstergede verilen derinlikler metredir)

Çizelge 4.5. İlkbahar ölçümünde çeşitli derinliklere bırakılan yüzüklerin kod ve ortalama hızları (Muhammetoğlu vd 2011)

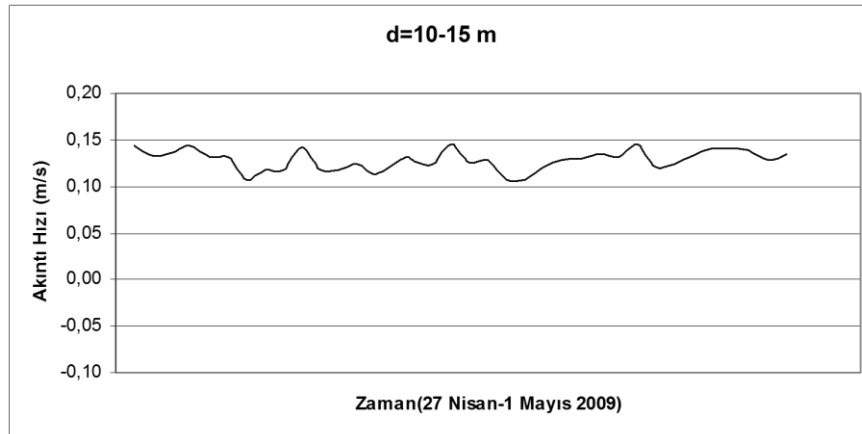
Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)	Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)
O.01	5	16,39	R14	10	15,04
O.02	20	4,52	R15	3	29,73
O.03	20	3,49	R16	5	22,93
O.04	40	1,54	R17	3	21,29
O.05	10	12,59	R18	10	8,02
O.06	40	1,71	S01	30	2,97
O.07	10	11,57	S02	15	7,55
O.08	5	18,22	S03	30	2,37
O.09	20	3,99	S04	5	19,50
O.10	20	4,19	S05	5	19,85
O.11	40	1,34	S06	15	7,48
O.12	10	12,50	S07	5	18,24
O.13	40	1,87	S08	3	13,42
O.14	10	11,02	S09	3	19,11
P01	5	20,41	S10	10	12,81
P02	30	2,60	S11	5	21,56
P03	15	8,14	S12	5	20,89
P04	30	2,18	S13	3	13,51
P05	5	19,69	S14	5	2,04
P06	15	5,72	T01	20	3,81
P07	5	17,54	T02	10	15,08
P08	30	2,02	T03	20	3,91
P09	15	8,65	T04	5	19,51
P10	30	2,35	T05	30	1,49
P11	5	18,63	T06	10	11,26
P12	15	6,37	T07	30	2,53
P13	5	19,63	T08	20	4,02
P14	30	2,18	T09	10	15,72
P15	15	8,98	T10	20	4,90
P16	30	2,57	T11	5	18,74
P17	5	21,30	T12	30	2,24
P18	15	8,08	T13	10	15,14
R01	5	19,87	T14	30	2,72
R02	10	7,26			
R03	20	2,36			
R04	5	20,01			
R05	20	3,66			
R06	10	9,81			
R07	5	21,23			
R08	10	15,17			
R09	20	3,13			
R10	5	22,01			
R11	20	3,63			
R12	10	14,95			
R13	5	10,29			



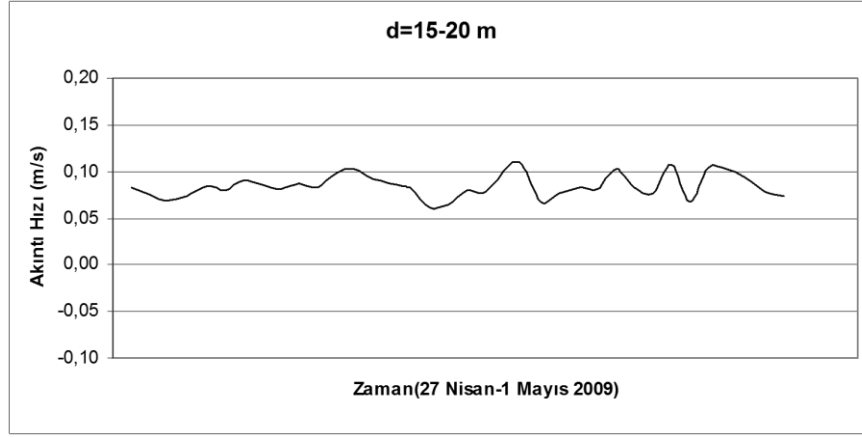
Şekil 4.18. Yüzey tabakasında (d=0-5m) ölçülen akıntı hızları



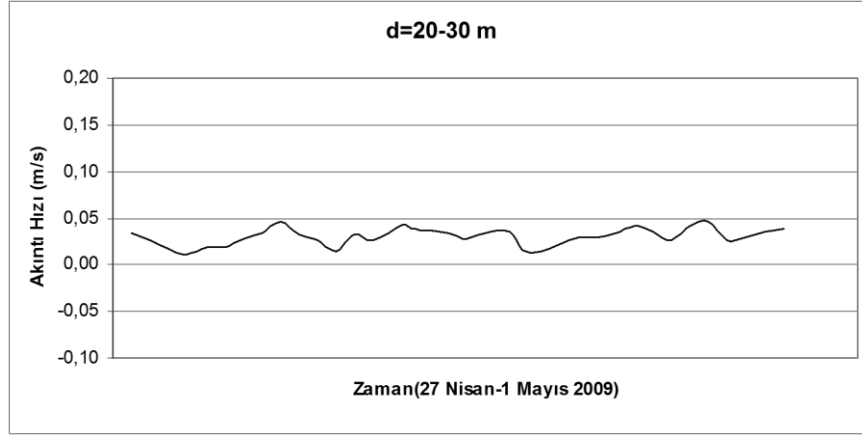
Şekil 4.19. Su yüzeyinden tabana doğru d=5-10 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.20. Su yüzeyinden tabana doğru d=10-15 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



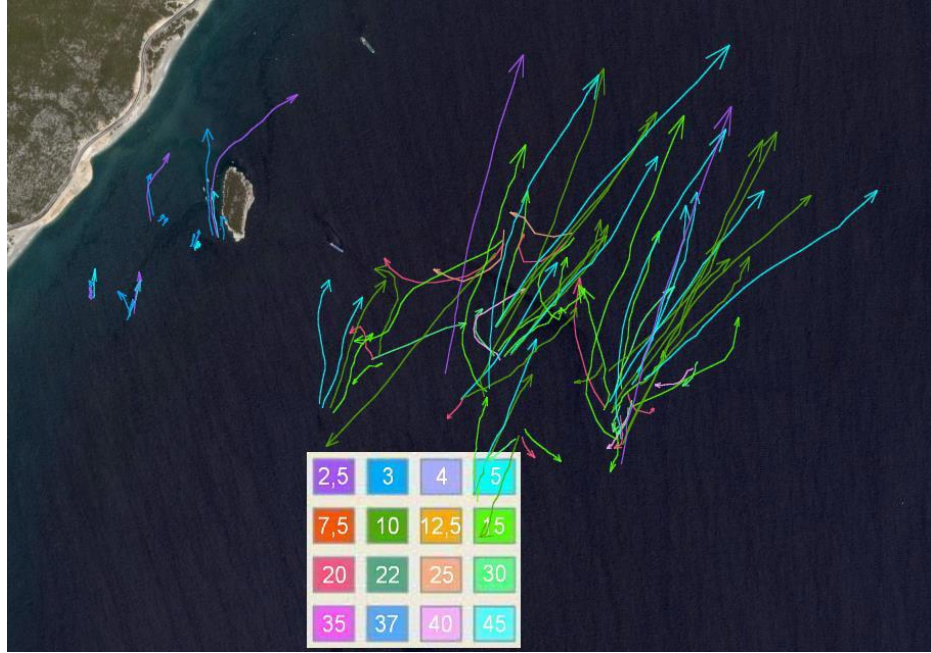
Şekil 4.21. Su yüzeyinden tabana doğru d=15-20 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.22. Su yüzeyinden tabana doğru d=20-30 m tabakasında ölçülen akıntı hızları

4.2.2.4. Yaz mevsimi akıntı ölçümü

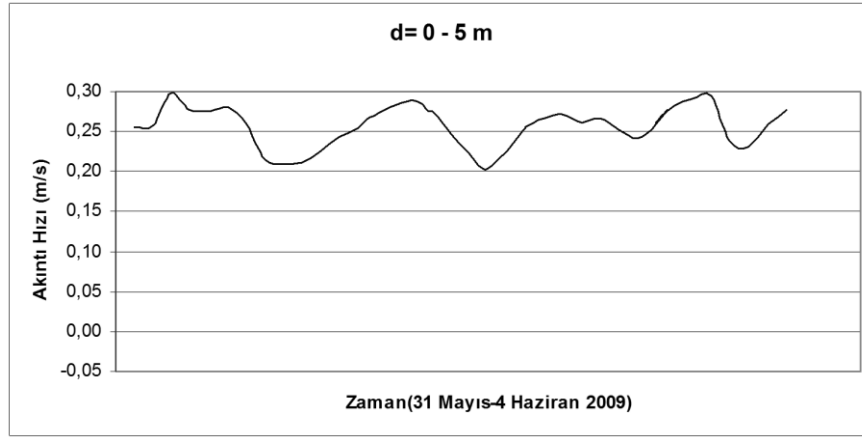
Yaz mevsimi için akıntı ölçümleri 31 Mayıs-4 Haziran 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yaz mevsimi ölçümleri boyunca çeşitli derinliklerde yüzeklerin izlediği yolların tamamı Şekil 4.23’de sunulmaktadır. Çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin ortalama hızları Çizelge 4.6’da verilmektedir. Yüzek ölçümlerine ek olarak, ultrasonik akıntı ölçer ile difüzör yakınlarındaki bir noktada (UTM X=286830, Y=4074920) ölçülen derinlik boyunca akıntı hızları Şekil 4.24-4.28’de verilmektedir (Muhammetoğlu vd 2011).



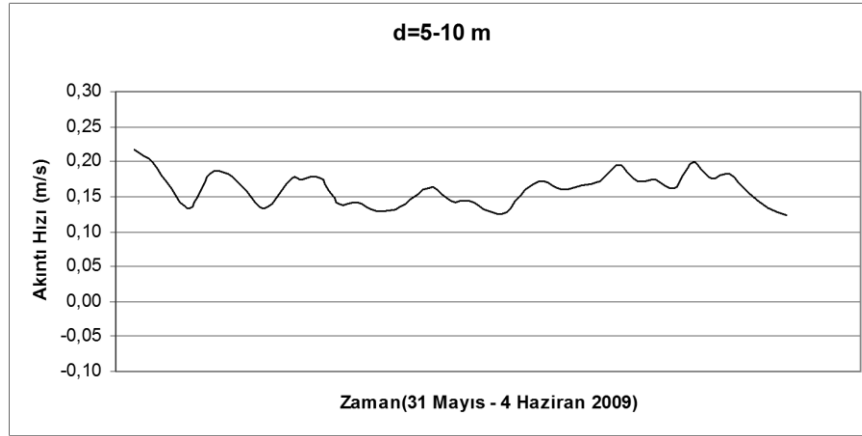
Şekil 4.23. Yaz mevsimi ölçümü boyunca çeşitli derinliklerde bırakılan yüzeklerin izlediği yollar (Göstergede verilen derinlikler metredir) (Muhammetoğlu vd 2011)

Çizelge 4.6. Yaz ölçümünde çeşitli derinliklere bırakılan yüzeklerin kod ve ortalama hızları (Muhammetoğlu vd 2011)

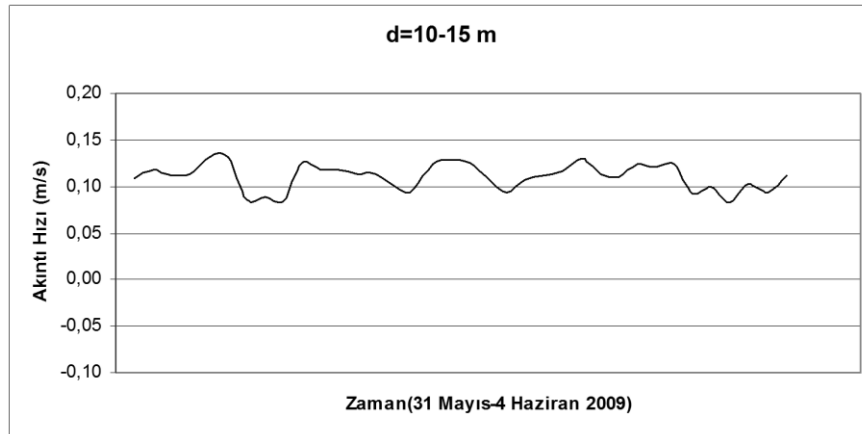
Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)	Yol	d (m)	Ortalama Hız (cm/s)
U01	5	19,59	X08	1	26,96
U02	5	18,27	X09	1	28,79
U03	20	2,87	X10	5	4,75
U04	10	13,08	X11	3	4,91
U05	10	14,04	X12	1	2,80
U06	5	19,78	X13	3	3,21
U07	20	2,25	X14	5	6,13
U08	5	11,98	X15	3	3,49
U09	5	10,85	X16	1	5,82
U10	15	9,12	X17	5	3,59
U11	10	14,52	X18	3	8,06
U12	10	11,82	X19	1,5	13,35
U13	5	19,83	X20	3	1,74
U14	15	8,70	X21	5	-
U15	5	3,11	X22	3	3,16
U16	5	2,44	X23	1,5	5,42
U17	3	5,50	Y01	5	19,84
U18	3	4,83	Y02	15	9,31
U19	3	2,72	Y03	10	12,91
U20	5	-	Y04	15	9,99
U21	3	3,11	Y05	5	19,69
V01	10	12,55	Y06	10	12,23
V02	30	2,07	Y07	10	13,16
V03	40	1,08	Y08	30	2,18
V04	15	8,59	Y09	15	8,90
V05	30	2,30	Y10	10	4,49
V06	15	9,44	Y11	15	9,56
V07	40	4,15	Y12	30	2,14
V08	30	2,31	Y13	20	2,08
V09	40	1,44	Y14	20	4,74
V10	10	14,32	Z01	30	2,48
V11	10	14,44	Z02	15	7,52
V12	5	21,90	Z03	10	10,00
V13	5	19,06	Z04	15	7,72
V14	15	8,43	Z05	30	2,30
V15	10	15,30	Z06	20	3,37
V16	15	9,81	Z07	20	2,23
V17	10	14,98	Z08	25	1,68
X01	10	12,67	Z09	15	7,04
X02	5	20,92	Z10	10	12,21
X03	5	19,95	Z11	15	7,47
X04	15	9,78	Z12	25	2,19
X05	10	13,25	Z13	20	4,94
X06	15	8,35	Z14	20	2,79
X07	10	12,76	Z15	10	10,39



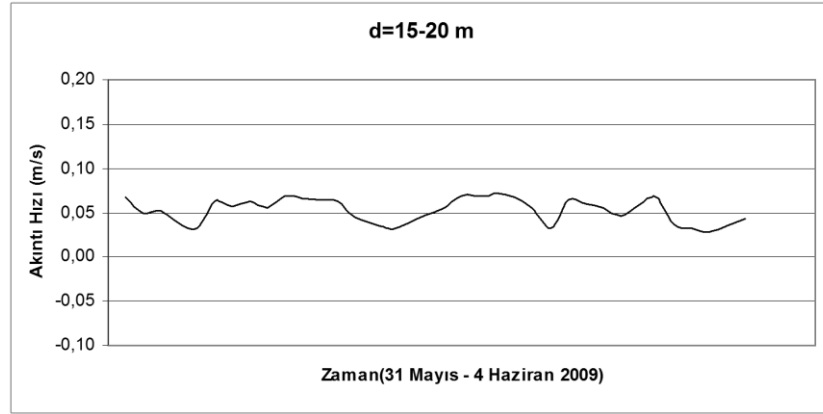
Şekil 4.24. Yüzey tabakasında (d=0-5m) ölçülen akıntı hızları



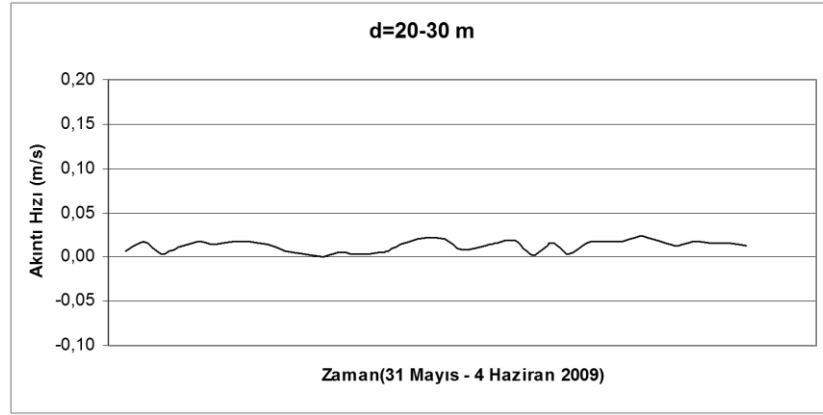
Şekil 4.25. Su yüzeyinden tabana doğru d=5-10 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.26. Su yüzeyinden tabana doğru d=10-15 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.27. Su yüzeyinden tabana doğru d=15-20 m tabakasında ölçülen akıntı hızları



Şekil 4.28. Su yüzeyinden tabana doğru d=20-30 m tabakasında ölçülen akıntı hızları

4.3. Çalışma Bölgesindeki Bakteriyolojik Su Kalite İzleme Çalışmaları

Bu bölümde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nden derin deniz deşarj sistemi ile Antalya Körfezi'ne deşarj edilen arıtılmış atıksuların deniz ortamında seyrelmesi sonucunda meydana gelebilecek bakteriyolojik kirliliğin boyutunun belirlenmesi amacıyla yapılan deniz suyu örnekleme çalışmalarının sonuçları yer almaktadır. Körfezdeki atıksu kaynaklı bakteriyolojik kirliliğe ilişkin deniz deşarjı hattı üzerinde ve çevresinde belirlenen istasyonlarda yapılan bu çalışmalar bir yıl süre ile dört mevsimi temsil eden farklı derinliklerdeki toplam ve fekal koliform verilerini yansıtmaktadır.

Bir yıl boyunca dört mevsimi temsil edecek şekilde 20-24 Ekim 2008, 17-22 Şubat 2009, 11-13 Mayıs 2009 ve 20-22 Temmuz 2009 tarihlerinde Antalya Körfezi'nde yürütülen bakteriyolojik su kalitesi izleme çalışmalarının gerçekleştirildiği örnekleme

istasyonları derin deniz deşarj hattına olan mesafelerine göre yakın, ara, uzak bölge ve Sıçan Adası çevresi olmak üzere 4 kısma ayrılmıştır.

4.3.1. Sonbahar mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları

Antalya Körfezi'nde sonbahar mevsimini temsilen 20-24 Ekim 2008 tarihleri arasında 22 örnekleme istasyonunda yürütülen bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları kapsamında yakın bölge olarak adlandırılan deniz deşarj hattı üzeri ve yakın çevresindeki noktalardan (S0, S1, S2, S3 ve S4) alınan deniz suyu numunelerinin bakteriyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmektedir. Bu istasyonlarda derinlik boyunca TC sayılarının 0-214 CFU/100 ml, FC sayılarının ise 0-65 CFU/100 ml arasında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S0		S1		S2		S3		S4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	3	0	164	42	6	0	5	0	5	0
5	3	0	122	31	7	0	2	0	3	0
10	4	0	123	47	6	2	12	0	1	0
15	5	0	152	65	0		1	0	2	0
20	6	0	53	-	0	0	9	0	7	0
25	3	0	116	36	1	0	0	0	2	1
30	1	0	214	56	1	0	7	1	1	0
35	4	0	3	0	7	0	26	0	6	1
40	8	0	4	0	0	0	14	0	7	0
45	17	7			13	0	8	0	8	0
50					11	0	28	0		

Diğer dört istasyondan farklı olarak S1 no'lu yakın bölge istasyonunda yüzey ile 30 m derinlikleri arasında diğer derinliklere ve istasyonlara nazaran çok daha yüksek sayıda toplam ve fekal koliform mevcuttur.

Ara bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S5, S6, S7 ve S8) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S5		S6		S7		S8	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	8	0	17	1	2	0	0	0
5	6	0	1	0	1	1	9	0
10	2	0	3	0	7	0	5	0
15	5	0	4	0	10	0	0	0
20	2	1	0	0	6	0	3	0
25	4	0	14	0	3	0	4	0
30	14	0	4	0	7	0	3	0
35	2	0	4	0	4	0	3	0
40			3	0	8	0	4	0
45			3	0	1	0	1	0
50					2	0	11	0

S5, S6, S7 ve S8 no'lu ara bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayılarının (0-17 CFU/100 ml) çok düşük olduğu gözlenmiştir. Fekal koliform sayılarının da derinlik boyunca toplam koliform değerlerine paralellik gösterdiği (0-1 CFU/100 ml) belirlenmiştir.

Uzak bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16 ve S17) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S9		S10		S11		S12		S13	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	18	0	7	0	11	3	0	0	0	0
5	0	0	12	0	21	7	6	0	28	0
10	11	0	0	0	14	7	0	1	3	0
15	26	1	0	0	20	5	11	0	6	0
20	41	0	0	0	2	5	5	0	8	0
25	10	0	5	0	9	4	11	1	3	0
30	24	0	11	0					9	0
35	29	1	7	1						
40	0	0								
45	0	1								
50	19	0								

Çizelge 4.10. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S14		S15		S16		S17	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	3	0	0	0	18	0
5	0	1	0	1	0	0	0	0
10	22	1	13	1	4	0	2	1
15	9	2	10	5	3	0	8	0
20	11	2	4	3	8	0	2	0
25	0	1	0	3	7	2	0	2
30	14	1	1	0	3	2	4	1
35	31	0	25	6	3	0	6	2
40	1	1	22	3	2	1	4	1
45	24	0	10	1	8	0	2	2
50	26	0	10	2	15	0	6	0

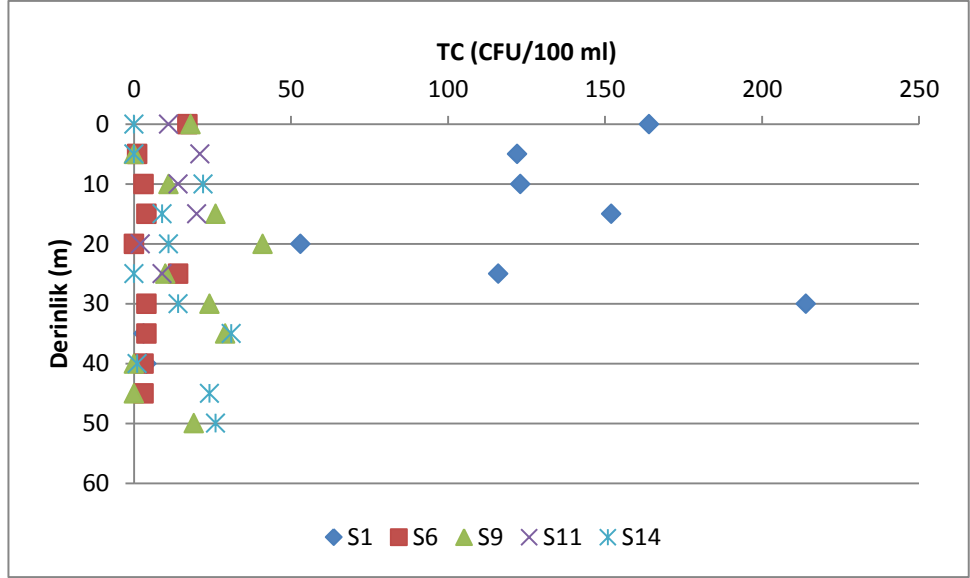
Uzak bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-41 CFU/100 ml) ile fekal koliform sayılarının (0-7 CFU/100 ml) çok düşük olduğu gözlenmiştir.

Sıçan Adası çevresindeki 4 noktadan (A1, A2, A3 ve A4) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmektedir. A1, A2, A3 ve A4 no’lu ada çevresi istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-59 CFU/100 ml) ile fekal koliform sayıları (0-1 CFU/100 ml) çok düşüktür.

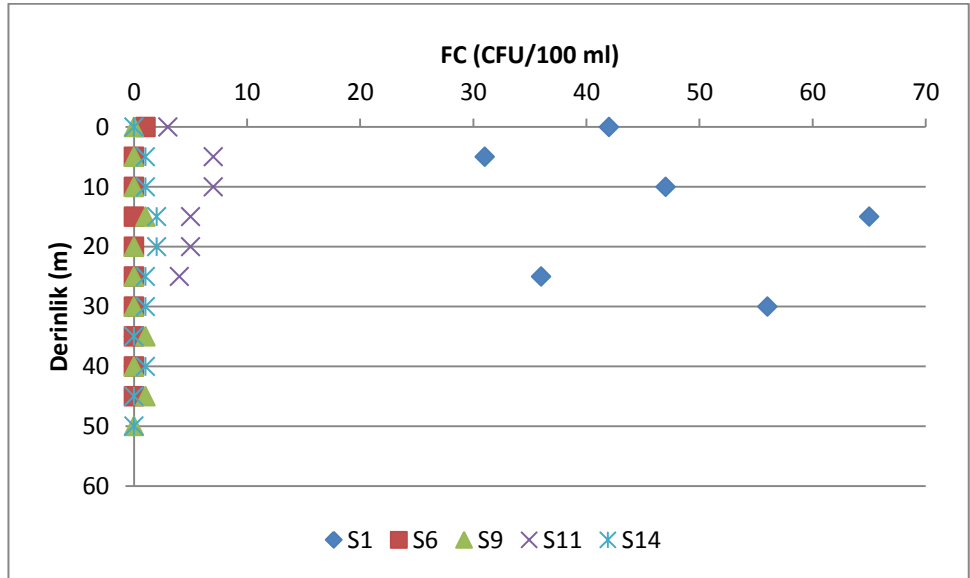
Çizelge 4.11. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	A1		A2		A3		A4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	1	3	0	38	0	59	0
5	0	0	2	1	11	0	17	0
10	23	1	0	1			12	0
15	1	1						

Şekil 4.29’da sonbahar mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.29. Sonbahar mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform

4.3.2. Kış mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları

Antalya Körfezi'nde kış mevsimini temsilen 17-22 Şubat 2009 tarihleri arasında deşarj noktası ve çevresinde belirlenen 24 örnekleme istasyonunda yürütülen bakteriyolojik su kalite izleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Yakın bölge olarak adlandırılan deniz deşarj hattı üzeri ve yakın

çevresindeki noktalardan (S0, N1, N2, N3 ve N4) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S0		N1		N2		N3		N4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	68	3	31	4	25	5	25	10	9	3
5	14	7	46	5	495	106	6	5	6	3
10	385	196	34	2	600	297	10	1	7	3
15	44	25	15	18	460	180	2	1	2	2
20	417	135	904	353	30	22	207	53	204	66
25	57	15	893	375	4	1	3	0	36	10
30	7	1	46	12	3	1	10	7	15	5
35	102	54	403	121	1	1	1	1	28	6
40	15	1	54	14	10	5	12	4	7	0
45	91	43	132	1	693	212	30	11	17	5
50	177	65			18	5	27	6		

Bu istasyonlarda, derinlik boyunca toplam koliform sayılarının (1-904 CFU/100 ml) çok yüksek sayıda olduğu gözlenmiştir. Fekal koliform sayılarının (0-375 CFU/100 ml) da derinlik boyunca toplam koliform değerlerine paralellik gösterdiği gözlenmiştir. Yakın bölge istasyonlarının genelinde 10-20 metre derinlikleri arasında diğer derinliklere göre çok daha yüksek sayıda koliform bakterisi gözlenmiştir.

Ara bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S1, N5, N6 ve N7) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.13’de verilmektedir.

S1 ve N7 no’lu ara bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (1-5 CFU/100 ml) ile fekal koliform sayıları (0-2 CFU/100 ml) çok düşüktür. N5 ve N6 nolu istasyonlarda ise, S1 ve N7 no’lu istasyonlara göre derinlik boyunca çok daha yüksek sayıda toplam ve fekal koliform sayısına rastlanmıştır. Bu istasyonlarda toplam koliform sayıları 0-495 CFU/100 ml, fekal koliform sayıları 0-351 CFU/100 ml arasında değişmekte olup koliformların 5-15 metre derinlikleri arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Toplam ve fekal koliform sayıları birbirine paralellik göstermiştir.

Çizelge 4.13. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S1		N5		N6		N7	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	1	0	52	47	2	0	1	2
5	1	1	471	314	135	58	5	1
10	1	1	495	320	188	45	4	1
15	1	1	488	232	224	61	2	1
20	2	1	16	14	11	3	1	0
25	0	0	1	2	1	1	2	1
30	0	0	1	1	1	0	2	0
35	1	1	0	1	4	8	1	0
40	0	0	1	0	39	18	2	0
45			358	351	132	30	3	0
50					41	4	2	0

Uzak bölge olarak adlandırılan örnekleme istasyonlarından (S4, S5, S11, N9, N10, N11, S2, S3, S6, N8 ve N12) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelgeler 4.14 ve 4.15’de verilmektedir. S4, S5, S11, N9, N10, N11, S2, S3 ve N8 no’lu istasyonlarda derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-212 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-81 CFU/100 ml) birbirine paralellik göstererek çok düşük sayılarda gözlenmiştir. S6 ve N12 no’lu istasyonlarda ise koliformların 5-20 metre derinlikleri arasında diğer derinliklere nazaran daha yüksek sayıda olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.14. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S4		S5		S11		N9		N10		N11	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0
10	2	0	4	5	16	6	2	0	32	9	0	1
15	12	4	19	5	7	6	2	0	48	27	3	0
20	14	10	10	4	32	22	6	2	59	23	7	5
25	4	3	19	4	36	23	8	4	57	8	54	28
30	0	1	0	0			0	1	4	1	13	7
35	0	0	14	7			1	1	30	11	14	5
40	0	0					0	0				
45	0	1										

Çizelge 4.15. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

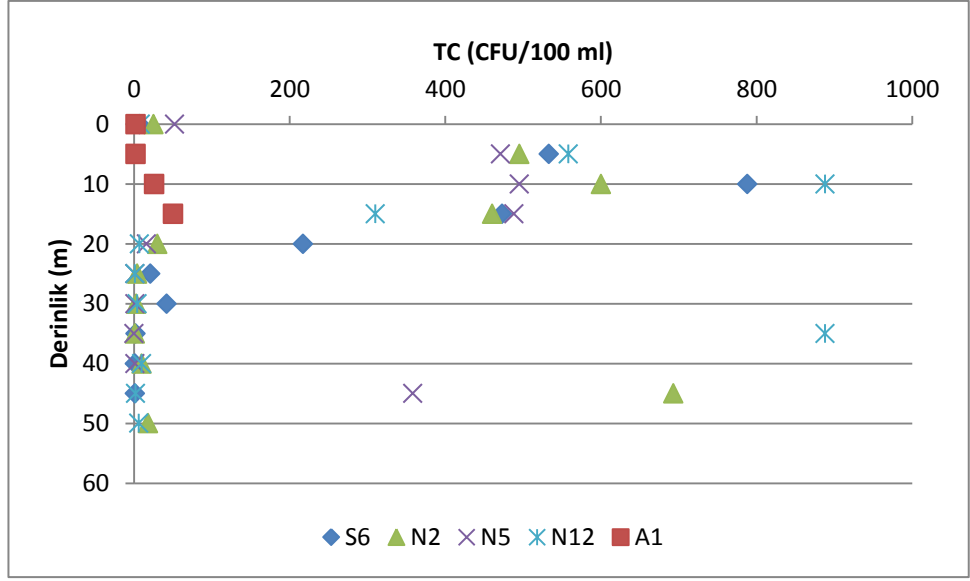
Örnekleme İst.	S2		S3		S6		N8		N12	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	5	2	2	1	7	5	8	0	8	1
5	41	14	1	1	533	309	2	1	558	108
10	16	6	11	5	788	300	6	1	888	364
15	13	7	10	3	473	299	14	7	310	138
20	212	81	5	2	217	74	2	2	7	2
25	4	2	3	1	21	5	2	1	1	1
30	1	1	2	0	42	25	1	0	4	2
35	4	0	5	0	2	1	0	1	888	412
40	0	1	2	0	1	0	0	0	10	4
45	1	1	1	0	1	1	0	1	2	0
50	2	0	1	0			1	0	6	5

Sıçan Adası çevresindeki 4 noktadan (A1, A2, A3 ve A4) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.16’da verilmektedir. Ada çevresi istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (1-50 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-20 CFU/100 ml) çok düşük sayılarda gözlenmiştir.

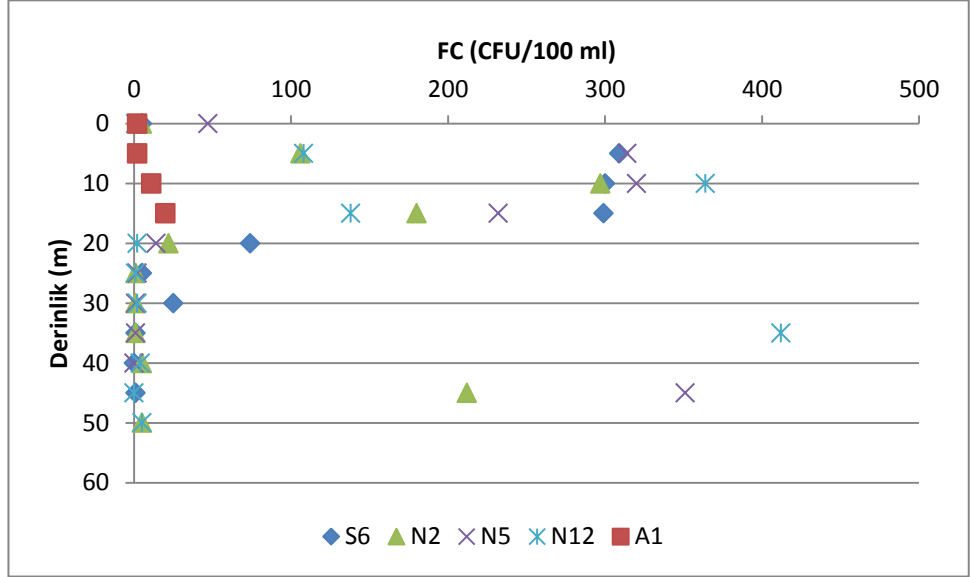
Çizelge 4.16. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 mL)

Örnekleme İst.	A1		A2		A3		A4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	2	2	1	0	1	0	1	0
5	2	2	7	2	42	8	1	1
10	26	11	39	12			32	14
15	50	20						

Şekil 4.30’da kış mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.30. Kış mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform

4.3.3. İlkbahar mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları

Antalya Körfezi'nde ilkbahar mevsimini temsilen 11-13 Mayıs 2009 tarihleri arasında deşarj noktası ve çevresinde belirlenen 24 örnekleme istasyonunda yürütülen bakteriyolojik su kalite izleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Yakın bölge olarak adlandırılan deniz deşarj hattı üzeri ve yakın

çevresindeki noktalardan (S0, N1, N2, N3 ve N4) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.17’de verilmektedir.

Çizelge 4.17. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S0		N1		N2		N3		N4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	88	39	0	0	0	0	3	0
30	1	0	114	26	0	0	1	0	0	0
35	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
40	1	0	4	0	0	0	0	0	11	19
45	0	0	35	5	0	0	2	0	1	0
50	0	0			0	0	1	0		

S0, N1, N2, N3 ve N4 no’lu yakın bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-114 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayılarının (0-39 CFU/100 ml) birbirine paralellik göstererek çok düşük sayılarda (N1 nolu istasyonda 25-30 metre derinlikleri arası hariç) olduğu gözlenmiştir.

Ara bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S1, N5, N6 ve N7) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.18’de verilmektedir. Ara bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-13 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-5 CFU/100 ml) çok düşük sayılarda gözlenmiştir.

Çizelge 4.18. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S1		N5		N6		N7	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	1
15	0	0	0	0	0	0	2	1
20	13	5	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	1	0
30	0	0	1	0	0	0	1	0
35	0	0	1	0	1	0	1	0
40	1	0	0	0	1	0	1	0
45			4	0	2	0	0	0
50					0	0	0	0

Uzak bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S4, S5, S11, N9, N10, N11, S2, S3, S6, N8 ve N12) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelgeler 4.19 ve 4.20’de verilmektedir.

Çizelge 4.19. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S4		S5		S11		N9		N10		N11	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0
5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0
15	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0
20	10	6	1	0	4	0	0	0	1	0	3	0
25	45	16	1	0	10	6	26	13	1	0	2	0
30	1	0	6	4			143	79	5	0	1	0
35	2	1	1	0			12	7	11	0	1	0
40	2	0					37	32				
45	0	0										
50												

Çizelge 4.20. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S2		S3		S6		N8		N12	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
30	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0
35	0	0	1	0	0	0	3	0	1	0
40	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
45	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0			1	0	0	0

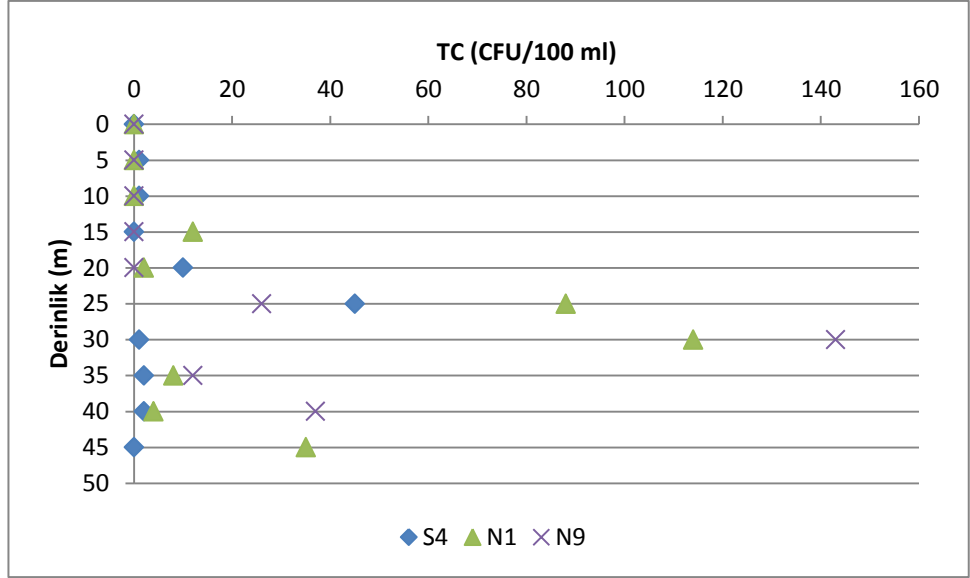
Uzak bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-143 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-79 CFU/100 ml) birbirine paralellik göstererek pek çok istasyon için düşük sayılarda gözlenmiştir.

Sıçan Adası çevresindeki 4 noktadan (A1, A2, A3 ve A4) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.21’de verilmektedir. Ada çevresi istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-3 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-1 CFU/100 ml) çok düşük sayılarda gözlenmiştir.

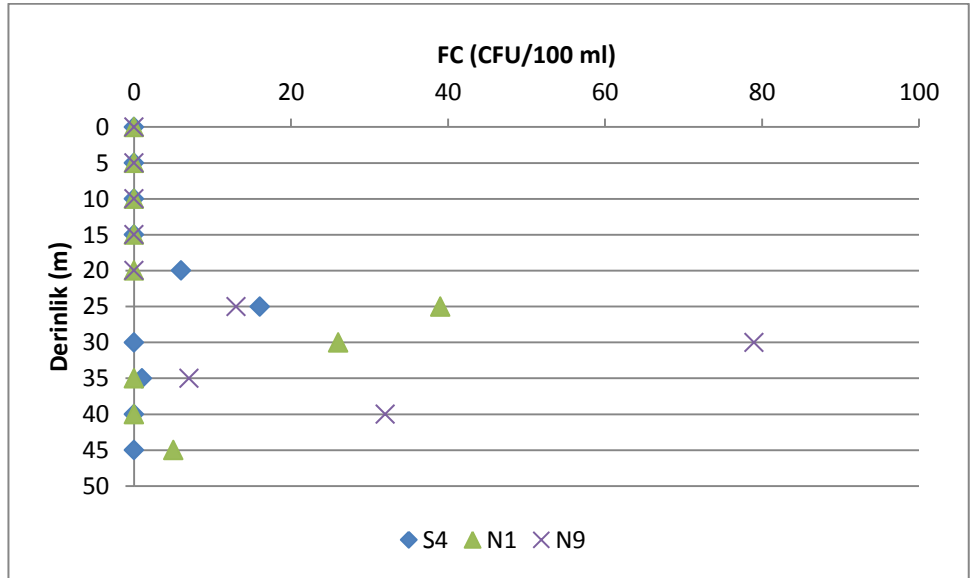
Çizelge 4.21. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	A1		A2		A3		A4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	0	0	1	0	2	0
5	2	0	1	0	0	0	2	0
10	1	1	1	0			3	0
15	2	1						

Şekil 4.31’de ilkbahar mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.31.İlkbahar mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform

4.3.4. Yaz mevsimi bakteriyolojik su kalite izleme çalışmaları

Antalya Körfezi'nde yaz mevsimini temsilen 20-22 Temmuz 2009 tarihleri arasında 24 örnekleme istasyonunda yürütülen bakteriyolojik su kalite izleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Yakın bölge olarak adlandırılan deniz deşarj hattı üzeri ve yakın çevresindeki noktalardan (S0, N1, N2, N3 ve N4) alınan

deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.22’de verilmektedir.

Çizelge 4.22. Yakın bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S0		N1		N2		N3		N4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	9	0	0	0	5	0	1	0	4	0
5	0	1	0	0	2	0	0	0	3	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
20	4	0	0	0	2	0	1	0	1	0
25	3	0	0	0	6	0	1	0	0	0
30	0	1	139	39	284	263	2	1	3	0
35	3	1	3	2	5	3	202	110	43	20
40	0	0	256	126	3	0	3	3	2	1
45	0	0			2	1	0	1	77	34
50					1	0	7	10		

S0 ve N4 no’lu yakın bölge istasyonlarda derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-77 CFU/100 ml) ile fekal koliform sayıları (0-34 CFU/100 ml) birbirine paralellik göstererek düşük sayılarda gözlenmiştir. N1, N2 ve N3 no’lu istasyonlarda yüzeyden 30-40 metre derinlikte koliformların yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu istasyonlardaki toplam koliform sayıları 0-284 CFU/100 ml, fekal koliform sayıları ise 0-263 CFU/100 ml aralığında değişmektedir.

Ara bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S1, N5, N6 ve N7) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.23’de verilmektedir. Ara bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-214 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-134 CFU/100 ml) çok düşük sayılarda gözlenmiştir. Diğer istasyonlardan farklı olarak S1 no’lu istasyonda yüzeyden 35-40 metre derinlikte diğer derinliklere göre daha yüksek sayıda koliforma rastlanmıştır.

Uzak bölge olarak adlandırılan örnekleme noktalarından (S4, S5, S11, N9, N10, N11, S2, S3, S6, N8 ve N12) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’de verilmektedir.

Çizelge 4.23. Ara bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S1		N5		N6		N7	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	4	0	2	0	3	0	3	0
5	13	0	0	0	1	0	0	0
10	11	0	0	0	0	0	1	0
15	10	0	0	0	1	0	0	0
20	4	0	1	0	0	0	5	0
25	1	0	3	0	3	1	1	0
30	1	0	80	31	57	36	7	0
35	214	134	8	2	5	0	8	3
40	119	74	2	0	13	3	0	0
45			5	0	4	0	2	1
50					24	13	0	1

Çizelge 4.24. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	S4		S5		S11		N9		N10		N11	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	9	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0
5	7	0	1	0	0	0	5	0	0	0	3	0
10	0	0	4	0	0	0	2	0	1	0	1	0
15	38	0	4	0	0	0	1	0	4	0	0	0
20	24	0	17	0	30	8	0	0	7	1	3	0
25	14	0	264	144	25	6	6	0	85	57	5	1
30	16	0	329	139			0	0	157	103	85	62
35	11	0	19	7			11	9	39	12	106	55
40	5	0					11	7				
45	8	0										
50												

Uzak bölge istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-329 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-144 CFU/100 ml) birbirine paralellik göstererek düşük sayılarda gözlenmiştir. S5, N10 ve N11 no'lu istasyonlarda yüzeyden 25-30 metre derinlikteki koliform sayılarının diğer derinliklere ve uzak bölge istasyonlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.25. Uzak bölgede derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

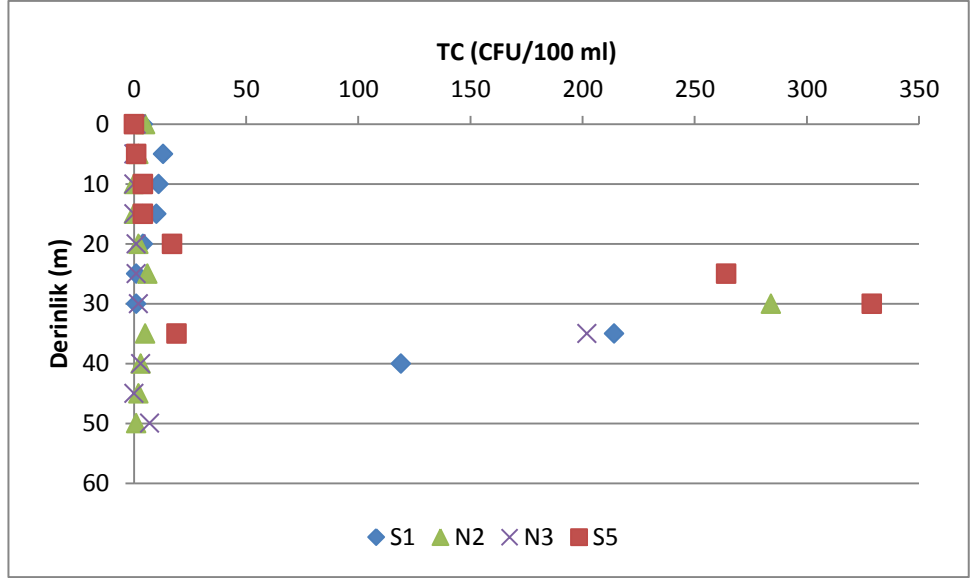
Örnekleme İst.	S2		S3		S6		N8		N12	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	21	0	0	0	6	0	2	0
5	0	0	33	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	31	0	4	0	0	0	0	0
15	9	0	22	0	2	0	1	0	0	0
20	5	0	31	0	0	0	0	0	0	0
25	17	7	0	0	12	3	5	0	85	49
30	7	0	5	0	69	54	0	0	3	0
35	12	1	0	0	17	8	8	0	0	0
40	5	1	42	17	4	0	2	0	0	0
45	7	1	2	0			2	0	1	1
50	3	3	9	0			2	3	6	2

Sıçan Adası çevresindeki 4 noktadan (A1, A2, A3 ve A4) alınan deniz suyu numunelerinin toplam ve fekal koliform analiz sonuçları Çizelge 4.26’da verilmektedir. Ada çevresi istasyonlarında derinlik boyunca toplam koliform sayıları (0-44 CFU/100 ml) ve fekal koliform sayıları (0-1 CFU/100 ml) çok düşük sayılarda gözlenmiştir.

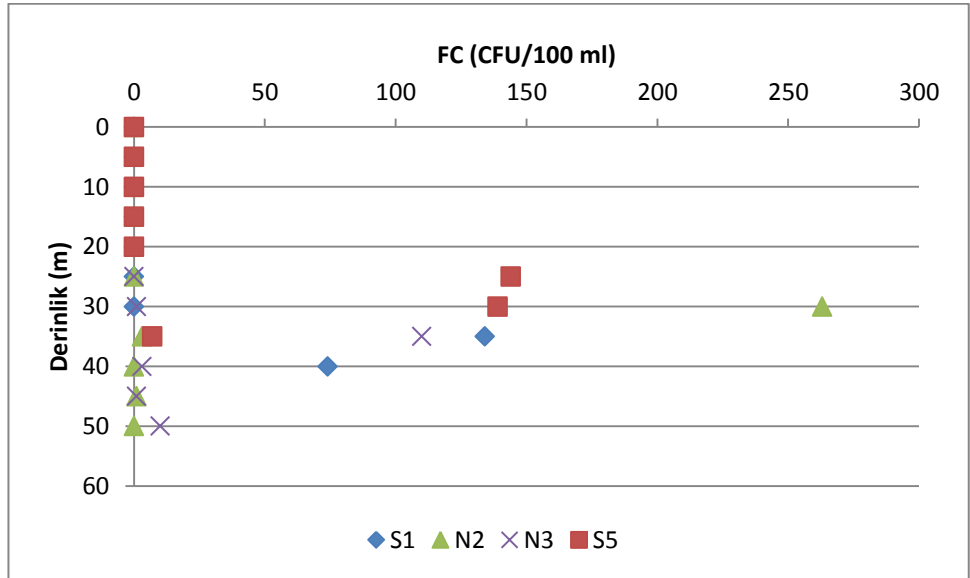
Çizelge 4.26. Ada çevresinde derinlikle toplam koliform (TC) ve fekal koliform (FC) sayıları (CFU/100 ml)

Örnekleme İst.	A1		A2		A3		A4	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	10	0	0	0	17	0	1	0
5	10	0	0	0	9	0	37	0
10	39	0	0	0			44	0
15	38	1	0	0				

Şekil 4.32’de yaz mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.32. Yaz mevsimi çalışmaları sırasında yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanan istasyonlardaki bakteri sayılarının derinlikle değişimi (a) toplam koliform; (b) fekal koliform

4.4. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar ortamında yapılan çalışmaların amacı kontrollü koşullar altında bakteriyel inaktivasyonu etkileyen parametrelerin incelenmesidir. Deneylerde, farklı ortam koşulları için farklı yöntemler kullanılarak, pek çok farklı durum için bakteriyel inaktivasyon hızları tespit edilmiştir. Söz konusu deneylerden elde edilen sonuçlar ilgili başlıklar altında detaylı olarak sunulmaktadır.

4.4.1. Karanlık ortam deneyleri

Karanlık ortam deneyleri, gece şartlarını ve özellikle batmış tarla durumunun mevcut olduğu dönemlerde, ışığın bakteriyel inaktivasyon üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği koşulları temsil etmektedir. Özellikle üçüncü seyrelme prosesinin modellenmesi açısından sadece sıcaklık ve tuzluluğun etkisi altında bakteriyel inaktivasyon hızının hangi mertebelerde olacağını tesbiti açısından karanlık ortam deneyleri yapılmıştır. Deneyler mevsim koşullarını temsil edebilmek açısından 4 farklı sıcaklık değerinde yapılırken, elde edilen sonuçların daha global bir şekilde kullanılabilirliğini sağlamak açısından farklı tuzluluk değerleri de çalışılmıştır. Bu şekilde, bakteriyel inaktivasyon hızını (k_d), dolayısıyla T_{90} parametresini farklı sıcaklık ve tuzluluk değerleri altında tahmin edebilen eşitlikler geliştirilmiştir. Karanlık ortamda, yapılan deneylere ait sıcaklık ve tuzluluk değişkenleri Çizelge 4.27’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.27. Karanlık ortam deneylerinde kullanılan değişken parametreler ve değerleri

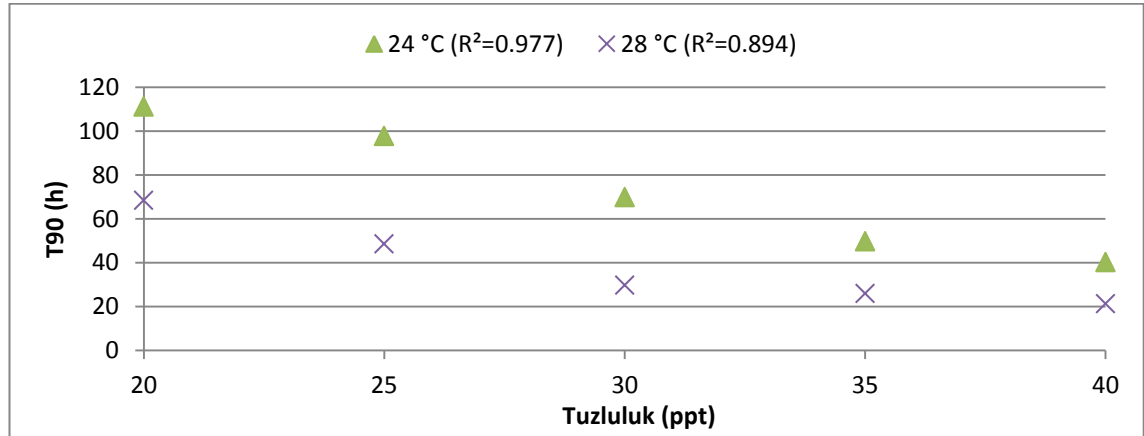
Deney No	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (ppt)	Işık Şiddeti (W/m ²)
1	16	20-25-30-35-40	0
2	20	20-25-30-35-40	0
3	24	20-25-30-35-40	0
4	28	20-25-30-35-40	0

Çizelge 4.27’de verilen sıcaklık ve tuzluluk değerleri için TC, FC ve *E.Coli* bakterileri için elde edilen k_d ve T_{90} değerleri sırasıyla Çizelge 4.28, 4.29 ve 4.30’da; karanlık ortamda T_{90} değerlerinin tuzlulukla değişimi ise Şekiller 4.33, 4.34 ve 4.35’de sunulmaktadır. TC bakterileri için yapılan karanlık ortam denemelerinde, 16 ve 20

°C’de yapılan denemelerde atipik kolonilere rastlanılmış, söz konusu sıcaklıklarda TC için deneyler tekrar edilse de sonuç alınamamıştır. Bu sebeple TC grubu bakterileri için sadece 24 ve 28 °C’de yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Çizelge 4.28. Toplam koliform bakterileri için 24 ve 28 °C’de yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d (1/sa) ve T_{90} (sa) değerleri

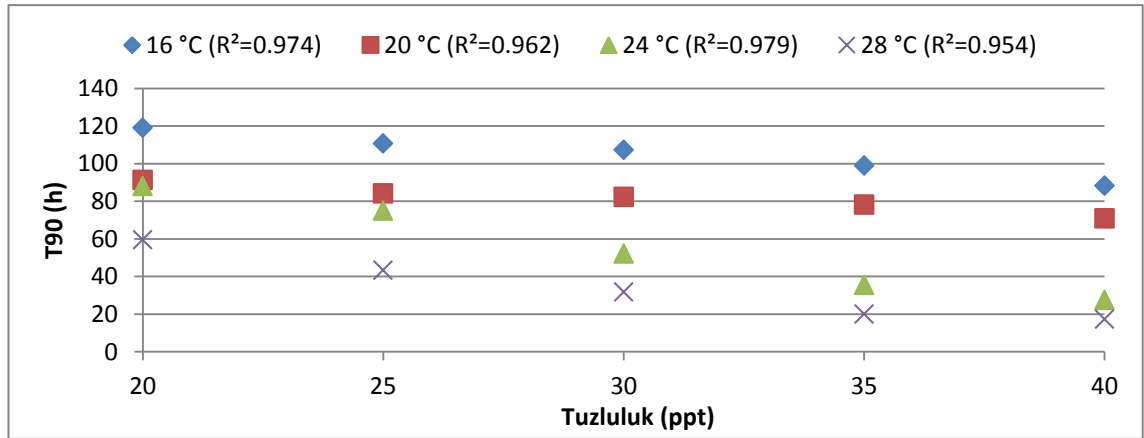
Sıcaklık (°C)	24		28	
Tuzluluk (ppt)	TC		TC	
20	k_d	0,021	k_d	0,034
	T_{90}	111,13	T_{90}	68,36
	R^2	0,990	R^2	0,961
25	k_d	0,023	k_d	0,047
	T_{90}	97,65	T_{90}	48,55
	R^2	0,998	R^2	0,98
30	k_d	0,033	k_d	0,077
	T_{90}	69,84	T_{90}	29,72
	R^2	0,971	R^2	0,916
35	k_d	0,046	k_d	0,088
	T_{90}	49,67	T_{90}	25,97
	R^2	0,972	R^2	0,956
40	k_d	0,057	k_d	0,108
	T_{90}	40,18	T_{90}	21,33
	R^2	0,965	R^2	0,988



Şekil 4.33. Toplam koliform bakterileri için karanlık ortamda T_{90} değerlerinin sıcaklık ve tuzlulukla değişimi

Çizelge 4.29. Fekal koliform bakterileri için 16, 20, 24 ve 28 °C'de yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d (1/sa) ve T_{90} (sa) değerleri

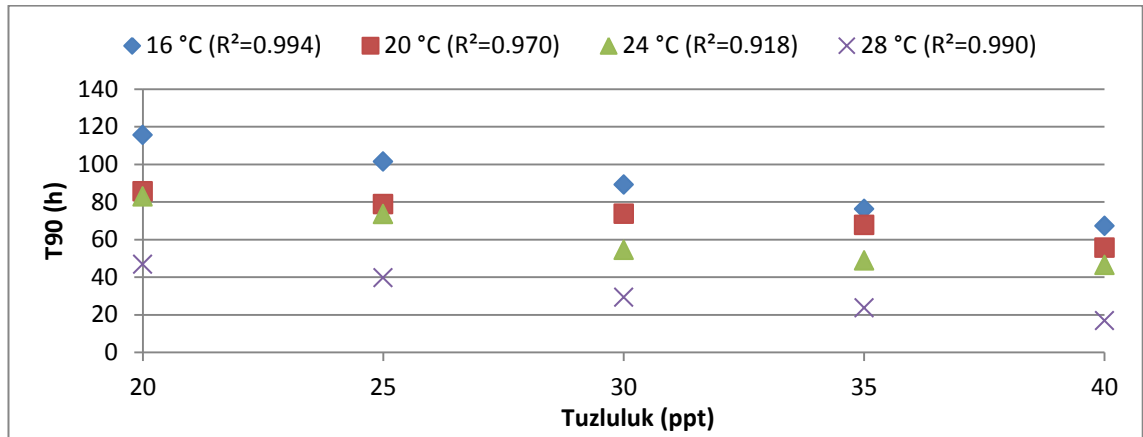
Sıcaklık (°C)	16		20		24		28	
Tuzluluk (ppt)	FC		FC		FC		FC	
20	k_d	0,019	k_d	0,025	k_d	0,026	k_d	0,039
	T_{90}	119,04	T_{90}	91,27	T_{90}	88,03	T_{90}	59,51
	R^2	0,967	R^2	0,914	R^2	0,991	R^2	0,963
25	k_d	0,021	k_d	0,027	k_d	0,031	k_d	0,053
	T_{90}	110,71	T_{90}	84,15	T_{90}	74,96	T_{90}	43,35
	R^2	0,918	R^2	0,974	R^2	0,956	R^2	0,846
30	k_d	0,021	k_d	0,028	k_d	0,044	k_d	0,072
	T_{90}	107,33	T_{90}	82,33	T_{90}	52,22	T_{90}	31,84
	R^2	0,95	R^2	0,953	R^2	0,967	R^2	0,885
35	k_d	0,023	k_d	0,029	k_d	0,065	k_d	0,114
	T_{90}	99,07	T_{90}	78,26	T_{90}	35,50	T_{90}	20,09
	R^2	0,814	R^2	0,959	R^2	0,947	R^2	0,863
40	k_d	0,026	k_d	0,032	k_d	0,084	k_d	0,132
	T_{90}	88,28	T_{90}	70,88	T_{90}	27,48	T_{90}	17,38
	R^2	0,433	R^2	0,942	R^2	0,951	R^2	0,990



Şekil 4.34. Fekal koliform bakterileri için karanlık ortamda T_{90} değerlerinin sıcaklık ve tuzlulukla değişimi

Çizelge 4.30. *E.Coli* bakterileri için 16, 20, 24 ve 28 °C’de yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d (1/sa) ve T_{90} (sa) değerleri

Sıcaklık (°C)	16	20	24	28				
Tuzluluk	<i>E.Coli</i>	<i>E.Coli</i>	<i>E.Coli</i>	<i>E.Coli</i>				
20	k_d	0,020	k_d	0,027	k_d	0,028	k_d	0,049
	T_{90}	115,42	T_{90}	85,63	T_{90}	82,81	T_{90}	46,75
	R^2	0,989	R^2	0,968	R^2	0,957	R^2	0,936
25	k_d	0,023	k_d	0,029	k_d	0,031	k_d	0,058
	T_{90}	101,44	T_{90}	78,73	T_{90}	73,43	T_{90}	39,65
	R^2	0,88	R^2	0,963	R^2	0,796	R^2	0,969
30	k_d	0,026	k_d	0,031	k_d	0,042	k_d	0,078
	T_{90}	89,11	T_{90}	73,63	T_{90}	54,50	T_{90}	29,28
	R^2	0,951	R^2	0,836	R^2	0,957	R^2	0,933
35	k_d	0,030	k_d	0,034	k_d	0,047	k_d	0,097
	T_{90}	76,12	T_{90}	67,70	T_{90}	48,86	T_{90}	23,61
	R^2	0,998	R^2	0,945	R^2	0,927	R^2	0,962
40	k_d	0,034	k_d	0,041	k_d	0,049	k_d	0,136
	T_{90}	67,21	T_{90}	55,61	T_{90}	46,41	T_{90}	16,85
	R^2	0,996	R^2	0,728	R^2	0,915	R^2	0,973



Şekil 4.35. *E.Coli* bakterileri için karanlık ortamda T_{90} değerlerinin sıcaklık ve tuzlulukla değişimi

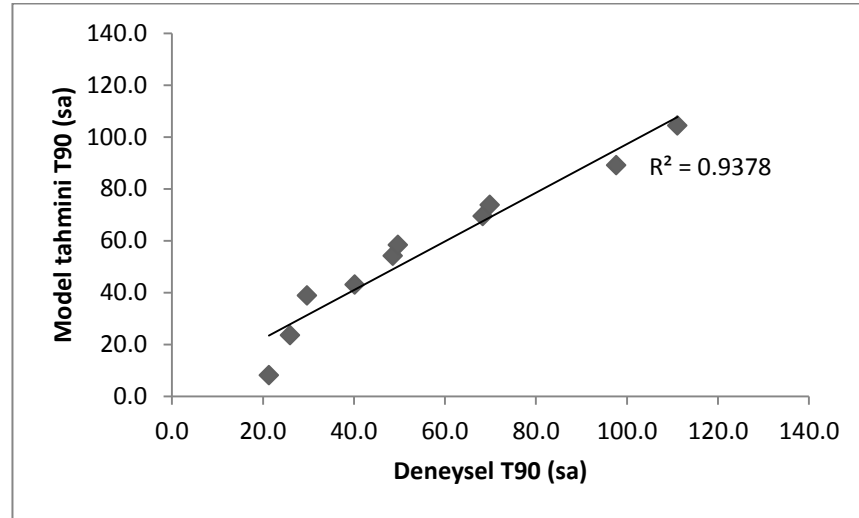
Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen T_{90} değerlerinin, çalışılan sıcaklık ve tuzluluk setleri ile birlikte değerlendirilmesi ve T_{90} parametresi ile sıcaklık (T , °C) ve tuzluluk (S , ppt) arasındaki ilişkiyi ifade edebilmek amacıyla çoklu lineer regresyon analizleri yapılmıştır. *TC*, *FC* ve *E. Coli* bakterileri için çoklu lineer regresyon analizleri sonucu elde edilen eşitlikler sırasıyla Eşitlikler 4.1-4.3 ile verilmektedir.

$$T_{90} (TC)=375,100-3,065*S-8,727*T \quad (4.1)$$

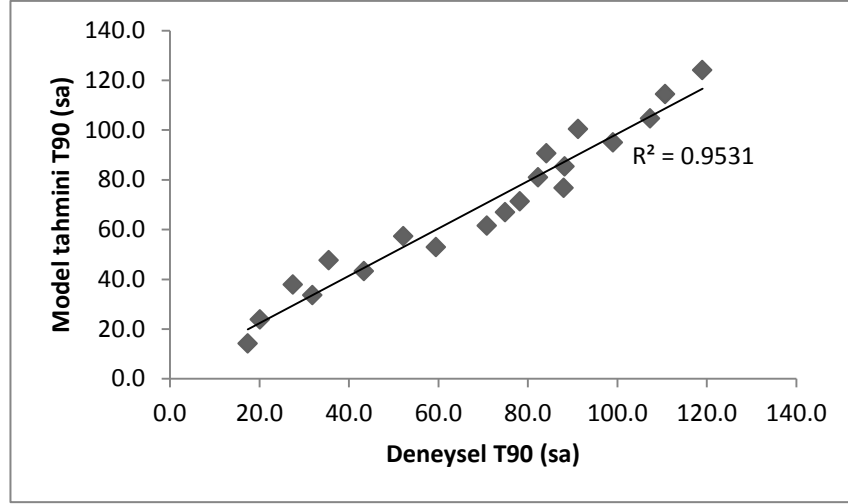
$$T_{90} (FC)=257,669-1,939*S-5,927*T \quad (4.2)$$

$$T_{90} (EC)=221,361-1,829*S-4,673*T \quad (4.3)$$

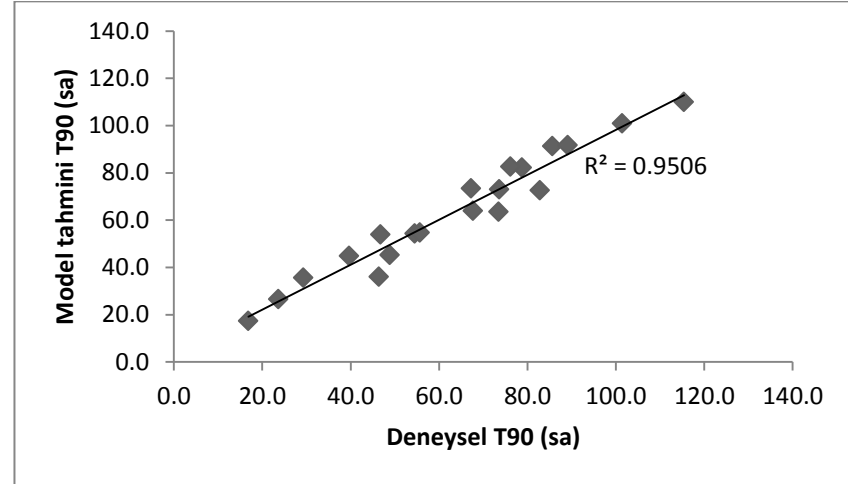
Elde edilen eşitlikler kullanılarak tahmin edilen T_{90} değerleri, deneysel olarak bulunan T_{90} değerlerine karşı test edilmiş ve aralarında oldukça yüksek bir korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır. Şekiller 4.36, 4.37 ve 4.38’de regresyon tahminleri sonucu elde edilen T_{90} değerlerinin deneysel T_{90} değerleri ile ilişkileri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.36. TC bakterileri için elde edilen regresyon eşitliği tahminlerine karşı deneysel sonuçlar



Şekil 4.37. FC bakterileri için elde edilen regresyon eşitliği tahminlerine karşı deneysel sonuçlar



Şekil 4.38. E. Coli bakterileri için elde edilen regresyon eşitliği tahminlerine karşı deneysel sonuçlar

Karanlık ortam deneyleri sonucu elde edilen regresyon eşitlikleri, model doğrulaması için literatürdeki benzer deneysel çalışmaların sonuçlarıyla test edilmiştir. Literatürde özellikle FC grubu bakteriler kullanılarak yapılan çok sayıda deneysel çalışma mevcuttur. Ancak, karanlık ortam için tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar kadar geniş tuzluluk ve sıcaklık aralığında bir çalışma mevcut olmayıp dolayısıyla geliştirilen regresyon eşitliklerine benzer eşitlikler de bulunmamaktadır. Buna rağmen, özellikle Gabutti vd (2000), Noble vd (2004) ve Sinton vd (1994) yöntem olarak, tez çalışmasında kullanılan yöntemle benzer bir yöntemle FC bakterilerinin karanlık koşullarda değişik sıcaklık ve tuzluluk değerleri altında inaktivasyon hızlarının

belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Söz konusu çalışmalarda kullanılan sıcaklık ve tuzluluk değerleri tez çalışması kapsamında FC bakterileri için geliştirilen regresyon eşitliğinin test edilmesi için kullanılmıştır.

Gabutti vd (2000), çalışmasında 22°C’de 27 ppt ve 35 ppt tuzluluk altında FC bakterileri için T₉₀ değerlerini sırasıyla 72 sa ve 48 sa olarak bulmuştur. Noble vd (2004)’nin çalışmasında 33 ppt sabit tuzluluk altında, 14 °C ve 20 °C için yaptığı çalışmalarda T₉₀ değerlerini sırasıyla 109,7 sa ve 79,4 sa olarak bulmuştur. Bunlara ilaveten Sinton vd (1994) karanlık ortamda 32,5 ppt tuzluluk değeri için 10 ve 20 °C sıcaklık değerlerinde FC bakterilerine ait T₉₀ değerlerini sırasıyla 115 sa ve 82,3 sa olarak bulmuştur.

Yukarıda verilen tuzluluk ve sıcaklık koşulları, geliştirilen FC eşitliğine girilerek söz konusu sıcaklık ve tuzluluk değerleri altında T₉₀ tahminleri elde edilmiş, bu tahminler de söz konusu çalışmaların gerçek sonuçlarıyla kıyaslanarak, gerçek verilerle uyumluluğu değerlendirilmiştir. Çizelge 4.31’de çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile eşitlik tahminleri birlikte verilmektedir (Yalçın ve Muhammetoğlu 2011).

Çizelge 4.31. Literatürdeki benzer çalışma sonuçlarıyla FC bakterileri için geliştirilen eşitlikten elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Referans çalışma	Tuzluluk (ppt)	Sıcaklık (°C)	Referans çalışmada sunulan T ₉₀ (sa)	Geliştirilen eşitlikle T ₉₀ tahmini (sa)	Hata (%)
Sinton vd (1994)	32,5	10	115	135	17,4
		20	82,3	76	7,7
Gabutti vd (2000)	27	22	72	74	2,8
	35		48	59	22,9
Noble vd (2004)	33	14	109,7	110	0,3
		20	79,4	75	5,5

Çizelge 4.31 incelendiğinde, geliştirilen regresyon eşitliğinin literatürde FC bakterileri için farklı tuzluluk ve sıcaklık değerleri altında elde edilen T₉₀ değerlerini oldukça düşük hatalarla tahmin edebildiği sonucuna varılmaktadır. TC ve EC bakterileri için benzer çalışmalar bulunmadığı için benzer bir yaklaşımla eşitlik doğrulaması yapılamamış olsa da sonuçların aynı deney seti içerisinde elde edildiğinden oluşturulan

regresyon eşitliklerinin, özellikle batmış tarla durumunun söz konusu olduğu ortamlarda T_{90} parametresinin tahmininde ve dolayısıyla deniz deşarj yapılarının boyutlandırılması sırasında bakteriyel inaktivasyona bağlı seyrelme değerlerinin hesaplanmasında kullanılabileceği düşünülmektedir.

4.4.2. Işıklı ortam deneyleri

4.4.2.1. Değişen ışık şiddetlerinin bakteriyel inaktivasyona etkisi

Işıklı ortam deneylerinde, atmosferik güneş spektrumu, güneş simülatörü vasıtasıyla laboratuvar ortamında simüle edilerek, bu spektrum altında değişen ışık şiddetlerinde bakteriyel inaktivasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında sıcaklık ve tuzluluk sabit tutulmuş olup, deniz yüzeyindeki mevsimsel ortalama değerler olan 24 °C sıcaklık ve 28 ppt tuzluluk değerleri kullanılmıştır. 800 W/m² değerindeki maksimum ışık şiddetine ilaveten 600, 400, 200 ve 100 W/m² olmak üzere deneyler toplamda beş farklı ışık şiddeti için yapılmıştır. Deneyler sonucu TC, FC ve *E.coli* için elde edilen k_d ve T_{90} sonuçları sırasıyla Çizelgeler 4.32, 4.33 ve 4.34’de, k_d ve T_{90} ’ın ışık şiddeti ile değişimi de Şekiller 4.39 ve 4.40’da verilmektedir.

Çizelge 4.32. Değişen ışık şiddetleri altında TC için k_d ve T_{90} değerleri

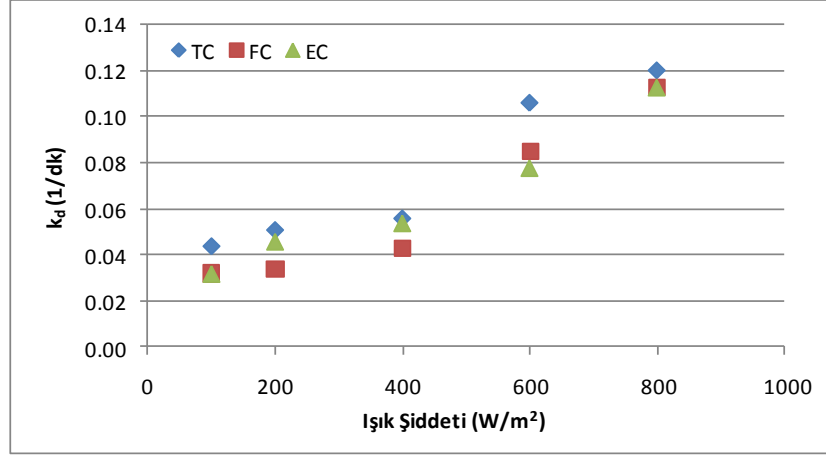
TC	Işık Şiddeti (W/m ²)				
	800	600	400	200	100
k_d (1/dk)	0,120	0,106	0,056	0,051	0,044
T_{90} (dk)	19,2	21,7	40,6	44,7	52,2
R^2	0,989	0,987	0,981	0,964	0,962

Çizelge 4.33. Değişen ışık şiddetleri altında FC için k_d ve T_{90} değerleri

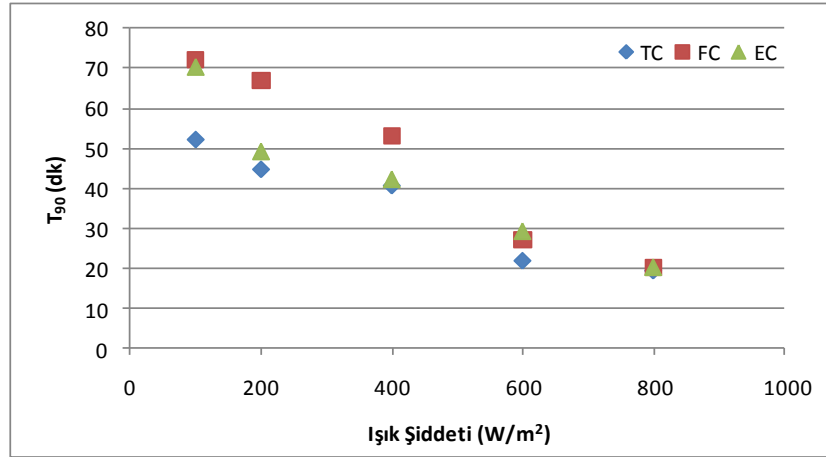
FC	Işık Şiddeti (W/m ²)				
	800	600	400	200	100
k_d (1/dk)	0,113	0,085	0,043	0,034	0,0319
T_{90} (dk)	20,3	27,0	53,2	66,8	72,0
R^2	0,914	0,975	0,990	0,984	0,983

Çizelge 4.34. Değişen ışık şiddetleri altında *E.coli* için k_d ve T_{90} değerleri

EC	Işık Şiddeti (W/m^2)				
	800	600	400	200	100
k_d (1/dk)	0,113	0,078	0,054	0,046	0,032
T_{90} (dk)	20,3	29,3	42,3	49,3	70,4
R^2	0,999	0,991	0,963	0,949	0,989



Şekil 4.39. Her üç deney grubu için k_d değerinin ışık şiddeti ile değişimi



Şekil 4.40. Her üç deney grubu için T_{90} değerinin ışık şiddeti ile değişimi

Çalışma bölgesi olan Antalya Körfezi'nde yıl içinde bir metrekareye düşebilecek teorik maksimum ışık şiddeti yaklaşık $800 W/m^2$ civarındadır (Yiğit ve Atmaca 2010). Bu veriden yola çıkılarak yaz aylarında öğle saatlerinde T_{90} süresinin deniz yüzeyinde 20 dk'ya kadar düşebileceği sonucuna varılmaktadır.

1993 yılı yaz (Mayıs ayı) ve kış (Ocak ayı) mevsimlerinde, Antalya Körfezi'nde Aral vd (1995)'nin yürüttüğü arazi çalışmalarında T_{90} değerini belirlemek üzere araştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre T_{90} değerleri 22-74 dakika arasında değişmektedir. Yükselen vd (1995)'nin Marmara Denizi deniz deşarjı için T_{90} değerini belirlemek amacıyla yürüttüğü laboratuvar çalışmalarında, karanlık ve ışıklı ortam koşullarında sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin toplam koliform bakterilerinin inaktivasyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Güneş ışınım şiddetinin bakteriyel inaktivasyon hızı üzerine etkisinin incelendiği ışıklı ortam çalışmalarında deniz suyu numuneleri sabit sıcaklık ve farklı güneş ışınım şiddetlerine maruz bırakılmıştır. Sıcaklığın bakteriyel inaktivasyon üzerine etkisi ise güneş ışınım şiddeti faktörü izole edilerek incelenmiştir. Işıklı ortam deneylerinde, güneş ışınım şiddetleri 20-70 cal/cm^2 .sa arasında değişmekte olup T_{90} değerleri güneş ışınım şiddetine bağlı olarak 40-130 dk arasında değişmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere artan güneş ışınım şiddetleri ile T_{90} değeri ciddi miktarda azalmakta, özellikle güneş ışınım şiddetinin maksimum olduğu öğle saatlerinde bakteriyel inaktivasyon prosesi hızı ciddi biçimde artmakta ve T_{90} parametresi oldukça düşük değerler almaktadır. Tez çalışması kapsamında yapılan ışıklı ortam deneylerinde, maksimum ışık şiddeti olan 800 W/m^2 'de tüm bakteri grupları için T_{90} değeri birbirlerine oldukça yakın olup yaklaşık 20 dk civarında elde edilmiştir. Bu değer yukarıda bahsedilen çalışmaların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. T_{90} parametresinin düzenlendiği yasal mevzuat olan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde” 13.02.2008 tarihinde yapılan değişiklik ile yaz aylarında T_{90} değeri Akdeniz'de 1,5 saatten 1 saate düşürülmüştür (SKKY 2008).

DeneySEL çalışma sonucu elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde T_{90} süresinin azalan ışık şiddetlerine paralel bir şekilde artış gösterdiği ve minimum ışık şiddetinde (100 W/m^2) maksimum değerini aldığı görülmektedir. Çalışmalar sırasında her bir T_{90} değeri bir deneysel setten çıkarılmış olup, söz konusu deneysel setlere ait determinasyon katsayısının (R^2) minimum değeri 0,914 olarak elde edilmiştir.

4.4.2.2. Dalga boylarının bakteriyel inaktivasyona etkisi

Farklı ışık dalga boylarının bakteriyel inaktivasyon üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla 600 W/m^2 sabit ışık şiddetinde; 280-400 nm (UVB+UVA), 320-400 nm

(UVA), 390-480 nm (mavi), 400-1000 nm, 505-575 nm (yeşil), ve 615-730 nm (kırmızı) dalgaboyu aralıkları için yapılmıştır.

Deneyler sonucunda her bir dalgaboyu aralığı için elde edilen k_d , T_{90} ve R^2 değerleri Çizelge 4.35’de sunulmaktadır.

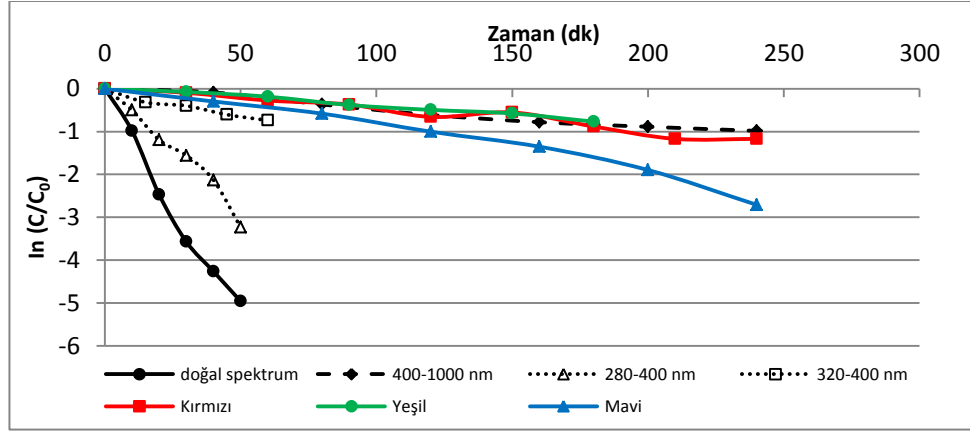
Çizelge 4.35. 600 W/m² ışık şiddetinde farklı dalgaboylarında yapılan deneyler sonucu elde edilen k_d , T_{90} ve R^2 değerleri

		Dalgaboyu aralığı (nm)						
		Doğal spektrum	280-400	320-400	400-1000	390-480 (Mavi)	505-575 (Yeşil)	615-730 (Kırmızı)
k_d (1/dk)	TC	0,1063	0,0587	0,0131	0,0044	0,0098	0,0036	0,0049
	FC	0,0851	0,0584	0,0047	0,0034	0,0069	0,0031	0,0032
	EC	0,0787	0,0520	0,0062	0,0038	0,0104	0,0042	0,0040
T_{90} (dk)	TC	21,7	39,3	175,8	519,6	235,3	639,4	469,6
	FC	27,1	39,4	491,2	679,4	334,4	746,1	714,4
	EC	29,3	44,3	369,8	613,1	222,4	549,7	582,8
R^2	TC	0,987	0,972	0,946	0,971	0,952	0,970	0,956
	FC	0,975	0,939	0,965	0,966	0,824	0,919	0,900
	EC	0,991	0,961	0,996	0,968	0,915	0,962	0,970

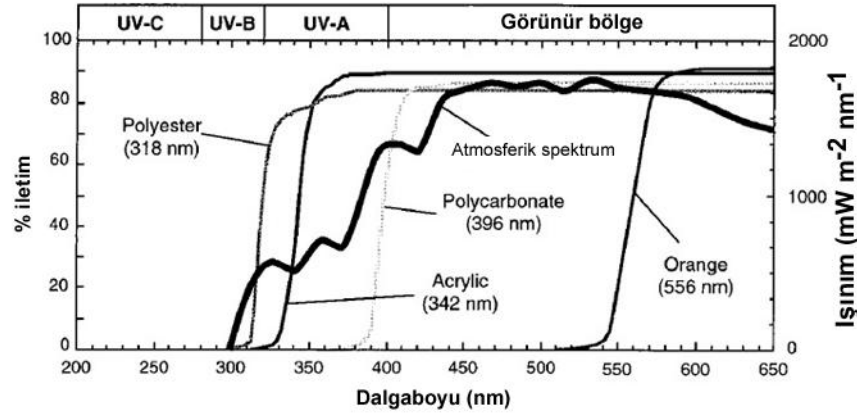
Yapılan deneyler sonucunda bakteriyel inaktivasyonda en etkili dalgaboyunun atmosferik UV aralığı olan 280-400 nm aralığı olduğu görülmüştür. Ancak buradaki inaktivasyon hızı tam güneş spektrumu altındaki inaktivasyon hızından daha düşük olarak bulunmuştur. Bu da tam güneş spektrumundaki diğer dalga boylarının da inaktivasyon prosesinde kısmen de olsa yer aldıkları anlamına gelmektedir. Dalgaboyu arttıkça inaktivasyon hızının giderek azaldığı deneyler sonucu belirlenmiştir. Mavi ışık spektrumunda, 400-1000 nm aralığı ile yeşil ve kırmızı ışık spektrumlarından daha hızlı bir inaktivasyon gözlenmiş, bunun nedeninin de mavi ışık spektrumu içinde oldukça düşük miktarda da olsa (390-400 nm) UV radyasyonunun bulunması olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.41’de TC bakterilerinin farklı dalgaboyu aralıklarındaki inaktivasyon eğrileri verilmektedir.

Deneyler sonucunda, farklı dalgaboyu aralıklarında elde edilen inaktivasyon eğrileri daha önce bu konuda yapılmış olan bazı çalışmaların sonuçlarıyla benzerlikler göstermektedir. Sinton vd (1999) tarafından yapılan çalışmada atıksu ile kirlenmiş deniz

suyundaki fekal bakteriler ile fekal bakteriyofajların güneş ışığı etkisinde inaktivasyonları araştırılmıştır. Bu çalışmada farklı dalgalıboylarının etkilerinin inaktivasyona etkisinin araştırılması amacıyla belirli dalgalıboylarında filtreleme sağlayan akrilik, polyester, polikarbonat gibi çeşitli filtreler kullanılarak ışık dalgalıboylarının inaktivasyona etkileri araştırılmıştır. Şekil 4.42’de çalışmada kullanılan filtrelere ait ışınımın spektrumları verilmektedir.



Şekil 4.41. Farklı dalgalıboyu aralıklarında TC inaktivasyon eğrileri



Şekil 4.42. Sinton vd (1999)'ne ait çalışmada kullanılan filtre spektrumları

Sinton vd (1999)'ne ait çalışma sonuçlarına göre toplam güneş spektrumunda inaktivasyon diğer spektrumlara göre daha etkin bir şekilde gelişmiş ve artan dalgalıboyları ile inaktivasyon da azalmıştır. İki çalışmada da 400 nm'nin üzerindeki dalgalıboylarında inaktivasyon hızının azaldığı ve en hızlı bakteriyel inaktivasyonun toplam güneş spektrumu altında gerçekleştiği sonucu paralellik göstermektedir.

4.5. Modelleme Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında Ekim 2008 – Temmuz 2009 dönemi içinde dört mevsimi temsil etmek üzere toplanan veriler ve matematiksel modeller kullanılarak seyrelme ve seyrelmeler sonucu deniz ortamında kalan koliform sayıları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında aşağıda belirtilen parametrelerin zamansal değişimleri dikkate alınmıştır.

- deşarj edilen atıksu debisi (günlük su tüketimlerine bağlı olarak gün içinde saatlik değişimlerin geliştiği bilinmekte olup Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nden elde edilen veriler dahilinde değişimler dikkate alınmıştır)
- deşarj edilen atıksu için başlangıç bakteri konsantrasyonu (deşarj edilen koliform sayısı atıksu debisi gibi saatlik, günlük ve mevsimsel değişimlere sahiptir, tez çalışması kapsamında Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan atıksu numunelerinden elde edilen analiz sonuçları kullanılmıştır)
- akıntı hızı ve yönü (alıcı ortamdaki akıntı oluşumları büyük oranda rüzgar hızı, derinlik boyunca yoğunluk değişimi ve diğer kıyı dinamiği etkileri altında büyük bir değişim göstermekte olup akıntı verileri hem HİDROTAM-3 modeli simülasyonları, hem de arazideki akıntı ölçümlerinden elde edilmiştir)
- T_{90} parametresi (mevsimlik ve gün içerisindeki saatlik değişimlerin yanı sıra farklı derinlikler için tanımlanması gerekmekte olup, tez çalışması kapsamında laboratuvar ortamında farklı mevsim koşullarını temsil eden T_{90} deneylerinin sonuçları kullanılmıştır)
- derinlik boyunca yoğunluk değişimi (deşarj bölgesinde yakın alan seyrelmesinin oluşumu açısından deniz ortamındaki yoğunluk değişimi büyük etki yaratmaktadır ve atıksu bulutunun tutsaklanmasına neden olmaktadır, bu nedenle tez çalışması kapsamında yoğunluğun derinlikle değişimi mevsimsel olarak ortaya konulmuştur).

Yukarıda bahsedilen parametreler ve zaman içerisindeki değişim özellikleri de dikkate alınarak, bir yıllık yoğun arazi ölçüm ve örnekleme çalışmalarından elde edilen veriler ile çalışma kapsamında kullanılan modellerin uyarlanmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Deniz ortamında, değişik mevsimlerde değişik rüzgar hız ve yönleri

altında akıntı çevrintilerinin ortaya konulabilmesi amacıyla kullanılan HİDROTAM-3 modelinin uyarlanması, sahada yapılan mevsimlik akıntı ölçümleri sonucu elde edilen veriler kullanılarak yapılmıştır. Bunu takiben bakteriyolojik kirliliğin belirlenmesi amacıyla saha çalışmalarının yapıldığı günlerdeki saatlik rüzgar yön ve hızları Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınarak, Akdeniz Körfezi'ne uyarlanmış olan¹ HİDROTAM-3 modeline girilmiştir. Bu şekilde, koliform bakterileri için yapılan örnekleme çalışmaları sırasındaki deniz ortamının akıntı durumu ortaya konmuş ve elde edilen akıntı hız ve yönleri seyrelme tahminlerinde kullanılmıştır.

Seyrelme proseslerinin modellenmesinde; birinci seyrelme (yakın alan seyrelmesi) Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından geliştirilen ve desteklenmekte olan Visual Plumes yazılımından yararlanılırken, uzak alan seyrelmelerinin modellenmesinde ise; dispersiyona bağlı seyrelme modellemesi için Brooks modeli (Brooks 1960), bakteriyolojik inaktivasyona bağlı seyrelmenin modellenmesi için birinci derece kinetik eşitliği kullanılmıştır. Modelleme çalışmaları sonucu elde edilen bakteriyolojik kirlilik değerleri saha çalışmalarında elde edilen değerler ile kıyaslanarak modelleme çalışması sonucu elde edilen kirlilik ile sahada saptanan kirliliğin merteye olarak uyumları değerlendirilmiştir.

Saha çalışmalarının güvenli bir biçimde yapılabilmesi amacıyla meteorolojik şartlar sürekli takip edilerek, her mevsim deniz ortamının en sakin olduğu dönemde saha çalışmalarının tamamlanması hedeflenmiştir. Söz konusu çalışmaların yapıldığı tarihlerdeki etkin rüzgar hızları ve yönleri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden daha sonra temin edilerek tez çalışması kapsamında kullanılmıştır. Gerçek zamanlı bu veriler Çizelge 4.36'da sunulmaktadır. Çizelge 4.36 incelendiğinde, saha çalışmalarının oldukça sakin deniz şartlarında yapıldığı görülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak yapılan hidrodinamik modelleme çalışmaları sonucunda oldukça düşük akıntı hızlarına rastlanmıştır.

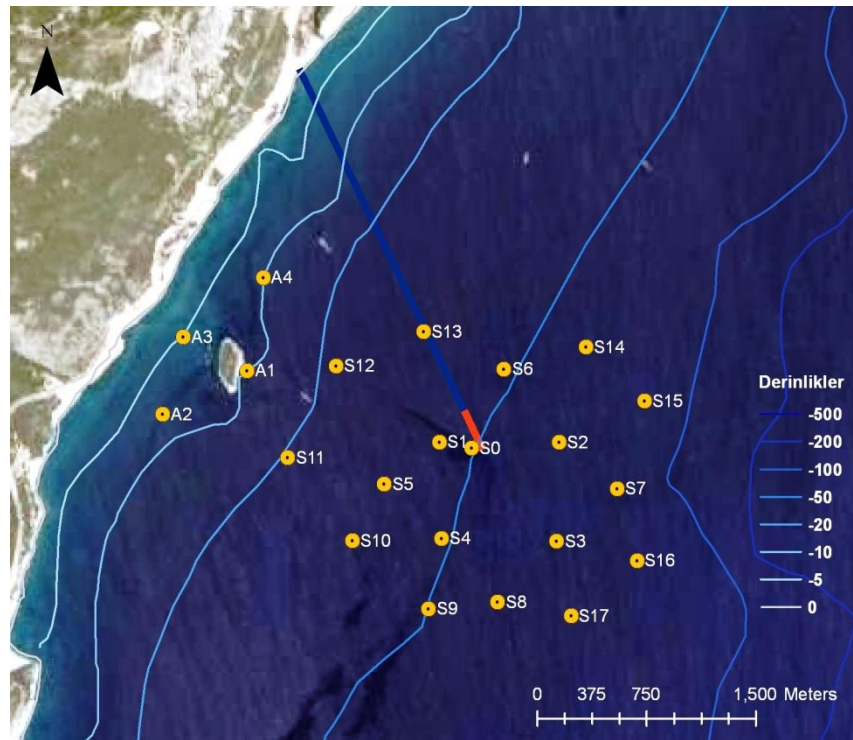
¹ HİDROTAM-3 üç boyutlu hidrodinamik modelinin Akdeniz Körfezi'ne uyarlanması, bu çalışmaya da altlık teşkil eden TÜBİTAK 107Y184 nolu araştırma projesi kapsamında, proje araştırmacısı olan Prof.Dr. Lale BALAS ve ekibi tarafından yapılmıştır.

Çizelge 4.36. Bakteriolojik izlemeye yönelik örnekleme çalışmalarının yapıldığı tarihlerdeki rüzgar hızı ve yönleri

Tarih	Saat	Rüzgar Hızı (m/s)	Yön	Tarih	Saat	Rüzgar Hızı (m/s)	Yön		
Sonbahar	20.10.2008	6:00	2,2	N	İlkbahar	11.05.2009	6:00	2,2	N
		7:00	2,5	N			7:00	2	N
		8:00	1,7	N			8:00	2	N
		9:00	1,2	N			9:00	2,4	N
		10:00	1,4	N			10:00	4,6	N
		11:00	1,9	SW			11:00	2,3	NW
	12:00	2,4	S	12:00		1,4	WSW		
	21.10.2008	6:00	2,2	N		12.05.2009	6:00	2,4	N
		7:00	2,7	NNW			7:00	1,4	N
		8:00	2,8	N			8:00	1,4	N
		9:00	2,4	N			9:00	0,8	SW
		10:00	1,6	NNW			10:00	1,2	SSW
		11:00	1,1	N			11:00	1,8	SW
	12:00	0,8	SE	12:00		2	S		
	22.10.2008	6:00	1,7	N		13.05.2009	6:00	1,8	N
		7:00	2,9	N			7:00	1,2	N
		8:00	2,1	NNE			8:00	0,8	NNE
		9:00	1,3	N			9:00	1	S
10:00		1	WNW	10:00	1,7		SSW		
11:00		2,2	SSE	11:00	1,8		S		
12:00	2,7	SSE	12:00	2,5	S				
Kış	17.02.2009	6:00	3,9	N	Yaz	20.07.2009	6:00	1,4	N
		7:00	3	N			7:00	1,9	N
		8:00	3,2	N			8:00	1,9	N
		9:00	4	N			9:00	1,9	N
		10:00	3,4	N			10:00	2	N
		11:00	3	N			11:00	1,6	NW
	12:00	2,2	NNW	12:00		1,1	NNW		
	18.02.2009	6:00	2,2	N		21.07.2009	6:00	1,9	N
		7:00	2,7	N			7:00	1,9	N
		8:00	2,2	N			8:00	1,9	N
		9:00	2	N			9:00	2,8	NNE
		10:00	0,8	NNE			10:00	2	N
		11:00	1,9	SSE			11:00	1,7	NNW
	12:00	4,3	SE	12:00		2	S		
	22.02.2009	6:00	1,9	N		22.07.2009	6:00	2,1	N
		7:00	3,6	N			7:00	1,9	N
		8:00	4	N			8:00	1,9	N
		9:00	3,2	N			9:00	2,1	NNE
10:00		2,9	NNW	10:00	1,7		NNE		
11:00		1,4	N	11:00	4,7		N		
12:00	1,5	NNE	12:00	3,9	NE				

4.5.1. Sonbahar dönemi için akıntı ve seyrelme tahminleri

Sonbahar döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması gerçekleştirilen istasyonların lokasyonları Şekil 4.43'de verilmektedir. Bu dönemde toplam 22 istasyonda toplam ve fekal koliform bakteri sayıları tespit edilmiştir. Sonbahar mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Çizelge 4.37'de sunulmaktadır. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları ise Çizelge 4.38'de verilmektedir.



Şekil 4.43. Sonbahar dönemi örnekleme istasyonlarının yapıldığı istasyonların lokasyonları (deşarj borusunun sonunda yer alan difüzör hattı kırmızı renk ile gösterilmiştir)

Çizelge 4.37. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları

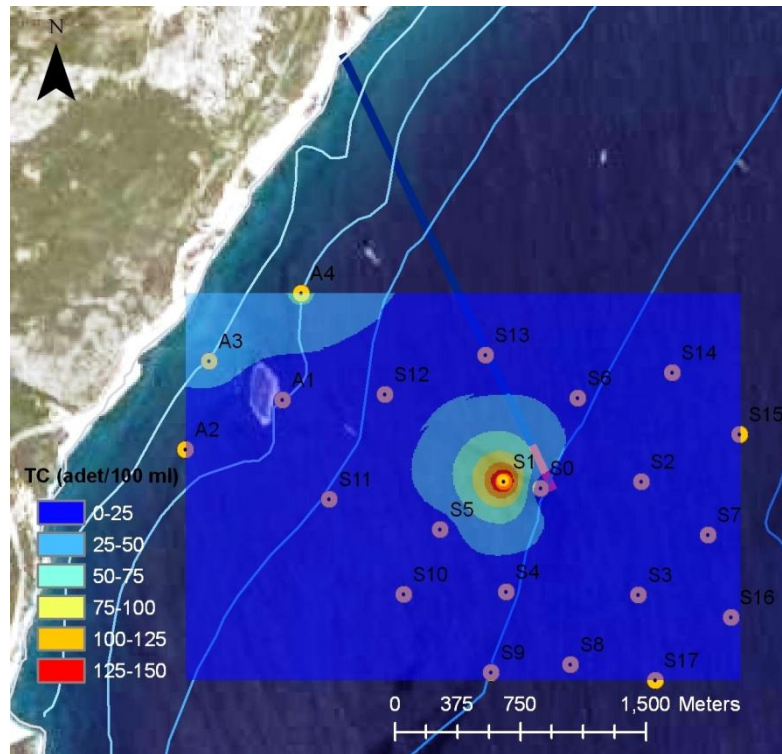
İstasyon	S1	S11	S14	S15
Mesafe (m)	250	1300	1000	1200

Örnekleme istasyonlarında tespit edilen kirleticilerin alansal dağılımlarının belirlenmesi için jeostatistik yöntemler kullanılarak haritalama çalışmaları yapılmıştır. Haritalar ARCGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 4.44'de sonbahar mevsimi

örnekleme çalışmaları sırasında deniz yüzeyinde rastlanan toplam koliform kirliliğinin alansal dağılımı verilmektedir.

Çizelge 4.38. Sonbahar mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Toplam Koliform (TC) ve Fekal Koliform (FC) (CFU/100 ml)

İstasyon	S1		S11		S14		S15	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	164	42	11	3	0	0	3	0
5	122	31	21	7	0	1	0	1
10	123	47	14	7	22	1	13	1
15	152	65	20	5	9	2	10	5
20	53	N/A	2	5	11	2	4	3
25	116	36	9	4	0	1	0	3
30	214	56			14	1	1	0
35	3	0			31	0	25	6
40	4	0			1	1	22	3
45					24	0	10	1
50					26	0	10	2



Şekil 4.44. Sonbahar mevsimi çalışmasında deniz yüzeyinde rastlanan toplam koliform kirliliğinin alansal dağılımı

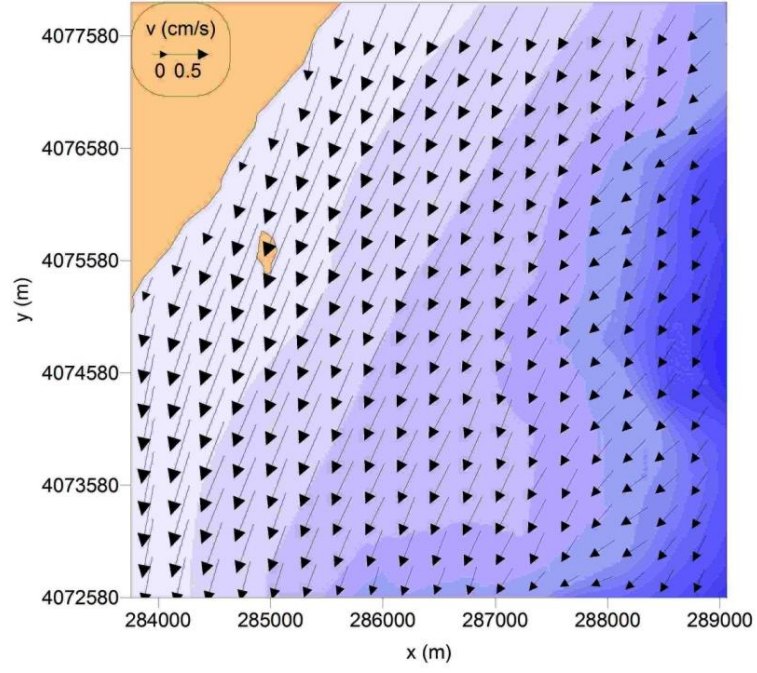
Sonbahar döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması yapılan 20-22 Ekim 2008 tarihlerinde Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları kullanılarak HİDROTAM-3 modeli çalıştırılmış ve bu dönem için akıntı hız ve yönleri tahmin edilmiştir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları incelendiğinde sonbahar döneminde yapılan bakteriyolojik izleme çalışmaları sırasında kuzeyli rüzgarların hakim olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak bu dönem için modelleme çalışmaları için kuzey yönünden 2 m/s hızla esen rüzgar için modelleme çalışması yapılmıştır. Sonbahar mevsimi modelleme çalışmasında kullanılan önemli model parametreleri Çizelge 39'da verilmektedir.

Çizelge 4.39. Sonbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

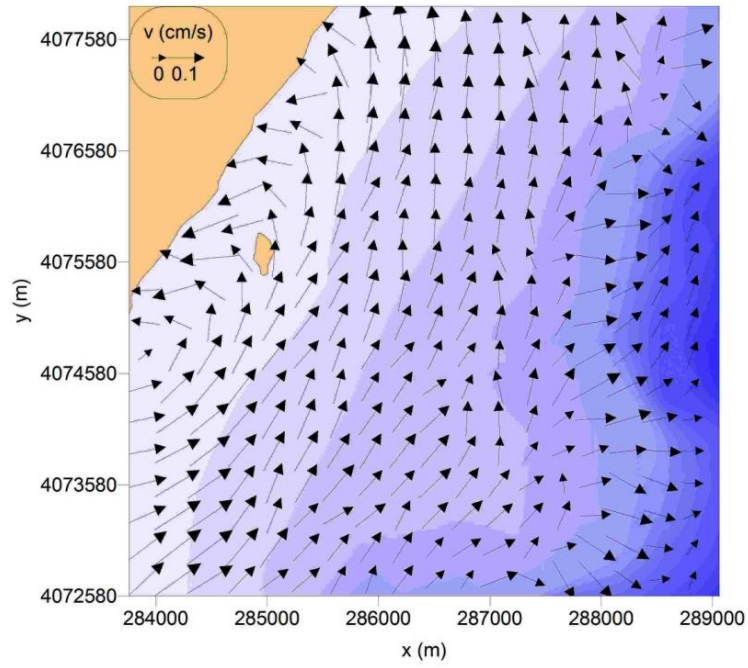
Atıksu tarla derinliği (m)	T ₉₀ (sa)	Debi (m ³ /s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C ₀ (TC, CFU/100 ml)
0 (yüzey)	3,00*	0,91	598000

4.5.2. Sonbahar mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi

Kuzey yönünden 2 m/s şiddetle esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.45'de, akıntı hızının derinlik boyunca değişimi ise Şekil 4.46'da verilmektedir. Uygulama için HİDROTAM-3 modelinden elde edilen akıntı hız ve yön verileri Visual Plumes modeline aktarılarak 20-22 Ekim 2008 tarihleri için seyrelme ve bakteriyolojik kirlilik tahminleri yapılmıştır. Çizelge 4.39'da belirtilen parametre değerleri ile hakim rüzgarlar altında oluşan akıntı hız ve yönleri kullanılarak birinci seyrelme bölgesi için elde edilen Visual Plumes model tahminleri verilmektedir. Visual Plumes modelinden elde edilen birinci seyrelme bölgesi tahminleri ile HİDROTAM-3 model çıktıları kullanılarak uzak alan seyrelmeleri ve deniz ortamında kalması beklenen TC bakteri konsantrasyonları mesafelere göre tahmin edilmiştir. Çizelge 4.40'da Visual Plumes ile modellenen birinci seyrelme bölgesi için elde edilen model sonuçları, Çizelge 4.41'de ise uzak alan seyrelmeleri ve seyrelmeler sonucunda deniz ortamında kalması muhtemel TC konsantrasyonları verilmektedir. Visual Plumes tarafından tahmin edilen atıksu hareketi düşeyde ve yatayda olmak üzere Şekil 4.47'de verilmektedir.

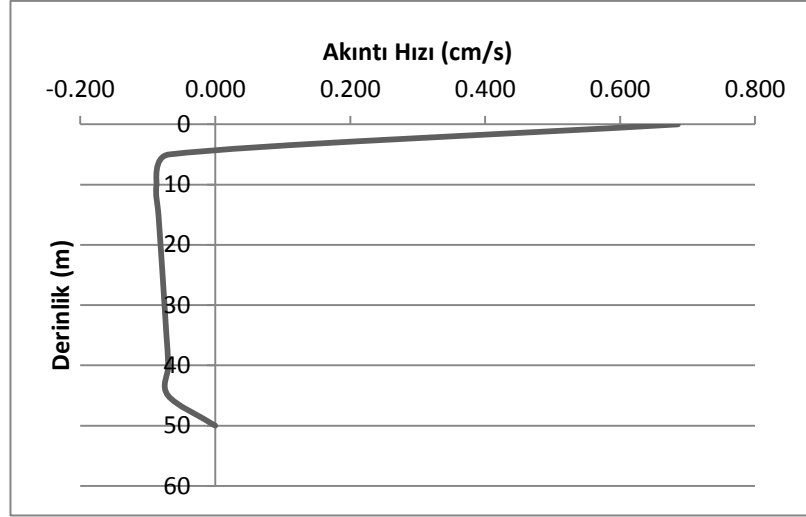


(a)



(b)

Şekil 4.45. Sonbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında (b) oluşan akıntılar

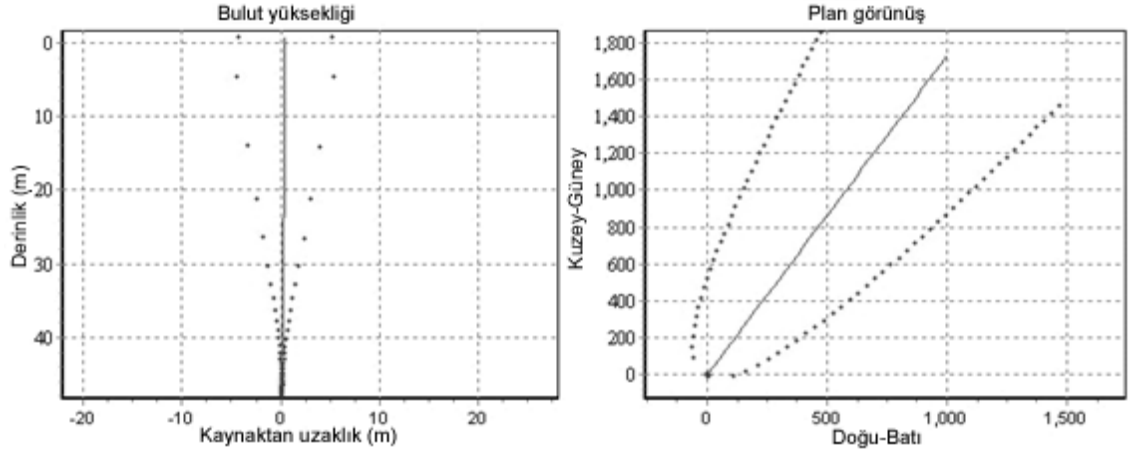


Şekil 4.46. Sonbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili

Çizelge 4.40. Visual Plumes modeli ile 20-22 Ekim 2008 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,5	0,90	21,3
39,6	2,32	103,6
37,1	2,94	153,9
33,8	3,73	228,6
32,1	4,16	273,2
28,7	4,90	339,7
18,2	7,42	504,8
3,8	11,29	693,0
0,0	14,45	750,1

Visual Plumes modeli ile birinci seyrelme bölgesi sınırında elde edilen seyrelme değeri 750,1 olarak bulunurken, birinci seyrelme sonucu atıksu tarlası genişliği 115,4 m olarak elde edilmiş, tarla sınırındaki TC bakteri konsantrasyonu ise 797 CFU/100 ml olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 4.47. 20-22 Ekim 2008 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Çizelge 4.41. Visual Plumes modeliyle 20-22 Ekim 2008 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	3595,0	42	763,9
200	5069,6	7	1077,6
300	6202,9	1	1318,6
400	7159,0	0	1521,9
500	8001,7	0	1701,1
600	8763,7	0	1863,2
700	9464,6	0	2012,2
800	10117,0	0	2150,9
900	10729,8	0	2281,2
1000	11309,5	0	2404,5
1100	11860,8	0	2521,7
1200	12387,6	0	2633,8
1300	12893,0	0	2741,2
1400	13386,4	0	2844,6
1500	13855,8	0	2944,4

Sonbahar dönemi çalışmaları için kuzeyli rüzgarların hakim olduğu durumda atıksu hareketi yönünde bulunan örnekleme istasyonlarının deşarj noktasına olan uzaklığı, istasyonlarda rastlanan koliform değerleri ve model tarafından tahmin edilen koliform değerleri Çizelge 4.42’de verilmektedir.

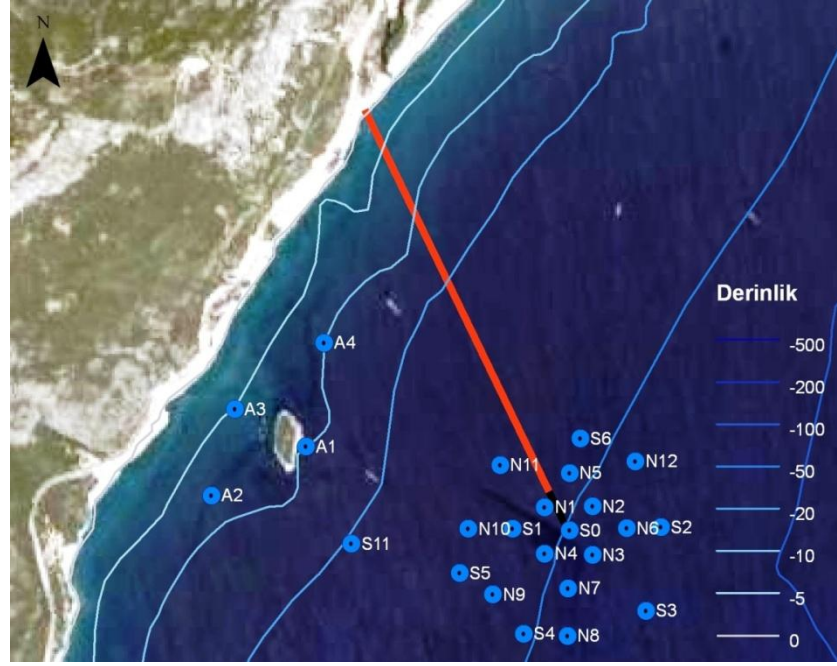
Çizelge 4.42. Atıksu hareketi yönünde bulunan bakteriyolojik kirlilik ve model tahminleri

İstasyon No	Deşarj Noktasına Yaklaşık Uzaklık (m)	TC ölçüm aralığı (kirliliğin yoğunlaştığı derinliklerde) (CFU/100 ml)	TC tahmini (CFU/100 ml)
S2	600	0-13	0
S6	600	0-17	0
S14	1000	0-31	0
S15	1300	0-25	0

Atıksu hareketi yönünde elde edilen toplam koliform tahminleri ile arazide örnekleme çalışmaları yapılarak elde edilen ölçüm verileri arasında merteye benzerlikler vardır. Atıksu bulutu yönünde model tahminleri ile hiçbir koliforma rastlanmamakta olup, ölçüm verileri ile elde edilen düşük koliform sayılarının ise deniz deşarjından bağımsız olarak deniz kirliliğine sebep olabilecek diğer unsurlardan (balıkçı tekneleri, gezinti tekneleri ve yatlar) kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu uygulamadan izlendiği gibi saha çalışmalarının yürütüldüğü 20-22 Ekim 2008 tarihlerinde ve özellikle de saha çalışmalarının yapıldığı sabah saatlerinde deniz ortamı oldukça durgun olarak izlenmiş ve rüzgar hızları da oldukça düşük olarak kaydedilmiştir. Kuzeyden esen rüzgar oluşumu dikkate alındığında sahada örnekleme yapılan S2, S6, S14 ve S15 istasyonlarına deniz deşarjdan kaynaklı bir bakteriyolojik kirliliğin ulaşmadığı hem arazi çalışmaları, hem de model tahminleri ile tespit edilebilmiştir.

4.5.3. Kış dönemi için akıntı ve seyrelme tahminleri

Kış döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması gerçekleştirilen istasyonların lokasyonları Şekil 4.48'de görülmektedir. Bu dönemde toplam 24 istasyonda toplam ve fekal koliform bakteri sayıları tespit edilmiştir. Kış mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Çizelge 4.43'de sunulmaktadır. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları ise Çizelge 4.44'de verilmektedir.



Şekil 4.48. Kış dönemi örneklemelerinin yapıldığı istasyonların lokasyonları (deşarj borusunun sonunda yer alan difüzör hattı siyah renk ile gösterilmiştir)

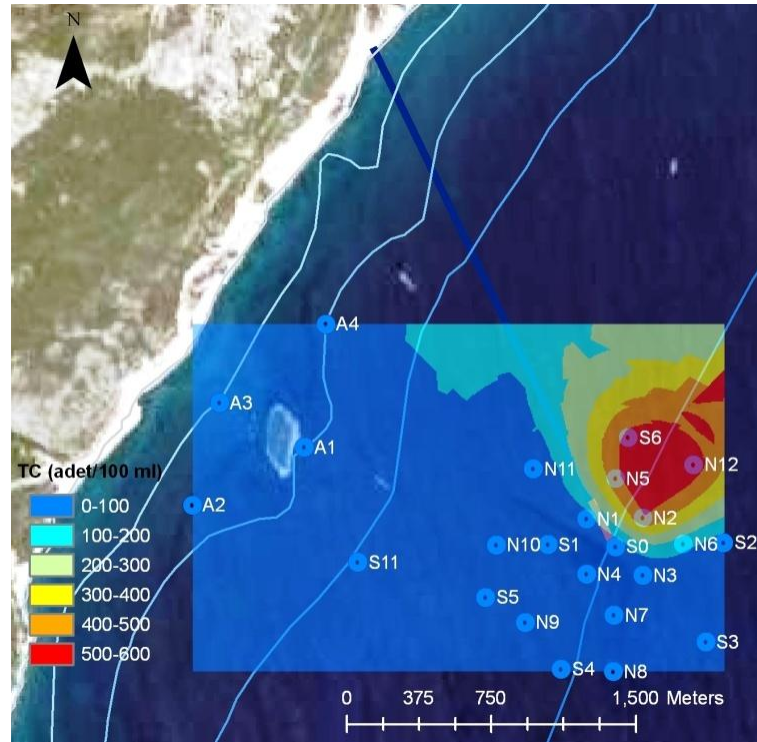
Çizelge 4.43. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları

İstasyon	N1	N2	N5	N12	S0	S6
Mesafe (m)	60	200	250	600	12	500

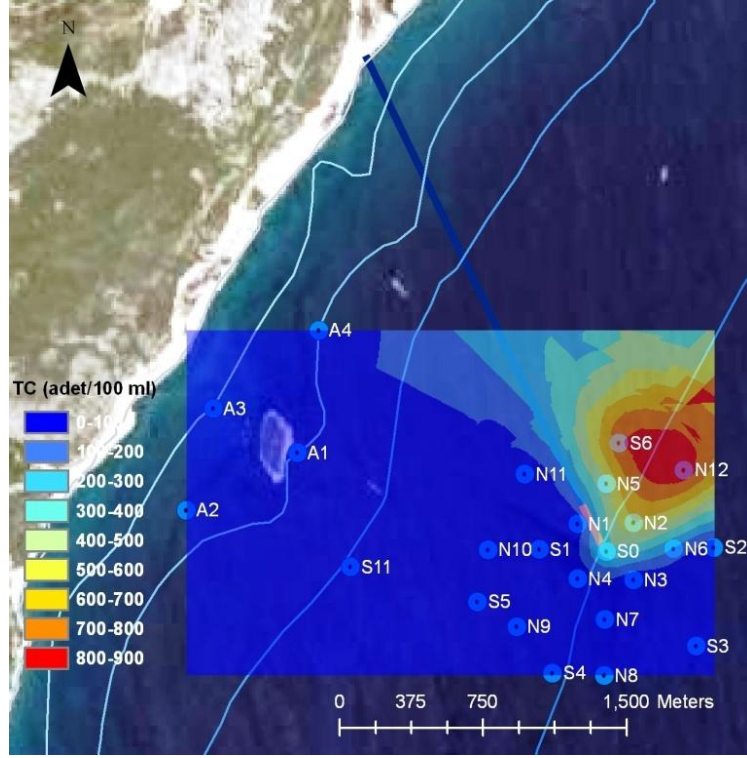
Örnekleme istasyonlarında tespit edilen kirleticilerin alansal dağılımlarının belirlenmesi için jeostatistik yöntemler kullanılarak haritalama çalışmaları yapılmıştır. Haritalar ARCGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekiller 4.49-4.51’de sırasıyla örnekleme çalışmalarında 5 m, 10 m ve 15 m derinliklerde rastlanan kirleticilerin alansal dağılımları için jeostatistik yöntemlerle elde edilen kirlilik dağılım haritaları sunulmaktadır.

Çizelge 4.44. Kış mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Toplam Koliform (TC) ve Fekal Koliform (FC) (CFU/100 ml)

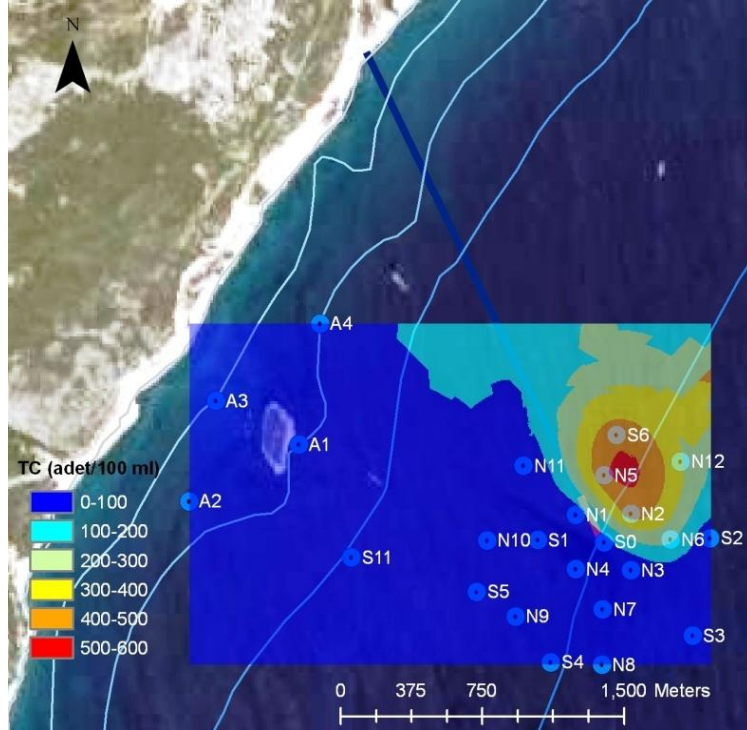
İstasyon	S0		S6		N1		N2		N5		N12	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	68	3	7	5	31	4	25	5	52	47	8	1
5	14	7	533	309	46	5	495	106	471	314	558	108
10	385	196	788	300	34	2	600	297	495	320	888	364
15	44	25	473	299	15	18	460	180	488	232	310	138
20	417	135	217	74	904	353	30	22	16	14	7	2
25	57	15	21	5	893	375	4	1	1	2	1	1
30	7	1	42	25	46	12	3	1	1	1	4	2
35	102	54	2	1	403	121	1	1	0	1	888	412
40	15	1	1	0	54	14	10	5	1	0	10	4
45	91	43	1	1	132	1	693	212	358	351	2	0



Şekil 4.49. Örnekleme istasyonlarında 5 m derinlikte bulunan TC bakterilerinin alansal dağılımı



Şekil 4.50. Örnekleme istasyonlarında 10 m derinlikte bulunan TC bakterilerinin alansal dağılımı



Şekil 4.51. Örnekleme istasyonlarında 15 m derinlikte bulunan TC bakterilerinin alansal dağılımı

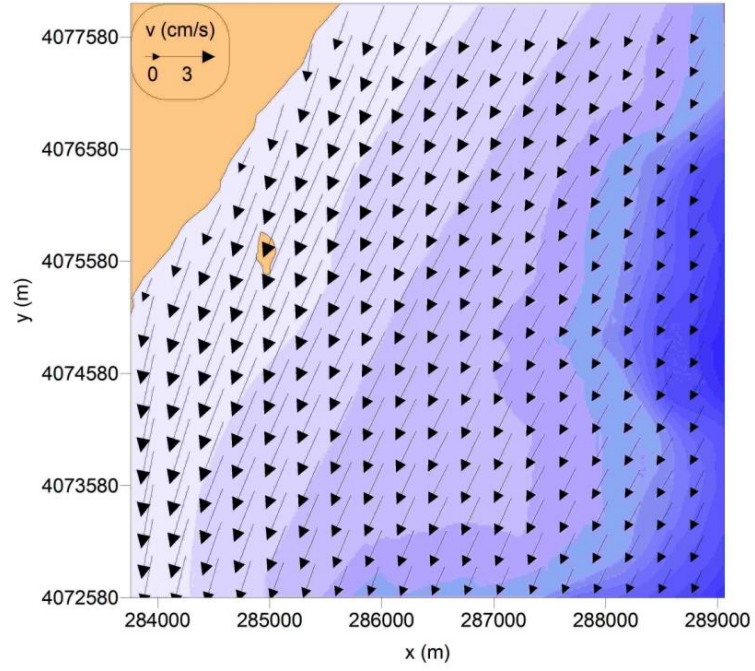
Kış döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması yapılan 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihlerinde Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları kullanılarak HİDROTAM-3 modeli çalıştırılmış ve bu dönem için akıntı hız ve yönleri tahmin edilmiştir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları incelendiğinde kış döneminde yapılan bakteriyolojik izleme çalışmaları sırasında kuzeyli rüzgarların hakim olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak bu dönem için modelleme çalışmaları için kuzey yönünden 4 m/s hızla esen rüzgar için modelleme çalışması yapılmıştır. Kış mevsimi modelleme çalışmasında kullanılan önemli model parametreleri Çizelge 4.45'de verilmektedir.

Çizelge 4.45. Kış mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

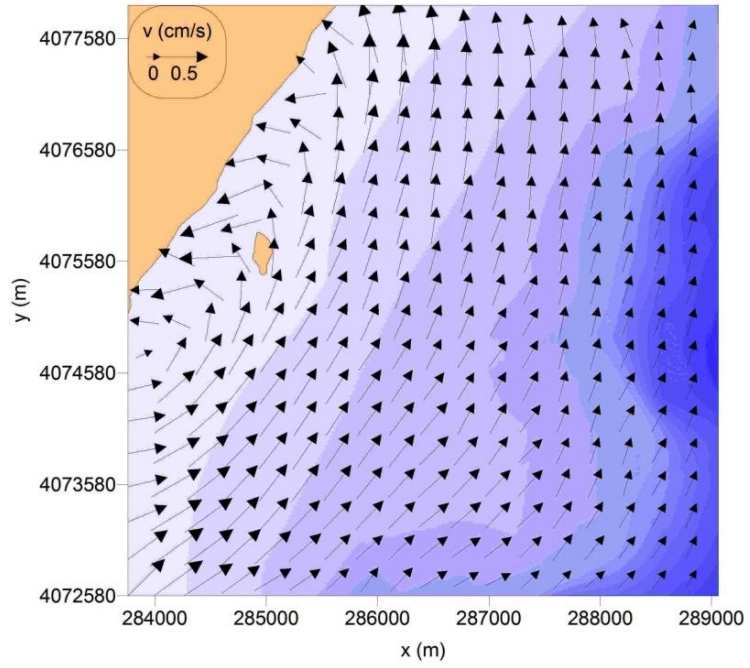
Atıksu tarla derinliği (m)	T ₉₀ (sa)	Debi (m ³ /s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C ₀ (TC, CFU/100 ml)
0 (yüzey)	5	0,96	477000

4.5.4. Kış mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi

Kuzey yönünden 4 m/s şiddetle esen rüzgarın etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.52'de, akıntı hızının derinlik boyunca değişimi ise Şekil 4.53'de verilmektedir. Uygulama için HİDROTAM-3 modelinden elde edilen akıntı hız ve yön verileri Visual Plumes modeline aktarılarak 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için seyrelme ve bakteriyolojik kirlilik tahminleri yapılmıştır. Çizelge 4.46'da Visual Plumes ile modellenen birinci seyrelme bölgesi için elde edilen model sonuçları, Çizelge 4.47'de ise uzak alan seyrelmeleri ve seyrelmeler sonucunda deniz ortamında kalması muhtemel TC konsantrasyonları verilmektedir. Visual Plumes tarafından tahmin edilen atıksu hareketi düşeyde ve yatayda olmak üzere Şekil 4.54'de verilmektedir.

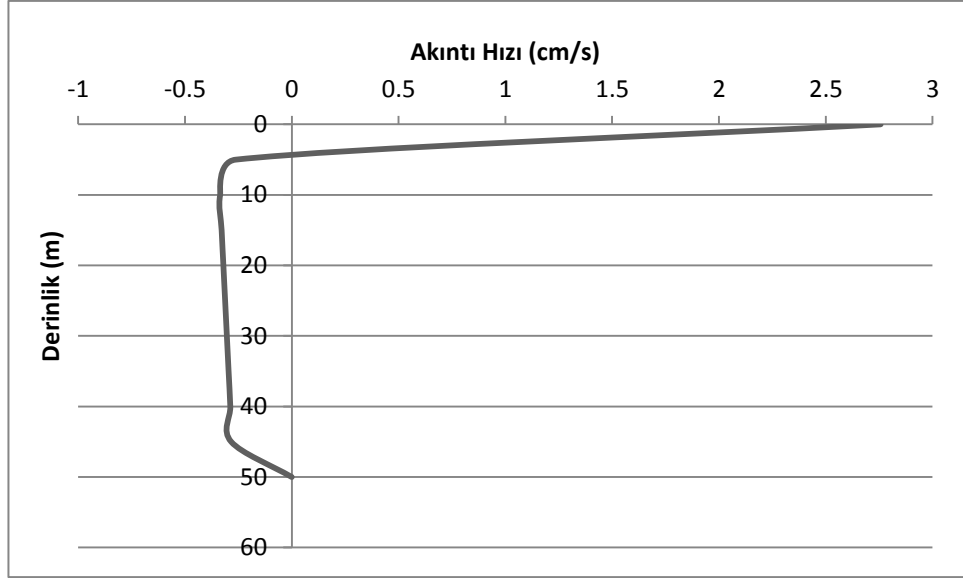


(a)



(b)

Şekil 4.52. Kış mevsiminde kuzey yönünden 4 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında (b) oluşan akıntılar



Şekil 4.53. Kış mevsiminde kuzey yönünden 4 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili

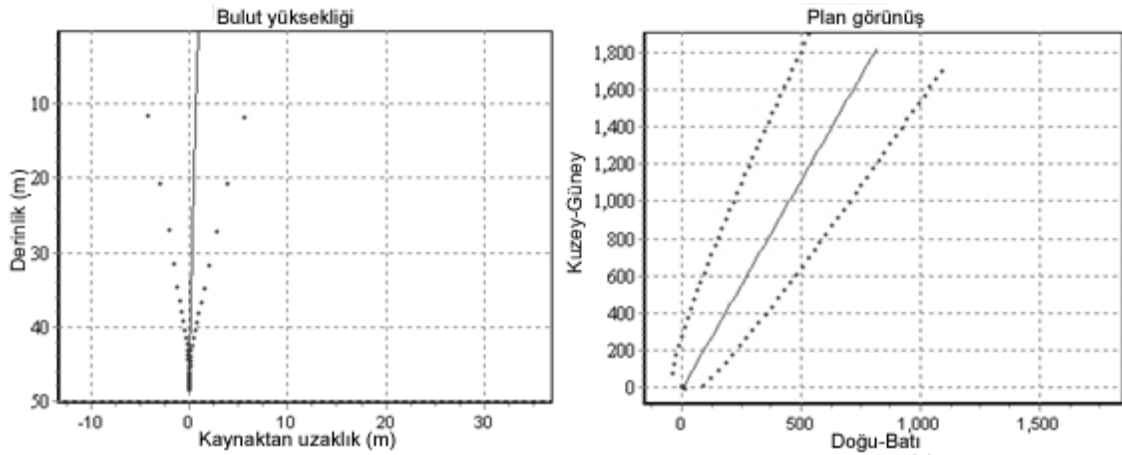
Çizelge 4.46. Visual Plumes modeliyle 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,4	0,95	22,4
39,4	2,45	108,9
36,7	3,11	161,8
30,6	4,68	240,4
19,2	7,63	357,2
2,0	10,18	530,8
0,0	11,56	563,3

Visual Plumes modeli ile birinci seyrelme bölgesi sınırında elde edilen seyrelme değeri 563,3 olarak bulunurken, birinci seyrelme sonucu atıksu tarlası genişliği 112,5 m olarak elde edilmiş, tarla sınırındaki TC bakteri konsantrasyonu ise 847 CFU/100 ml olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.47. Visual Plumes modeliyle 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	1405,3	276	387,3
200	1951,2	162	538,1
300	2374,7	108	655,1
400	2733,6	77	754,1
500	3050,7	50	841,6
600	3338,0	42	920,8
700	3601,1	31	993,7
800	3847,0	24	1061,6
900	4078,2	18	1125,4
1000	4296,9	14	1185,8
1100	4505,0	11	1243,3
1200	4703,9	9	1298,2
1300	4894,7	7	1350,9
1400	5078,4	5	1401,6
1500	5255,7	4	1450,6



Şekil 4.54. 17-18 ve 22 Şubat 2009 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Visual Plumes modeli tahminlerinden görüldüğü üzere (Şekil 4.54) atıksu bulutu yüzeye kadar yükselmekte olup, düşük akıntı hızları sebebiyle birinci seyrelme bölgesinde yatayda çok önemli bir mesafe kat etmemektedir. Düşük akıntı hızları birinci seyrelmenin mertebesi olarak daha düşük değerler almasına sebep olmakta, kıs

mevsiminde artan debi ve bakteriyolojik kirliliğe bağlı olarak da profil boyunca daha yüksek kirlilik değerlerine rastlanılmaktadır. Birinci seyrelme bölgesi sonunda bakteriyolojik kirlilik 847 TC/100 ml olarak tahmin edilmiş olup, deşarj noktasına yaklaşık 200 metre mesafede bulunan N2 istasyonuna doğru ilerlediği tahmin edilen atıksu bulutu için model sonuçları ile koliform ölçüm sonuçları paralellik göstermektedir. Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden sonraki 1000 m’de 276 TC/100 ml olarak tahmin edilen bakteriyolojik kirlilik 500 m’lik bir hareketin ardından 50 TC/ml değerine düşmektedir. Çizelge 4.48’de atıksu hareketi yönünde bulunan kirlilik değerlerine karşılık model tahminleri verilmektedir. Çizelge 4.48’de sunulan veriler incelendiğinde, atıksu bulutunun etkin rüzgar etkisiyle hareket ettiği akıntı yönünde bulunan istasyonlarda belirlenen bakteriyolojik kirlilik düzeyi, hem ölçümler hem de model tahminleri ile ortaya konulabilmiştir. Bu dönemde atıksu bulutunun yüzeye kadar ulaşması sırasında oldukça yüksek seyrelme etkisi ve buna bağlı olarak da koliform sayılarında derinlik boyunca büyük değişimler gözlenmektedir.

Çizelge 4.48. Atıksu hareketi yönünde bulunan bakteriyolojik kirlilik ve model tahminleri

İstasyon No	Deşarj Noktasına Yaklaşık Uzaklık (m)	TC ölçüm aralığı (kirliliğin yoğunlaştığı derinliklerde) (CFU/100 ml)	TC tahmini (CFU/100 ml)
N2	200	460 -600	162
N5	400	52 -495	77
N12	600	8 -888	42
S6	500	7 -788	50

4.5.5. İlkbahar dönemi için akıntı ve seyrelme tahminleri

İlkbahar döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması gerçekleştirilen istasyonların lokasyonları kış mevsimi ile aynıdır ve Şekil 4.48’de sunulmuştur. İlkbahar mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Çizelge 4.49’da sunulmaktadır. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları ise Çizelge 4.50’de verilmektedir.

Çizelge 4.49. İlkbahar mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Toplam Koliform (TC) ve Fekal Koliform (FC) (CFU/100 ml)

İstasyon	S4		N1		N9	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0
15	0	0	12	0	0	0
20	10	6	2	0	0	0
25	45	16	88	39	26	13
30	1	0	114	26	143	79
35	2	1	8	0	12	7
40	2	0	4	0	37	32
45	0	0	35	5		
50						

Çizelge 4.50. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan yaklaşık uzaklıkları

İstasyon	N1	N9	S4
Mesafe (m)	100	700	800

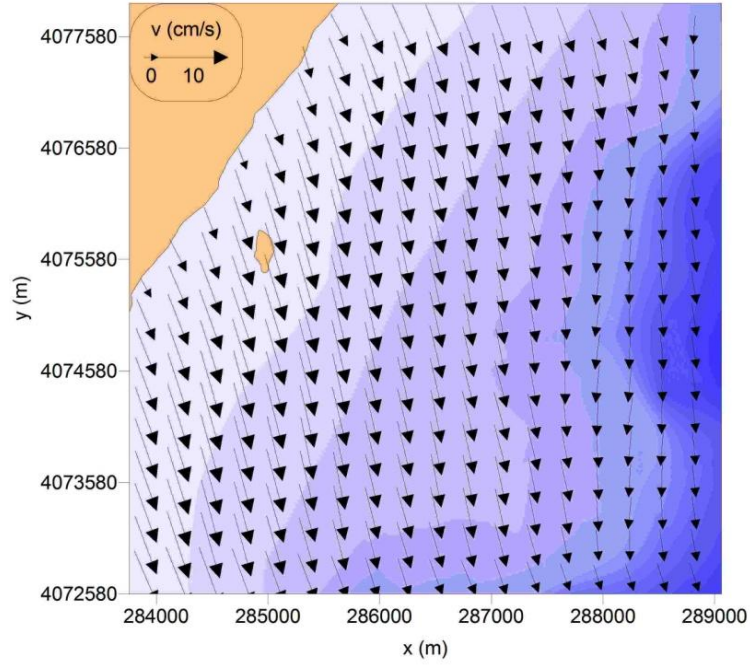
İlkbahar döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması yapılan 11-13 Mayıs 2009 tarihlerinde Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları kullanılarak HİDROTAM-3 modeli çalıştırılmış ve bu dönem için akıntı hız ve yönleri tahmin edilmiştir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları incelendiğinde ilkbahar döneminde yapılan bakteriyolojik izleme çalışmaları sırasında kuzeyli rüzgarların hakim olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak bu dönem için modelleme çalışmaları için kuzey yönünden 2 m/s hızla esen rüzgar için modelleme çalışması yapılmıştır. İlkbahar mevsimi modelleme çalışmasında kullanılan önemli model parametreleri Çizelge 4.51'de verilmektedir.

Çizelge 4.51. İlkbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

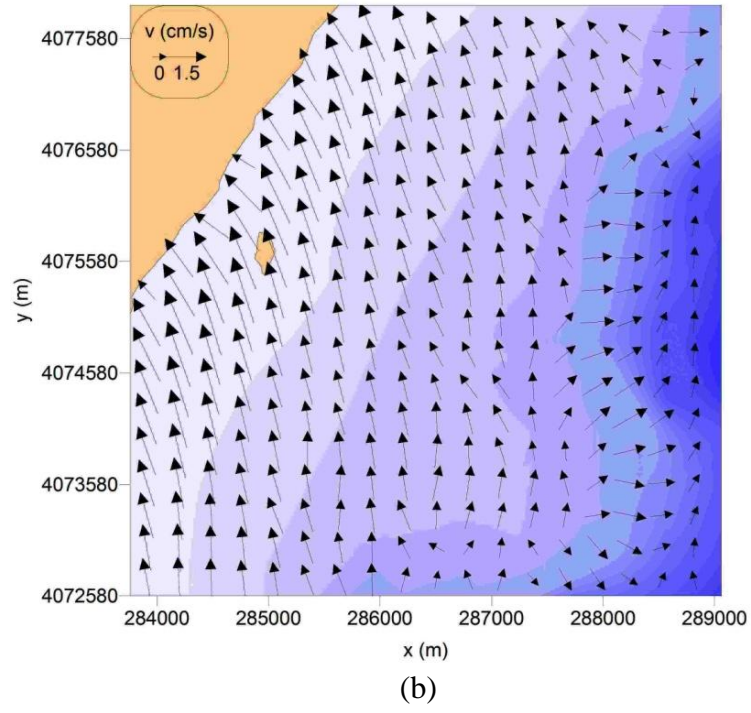
Atıksu tarla derinliği (m)	T ₉₀ (sa)	Debi (m ³ /s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C ₀ (TC, CFU/100 ml)
19,2	12,8	0,85	532000

4.5.6. İlkbahar mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi

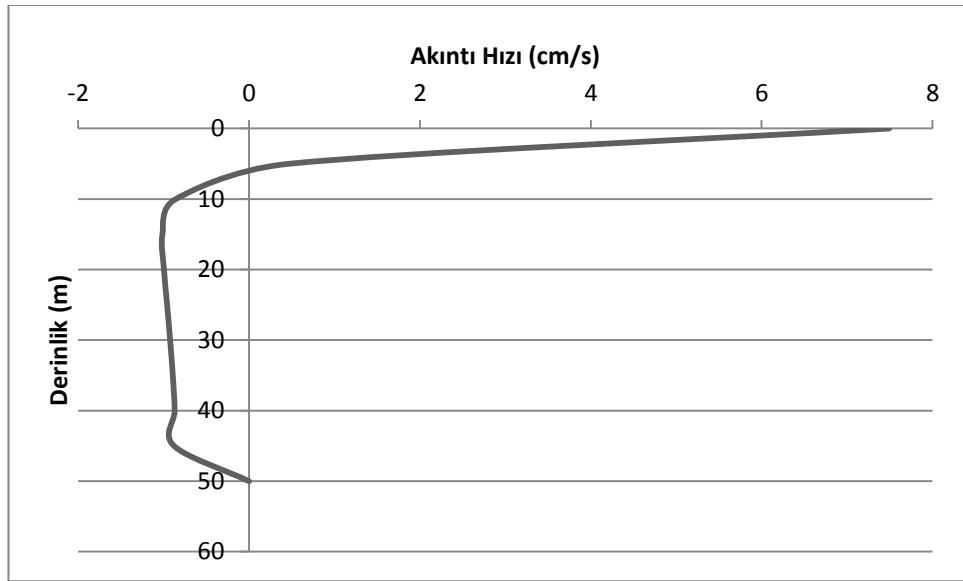
Kuzey yönünden 2 m/s şiddetle esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.55’de, akıntı hızının derinlik boyunca değişimi ise Şekil 4.56’da verilmektedir. Uygulama için HİDROTAM-3 modelinden elde edilen akıntı hız ve yön verileri Visual Plumes modeline aktarılarak ilkbahar mevsimi için seyrelme ve bakteriyolojik kirlilik tahminleri yapılmıştır. Çizelge 4.51’de verilen parametre değerleri ile hakim rüzgarlar altında oluşan akıntılar kullanılarak elde edilen birinci seyrelme bölgesi tahminleri Çizelge 4.52’de, uzak alan seyrelmeleri ise Çizelge 4.53’de verilmektedir. Visual Plumes modeli tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.57’de verilmektedir. İlkbahar döneminde kuzeyli rüzgarların hakim olduğu durumda atıksu hareketi yönünde bulunan örnekleme istasyonlarının deşarj noktasına olan uzaklığı, istasyonlarda rastlanan kirlilik değerleri ve model tarafından tahmin edilen kirlilik değerleri Çizelge 4.54’de verilmektedir.



(a)



Şekil 4.55. İlkbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında (b) oluşan akıntılar



Şekil 4.56. İlkbahar mevsiminde kuzey yönünden 2 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili

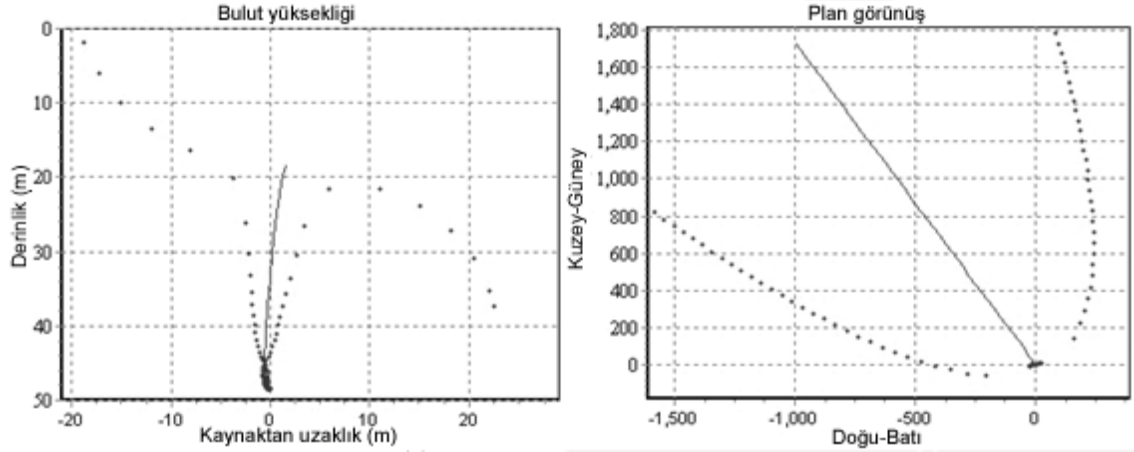
Çizelge 4.52. Visual Plumes modeliyle 11-13 Mayıs 2009 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,1	1,09	29,6
40,8	2,19	96,9
35,3	3,59	213,9
30,0	4,99	317,9
25,9	6,26	387,5
20,1	15,53	471,6
19,2	55,71	477,6

Visual Plumes modeli ile birinci seyrelme bölgesi sınırında elde edilen seyrelme değeri 477,6 olarak bulunurken, birinci seyrelme sonucu atıksu tarlası genişliği 235,4 m olarak elde edilmiş, tarla sınırındaki TC bakteri konsantrasyonu ise 1114 CFU/100 ml olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.53. Visual Plumes modeliyle 11-13 Mayıs 2009 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	599,3	716	397,4
200	758,8	456	512,4
300	893,3	312	606,0
400	1011,1	222	686,9
500	1116,5	162	759,3
600	1213,2	120	825,3
700	1302,8	90	886,4
800	1386,5	69	943,6
900	1465,5	52	997,5
1000	1540,5	40	1048,6
1100	1612,1	31	1097,4
1200	1680,7	24	1144,1
1300	1746,4	19	1188,9
1400	1809,7	14	1232,1
1500	1871,0	11	1273,9



Şekil 4.57. 11-13 Mayıs 2009 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Çizelge 4.54. 11-13 Mayıs 2009 tarihlerinde en yoğun kirlilik izlenen istasyonlar için toplam koliform (TC) bakteri sayısı tahminleri

İstasyon No	Deşarj Noktasına Yaklaşık Uzaklık (m)	TC ölçüm aralığı (kirliliğin yoğunlaştığı derinliklerde) (CFU/100 ml)	TC tahmini (CFU/100 ml)
N1	200	8-114	456
S1	400	1-13	222
N10	600	5-11	120
N11	600	2-54	120

Uygulama kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde, atıksu bulutunun yüzeyden 20 metre derinlikte tutsaklanma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu dönemde gerçekleştirilen bakteriyolojik izleme çalışmalarında da kirliliğin en yoğun görüldüğü istasyonlar olan S4, N1 ve N9'da deniz yüzeyi ile 20 metre derinliğe kadar hiçbir koliforma rastlanılmamış olması da atıksu tarlasının bu derinliğin altında tutsaklandığını göstermektedir. İlkbahar mevsimi ile ilgili olarak dikkat çeken diğer unsurlar, derinlik boyunca hafif bir yoğunluk farklılaşması ile birlikte Secchi derinliğinin de 20 metre olarak gözlemlenmiş olmasıdır. Özellikle Secchi derinliğinin 20 metre olarak gerçekleşmesine bağlı olarak pek çok izleme istasyonunda yüzeyden itibaren 20 metre derinliklere kadar nüfuz edebilen güneş radyasyonu ile verimli bir bakteriyolojik inaktivasyon sağlanabildiği düşünülmektedir. İlkbahar mevsiminde hem güneş radyasyonunun derinlere kadar nüfuz edebilmesi, hem de atıksu tarlasının yoğunluk farklılaşmasına bağlı olarak tutsaklanması ile ilişkili olarak çok az örnekleme istasyonunda ve 20 metre derinliklerin altında koliform kirliliğine rastlanabilmektedir.

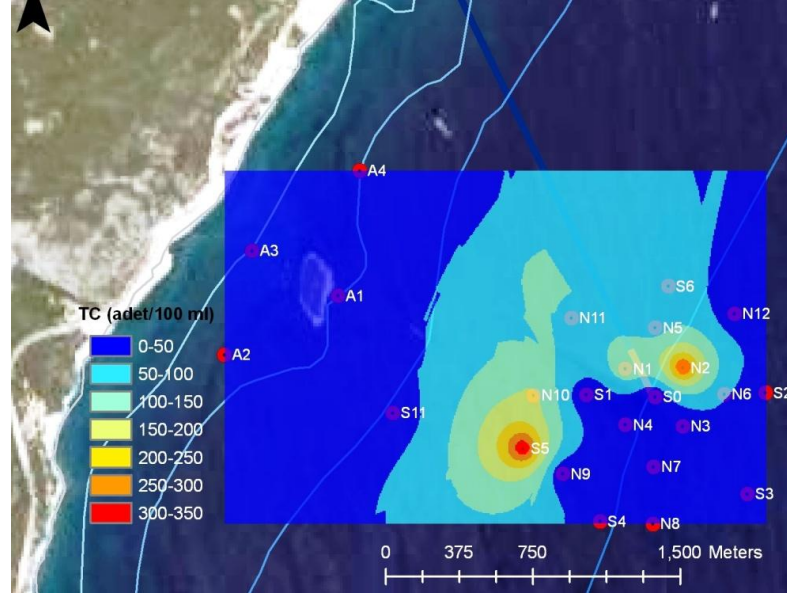
Çizelge 4.54’de sunulan veriler incelendiğinde, deşarj noktasına en yakın mesafede bulunan ve en yüksek bakteriyolojik kirliliğin görüldüğü N1 nolu istasyonda model tahminleri ile de en fazla kirlilik düzeyi bulunmuş ve difüzöre olan uzaklık arttıkça koliform sayıları hem ölçüm sonuçlarında, hem de model tahminlerinde azalmıştır.

4.5.7. Yaz dönemi için seyrelme tahminleri

Yaz döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması gerçekleştirilen istasyonların lokasyonları kış ve ilkbahar mevsimleri ile aynıdır. Yaz mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Çizelge 4.55’de sunulmaktadır. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan uzaklıkları Çizelge 4.56’da verilmektedir. Örnekleme istasyonlarında tespit edilen kirleticilerin alansal dağılımlarının belirlenmesi için jeostatistik yöntemler kullanılarak haritalama çalışmaları yapılmıştır. Haritalar ARCGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 4.58’de, yaz mevsimi örnekleme çalışmaları sırasında 30 metre derinlikte rastlanan toplam koliform kirliliğinin alansal dağılımı verilmektedir.

Çizelge 4.55. Yaz mevsiminde önemli miktarda kirliliğe rastlanan istasyonlar ve derinlik boyunca kirliliğin dağılımı Toplam Koliform (TC) ve Fekal Koliform (FC) (CFU/100 ml)

İstasyon	S1		S5		N1		N2		N3		N10	
	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC	TC	FC
0	4	0	0	0	0	0	5	0	1	0	4	0
5	13	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
10	11	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15	10	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0
20	4	0	17	0	0	0	2	0	1	0	7	1
25	1	0	264	144	0	0	6	0	1	0	85	57
30	1	0	329	139	139	39	284	263	2	1	157	103
35	214	134	19	7	3	2	5	3	202	110	39	12
40	119	74			256	126	3	0	3	3		
45							2	1	0	1		
50							1	0	7	10		



Şekil 4.58. Yaz mevsimi çalışmasında 30 metre derinlikte rastlanan toplam koliform kirliliğinin alansal dağılımı

Çizelge 4.56. Kirliliğe rastlanan istasyonların difüzörün merkezine olan yaklaşık uzaklıkları

İstasyon	S1	S5	N1	N2	N3	N10
Mesafe (m)	300	700	100	200	300	600

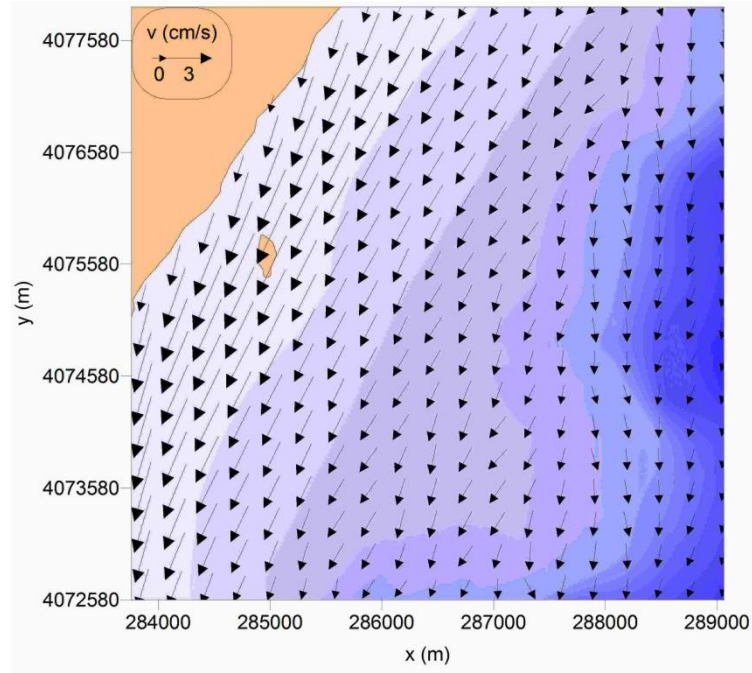
Yaz döneminde bakteriyolojik örnekleme çalışması yapılan 20-22 Temmuz 2009 tarihlerinde Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları kullanılarak HİDROTAM-3 modeli çalıştırılmış ve bu dönem için akıntı hız ve yönleri tahmin edilmiştir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgar hızları incelendiğinde yaz döneminde yapılan bakteriyolojik izleme çalışmaları sırasında kuzeyli rüzgarların hakim olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak bu dönem için modelleme çalışmaları için kuzey yönünden 3 m/s hızla esen rüzgar için modelleme çalışması yapılmıştır. Yaz mevsimi modelleme çalışmasında kullanılan önemli model parametreleri Çizelge 4.57'de verilmektedir.

Çizelge 4.57. Yaz mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

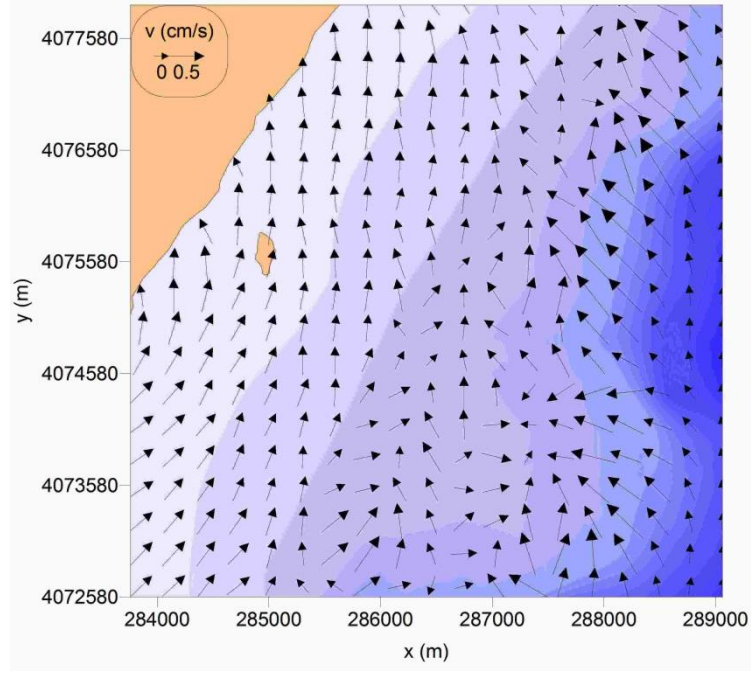
Atıksu tarla derinliği (m)	T ₉₀ (sa)	Debi (m ³ /s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C ₀ (TC, CFU/100 ml)
33,8	36	0,94	485000

4.5.8. Yaz mevsimi bakteriyolojik kirlilik modellemesi

Kuzey yönünden 3 m/s şiddetle esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.59, akıntı hızının derinlik boyunca değişimi ise Şekil 4.60'da verilmektedir. Uygulama için HİDROTAM-3 modelinden elde edilen akıntı hız ve yön verileri Visual Plumes modeline aktarılarak yaz mevsimi için seyrelme ve bakteriyolojik kirlilik tahminleri yapılmıştır. Çizelge 4.57'de verilen parametre değerleri ile hakim rüzgarlar altında oluşan akıntılar kullanılarak elde edilen birinci seyrelme bölgesi tahminleri Çizelge 4.58'de, uzak alan seyrelmeleri ise Çizelge 4.59'da verilmektedir. Visual Plumes modeli tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.61'de verilmektedir. Yaz döneminde kuzeyli rüzgarların hakim olduğu durumda atıksu hareketi yönünde bulunan örnekleme istasyonlarının deşarj noktasına olan uzaklığı, istasyonlarda rastlanan kirlilik değerleri ve model tarafından tahmin edilen kirlilik değerleri Çizelge 4.60'da verilmektedir.

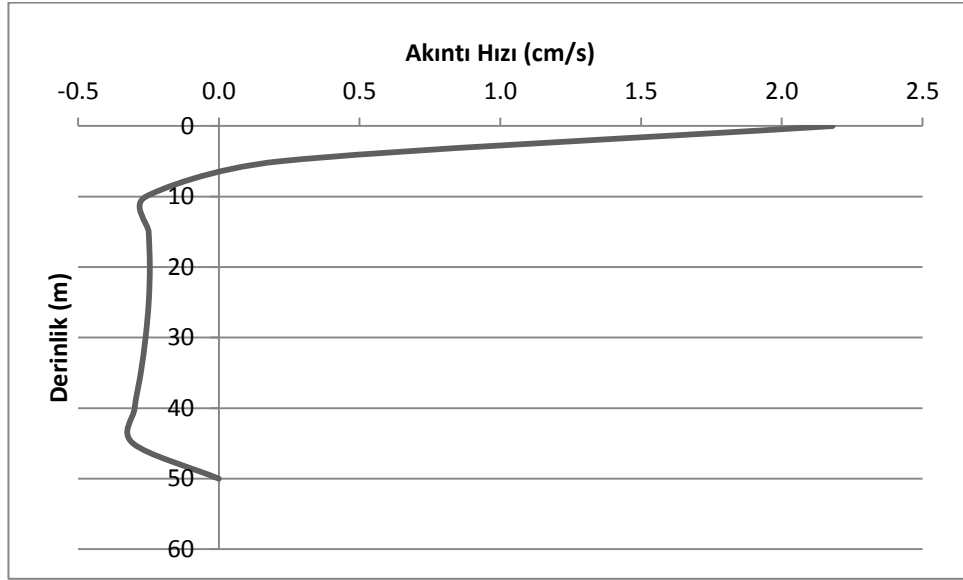


(a)



(b)

Şekil 4.59. Yaz mevsiminde kuzey yönünden 3 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde (a) ve deniz tabanında oluşan akıntılar



Şekil 4.60. Yaz mevsiminde kuzey yönünden 3 m/s şiddetinde esen rüzgar etkisi altında deşarj noktasında model tarafından tahmin edilen akıntı profili

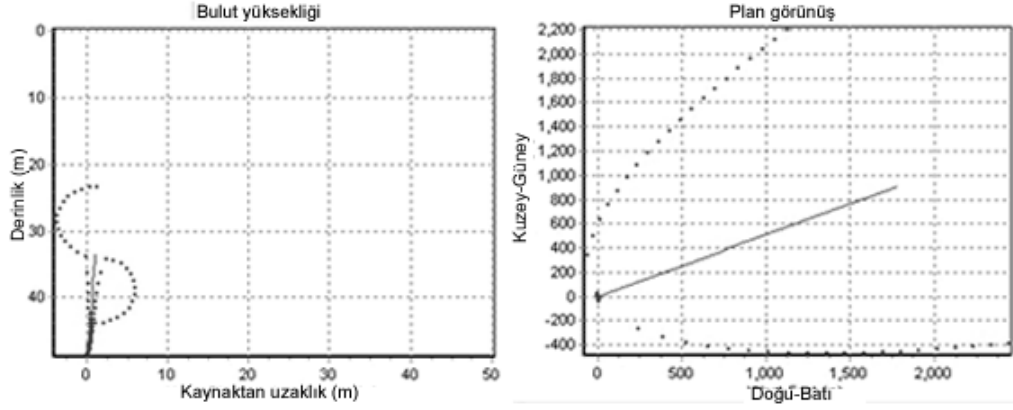
Çizelge 4.58. Visual Plumes modeliyle 20-22 Temmuz 2009 tarihleri için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,5	0,93	22,0
39,3	2,69	107,1
35,3	4,53	172,3
33,8	9,18	188,3

Visual Plumes modeli ile birinci seyrelme bölgesi sınırında elde edilen seyrelme değeri 188,3 olarak bulunurken, birinci seyrelme sonucu atıksu tarlası genişliği 238,7 m olarak elde edilmiş, tarla sınırındaki TC bakteri konsantrasyonu ise 2576 CFU/100 ml olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.59. Visual Plumes modeliyle 20-22 Temmuz 2009 tarihleri için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	482,8	715	843,0
200	670,9	367	1172,3
300	816,8	214	1427,6
400	940,4	133	1643,7
500	1049,6	85	1834,6
600	1148,2	55	2007,3
700	1239,1	36	2166,4
800	1323,7	24	2314,5
900	1403,3	16	2453,7
1000	1478,6	11	2585,4
1100	1550,2	7	2710,8
1200	1618,7	5	2830,6
1300	1684,4	3	2945,5
1400	1747,6	2	3056,1
1500	1808,6	2	3162,8



Şekil 4.61. 20-22 Temmuz 2009 tarihleri için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Çizelge 4.60. 20-22 Temmuz 2009 tarihlerinde en yoğun kirlilik izlenen istasyonlar için toplam koliform (TC) bakteri sayısı tahminleri

İstasyon No	Deşarj Noktasına Yaklaşık Uzaklık (m)	TC ölçüm aralığı (kirliliğin yoğunlaştığı derinliklerde) (CFU/100 ml)	TC tahmini (CFU/100 ml)
S1	300	119 -214	214
S5	700	264 -329	36
N1	100	3 -256	715
N2	200	284	367
N3	300	202	214
N10	600	39 -157	55

Model uygulaması kapsamında elde edilen sonuçlar ile sahada yapılan ölçüm çalışmaları sonucu tespit edilen bakteri konsantrasyonlarının genel olarak birbirleriyle uyum içerisinde olduğu söylenebilmektedir. Yaz mevsiminde yapılan saha çalışmalarında bakteriyolojik kirliliğe 30 m derinlikten itibaren rastlanırken model tahminleri de atıksu tarla ekseninin yaklaşık bu derinlikte olduğunu göstermektedir (Şekil 4.61). Bu dönemde gerçekleştirilen bakteriyolojik izleme çalışmalarında da kirliliğin en yoğun görüldüğü istasyonlar olan S1, S5, N1, N2, N3, ve N10 nolu istasyonlarda deniz yüzeyinden itibaren 30 m'ye kadar atıksu ile ilişkilendirilebilecek düzeyde bakteriyolojik kirliliğe rastlanmamakla beraber, S5 ve N10 gibi deşarj noktasında diğer istasyonlara kıyasla daha uzakta olan iki istasyonda 25 m derinlikte de bakteriyolojik kirliliğe rastlanmıştır. Buna sebep olarak, atıksuyun hareketi sırasında çalkantı ve türbülansla yayılması, bu etkiler altında atıksu bulutunun hem yatay

düzlemde hem de dikey düzlemde genişlemesine bağlanmaktadır. Şekil 4.61 incelendiğinde, model, atıksu bulutu sınırlarını yaklaşık 25 m’lerde tahmin etmekte, saha çalışmaları sonucu elde edilen bulgular da bunu desteklemektedir. Saha çalışmaları sırasında S5 ve N10 istasyonları dışında bütün istasyonlarda kirlilik 30-35 m derinlikleri arasında yoğunlaşmakta, bu derinliklerin altında da kirlilik göreceli olarak azalarak oldukça düşük mertebelere inmektedir. Bu noktadan yola çıkarak, yaz mevsiminde bulut kalınlığı yaklaşık 10-15 m olan ve bulut ekseninin 30 m’lik derinliklerde bulunduğu bir atıksu tarlasının oluştuğu düşünülmektedir.

4.6. Yönetim Senaryoları

Ekstrem rüzgar koşullarında ve atıksu arıtma tesisinin çalışma koşullarındaki değişiklikler altında deşarj kaynaklı bakteriyolojik kirliliğın ne seviyelerde olacağının tahmini açısından yönetim senaryoları uygulamaları yapılmıştır. Özellikle uzak alan seyrelmesini çok ciddi etkileyen akıntı hızlarının ekstrem rüzgarlar altında ne şekilde değışeceğinin ve kirliliğın kritik bölgelere bu şekilde taşınıp taşınmayacağıın belirlenmesi önem taşımaktadır. Buna ilaveten atıksu arıtma tesisi çıkış suyu bakteri konsantrasyonundaki değışikliklerin rekreasyonel açıdan önemli sahalarda bakteriyolojik kirliliğe sebep olup olmayacağı bu yönetim senaryoları yardımıyla irdelenmiştir.

4.6.1. Uzun vadeli ekstrem rüzgar hızlarında akıntı rejimleri ve seyrelme tahminleri

Tez çalışması kapsamında dört mevsime ait 25 yıllık, günlük maksimum rüzgar verileri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü’nden temin edilmiş olup her mevsim için esme sayıları ve sıklıkları analiz edilmiştir. Söz konusu rüzgarların esme sıklıklarına bakılarak ekstrem rüzgarın yönü tayin edilmiş ve senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar dört mevsimi de temsil edecek şekilde hazırlanmıştır. En yüksek ekstrem rüzgar hızı kış mevsiminde gözlenirken, en düşük rüzgar hızlarına ilkbahar mevsiminde rastlanmıştır.

4.6.1.1. Uzun vadeli günlük maksimum rüzgar verilerinin istatistiksel analizi

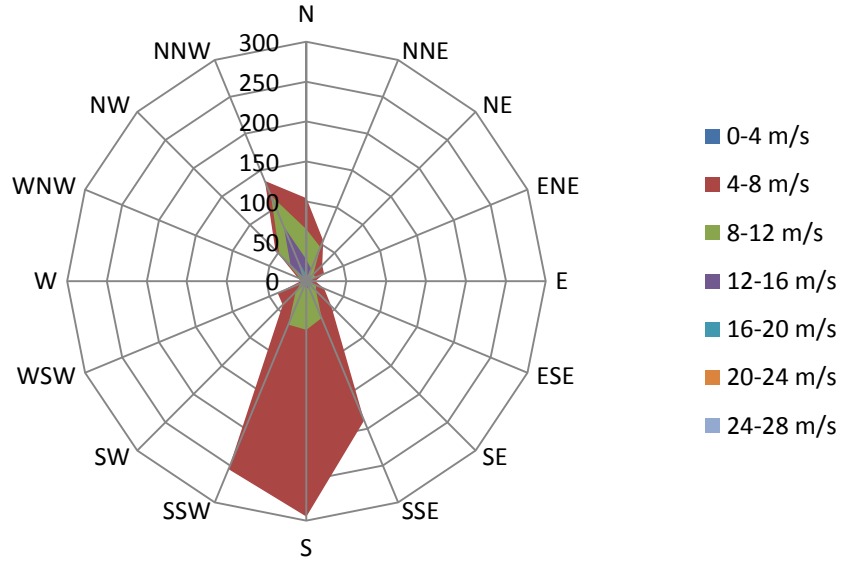
Uzun vadeli ekstrem rüzgar analizi için Antalya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen ve 1981-2006 yıllarını kapsayan günlük maksimum rüzgar verileri kullanılmıştır. Söz konusu veri seti öncelikle mevsimlik olarak ayrılmış olup her mevsim için toplam 16 ana ve ara yön için hazırlanan alt veri setleri için histogram analizi yapılmış ve yönsel dağılımları elde edilmiştir. 16 ana ve ara yön için rüzgar verilerinin büyüklükleri analiz edilerek, her yönde belli hız aralıklarındaki rüzgarların sıklıkları tespit edilmiştir. Her mevsim için hakim rüzgar yönleri ve buna bağlı olarak belirlenen yönlerdeki rüzgar hızı verilerinin % 95'inden büyük olan rüzgar hızı ekstrem rüzgar hızı olarak belirlenmiştir. Her mevsim için belirlenen ekstrem rüzgar hızı ve hakim yönler ile HİDROTAM-3 modeli çalıştırılarak, akıntı tahminleri elde edilmiştir. Elde edilen akıntı tahmin verileri Visual Plumes modeline aktarılarak, her mevsimdeki ekstrem rüzgar hızlarının etkisi için seyrelme tahminleri yapılmıştır.

i. Sonbahar Mevsimi Ekstrem Rüzgar İstatistiği

1981-2006 yıllarını kapsayan günlük maksimum rüzgar verisinden her yıl için Eylül, Ekim ve Kasım aylarına ait veriler seçilerek analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda sonbahar ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.61'de ve sunulan verilere ilişkin sonbahar mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.62'de verilmektedir.

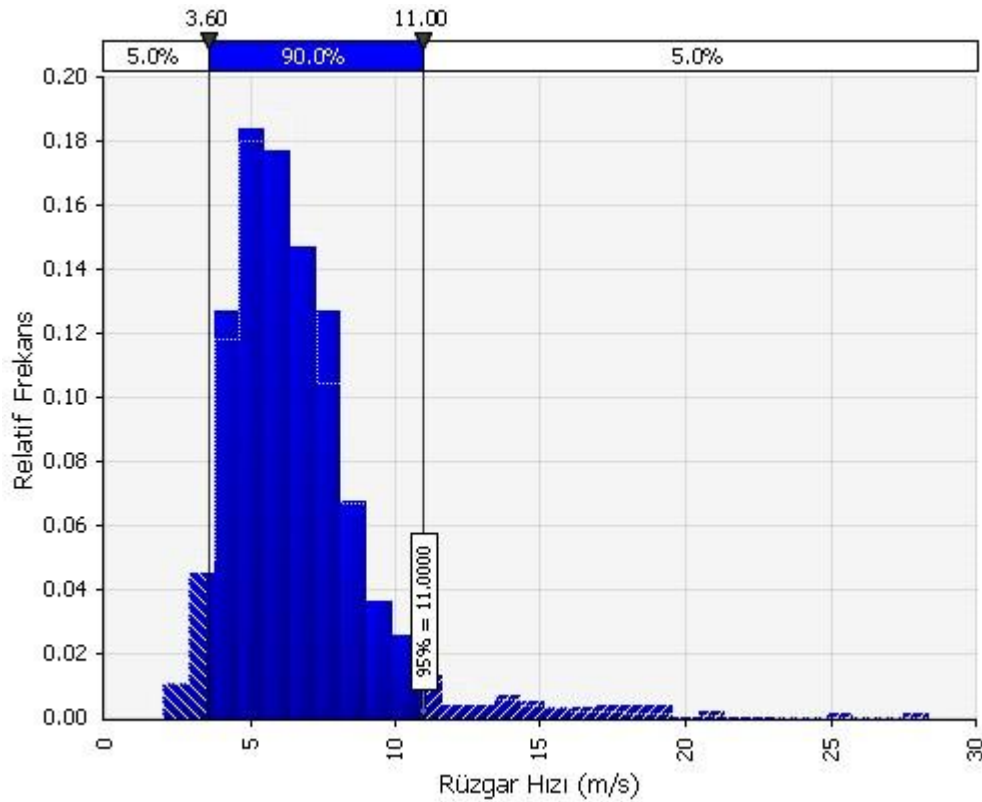
Çizelge 4.61 Sonbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	23	8	0	2	1	4	5	29
4-8	104	55	28	24	11	24	44	189
8-12	65	46	12	13	4	13	17	50
12-16	27	16	1	6	0	4	6	8
16-20	8	3	0	1	0	1	2	5
20-24	3	1	0	0	0	1	1	0
24-28	2	0	0	0	0	0	0	1
28-32	0	0	0	0	0	0	0	0
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	38	33	9	3	0	1	12	31
4-8	295	255	42	39	7	12	55	136
8-12	61	59	19	8	2	8	48	116
12-16	9	5	4	3	3	5	28	74
16-20	5	5	1	0	1	7	7	29
20-24	1	1	0	0	0	0	3	11
24-28	0	0	0	0	0	0	0	3
28-32	1	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.62. Sonbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü

Şekil 4.62’de sunulan rüzgar gülünden görülebileceği üzere sonbahar mevsiminde hakim rüzgar yönleri S-SSW-SSE olarak belirlenmektedir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönlere ait histogram incelenmiş ve bu yönlerden esen rüzgarların %95’ini kapsayan dilimdeki rüzgar hızı 11 m/s olarak elde edilmiştir. S-SSW-SSE yönlerine ait rüzgar hızı veri grubunun histogramı Şekil 4.63’de verilmektedir. Şekil 4.63’den görüldüğü gibi bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 3,60-11,0 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.



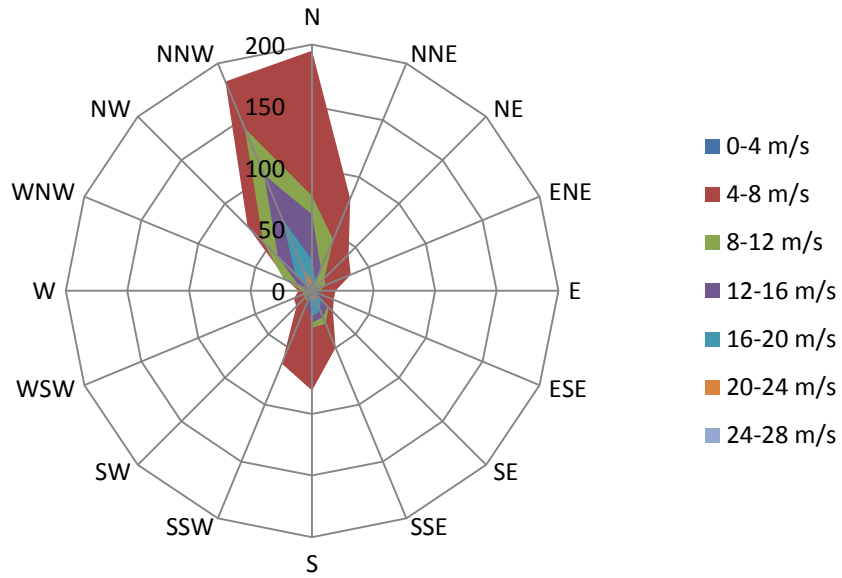
Şekil 4.63. Sonbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden S-SSW-SSE yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

ii. *Kış Mevsimi Rüzgar İstatistiği*

1981-2006 yıllarını kapsayan günlük maksimum rüzgar verisinden her yıl için Aralık, Ocak ve Şubat aylarına ait veriler seçilerek analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda kış ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.62’de ve sunulan verilere ilişkin kış mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.64’de verilmektedir.

Çizelge 4.62 Kış mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

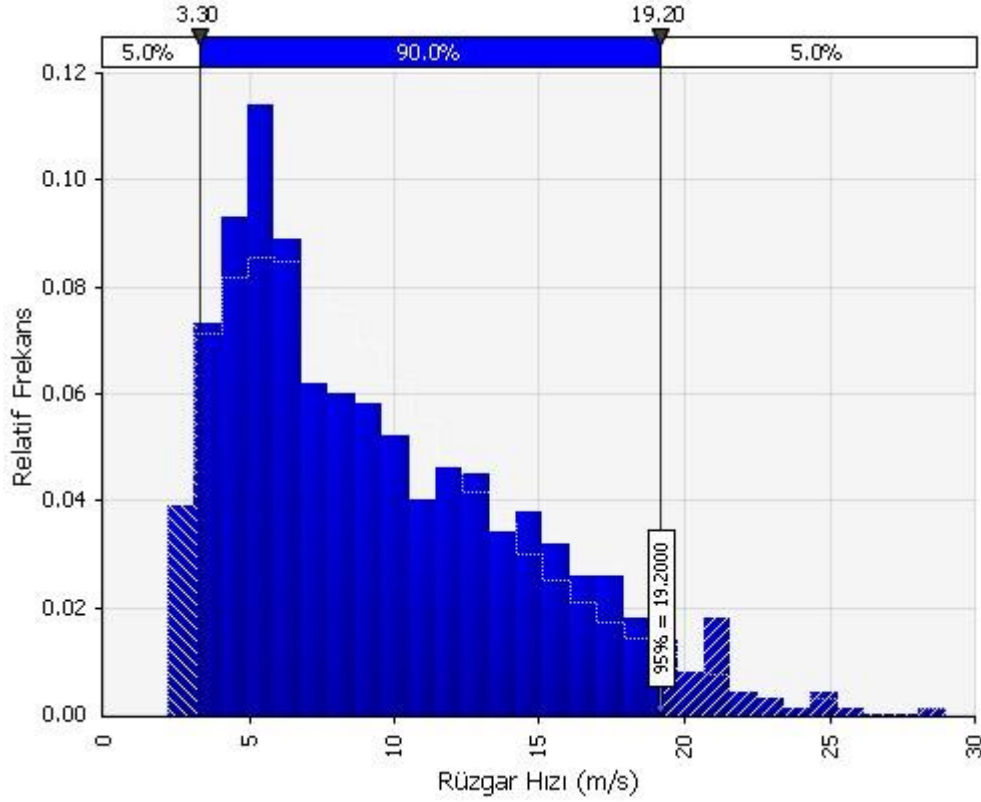
Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	54	15	8	11	6	5	6	16
4-8	195	81	42	34	19	19	24	50
8-12	77	45	14	12	6	3	19	29
12-16	62	19	1	5	6	8	18	23
16-20	25	8	1	0	5	2	10	17
20-24	7	2	1	0	2	4	8	5
24-28	2	2	1	0	0	2	3	3
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	16	16	4	3	1	9	21	59
4-8	81	64	18	16	11	22	74	184
8-12	30	10	8	7	8	25	56	143
12-16	26	12	5	2	4	12	39	102
16-20	21	6	1	1	3	3	19	64
20-24	9	5	2	0	0	0	5	22
24-28	7	0	0	0	0	1	1	3



Şekil 4.64. Kış mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü

Şekil 4.64’de sunulan rüzgar gülünden görülebileceği üzere kış mevsiminde hakim rüzgar yönleri N-NNW olarak belirlenmektedir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönlere ait histogram incelenmiş ve bu yönlere ait rüzgarların %95’ini kapsayan

dilimdeki rüzgar hızı 8,8 m/s olarak elde edilmiştir. N-NNW yönlerine ait rüzgar hızı veri grubunun histogramı Şekil 4.65’de verilmektedir. Şekil 4.65’den görüldüğü gibi bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 3,30-19,20 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.



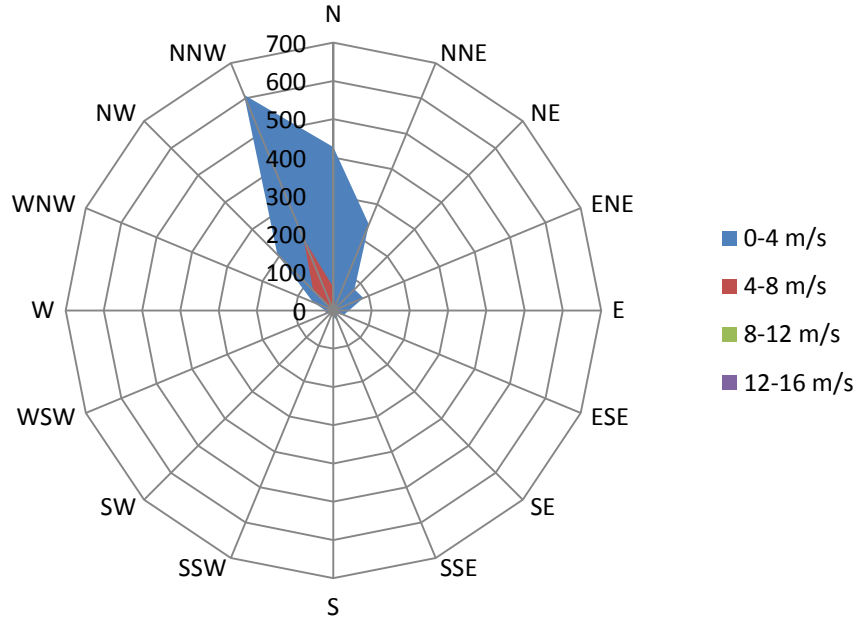
Şekil 4.65. Kış mevsimi için hakim yönleri temsil eden N-NNW yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

iii. İlkbahar Mevsimi Rüzgar İstatistiği

1981-2006 yıllarını kapsayan günlük maksimum rüzgar verisinden her yıl için Mart, Nisan ve Mayıs aylarına ait veriler seçilerek analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda ilkbahar ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.63’de ve sunulan verilere ilişkin ilkbahar mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.66’da verilmektedir.

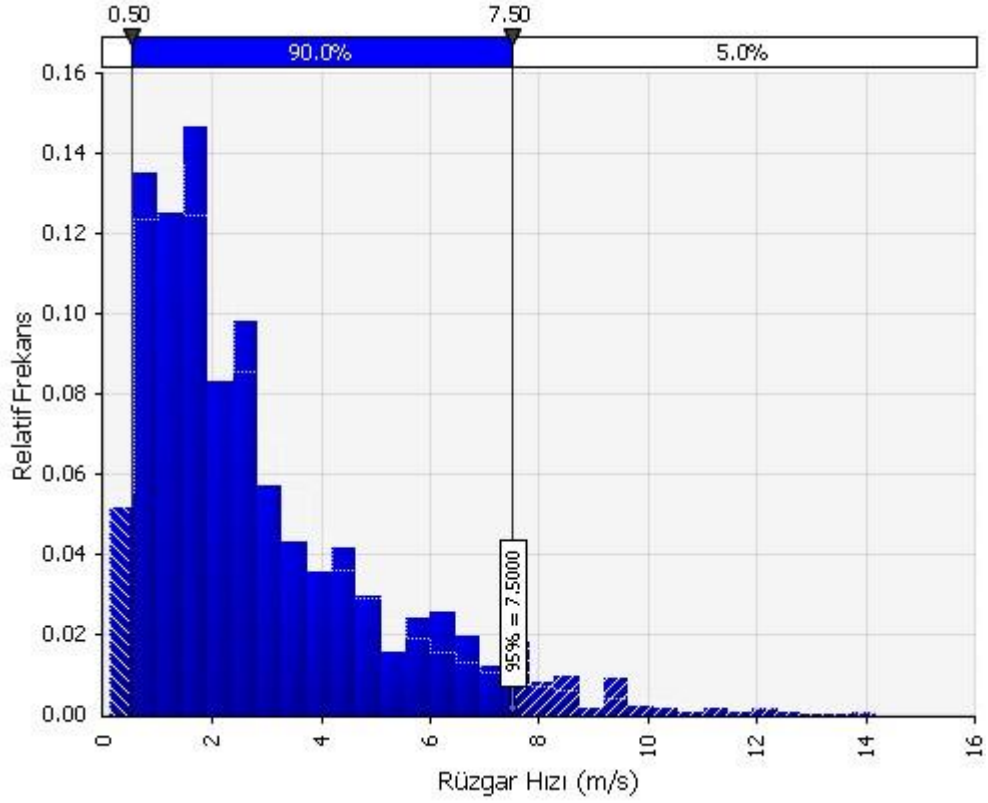
Çizelge 4.63. İlkbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	427	243	78	85	41	30	12	30
4-8	61	10	1	2	0	1	4	11
8-12	8	0	0	0	0	0	2	1
12-16	1	0	0	0	0	0	0	0
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	16	13	11	22	21	58	207	610
4-8	9	3	0	0	0	7	75	203
8-12	4	0	0	0	0	2	8	33
12-16	0	0	0	0	0	0	0	3



Şekil 4.66. İlkbahar mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü

Şekil 4.66’da sunulan rüzgar gülünden görülebileceği üzere ilkbahar mevsiminde hakim rüzgar yönleri NNW-N olarak belirlenmektedir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönlere ait histogram incelenmiş ve bu yönlerden esen rüzgarların %95’ini kapsayan dilimdeki rüzgar hızı 7,5 m/s olarak elde edilmiştir. NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı veri grubunun histogramı Şekil 4.67’de verilmektedir. Şekil 4.76’den görüldüğü gibi bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 0,50-7,50 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.



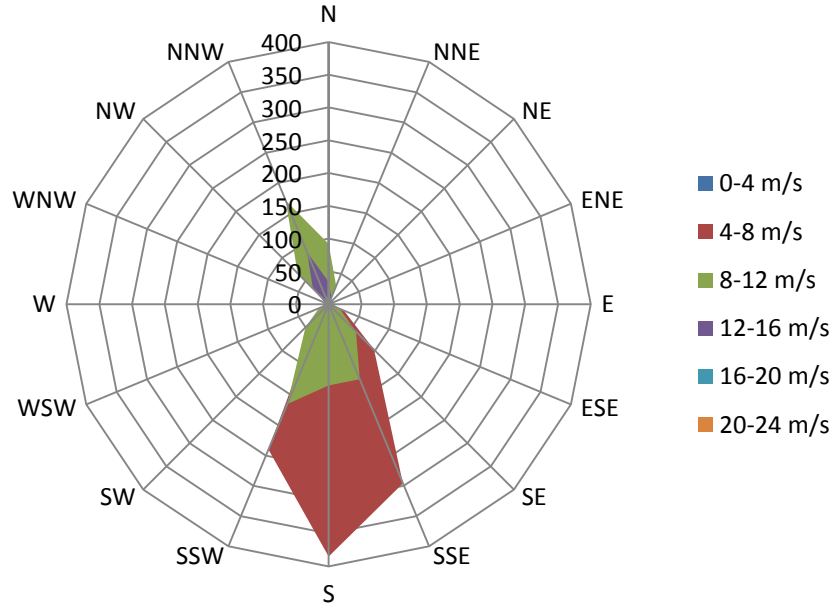
Şekil 4.67. İlkbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

iv. *Yaz Mevsimi Rüzgar İstatistiği*

1981-2006 yıllarını kapsayan maksimum rüzgar verisinden her yıl için Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarına ait veriler seçilerek analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yaz ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.64'de ve sunulan verilere ilişkin yaz mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.68'de verilmektedir.

Çizelge 4.64. Yaz mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

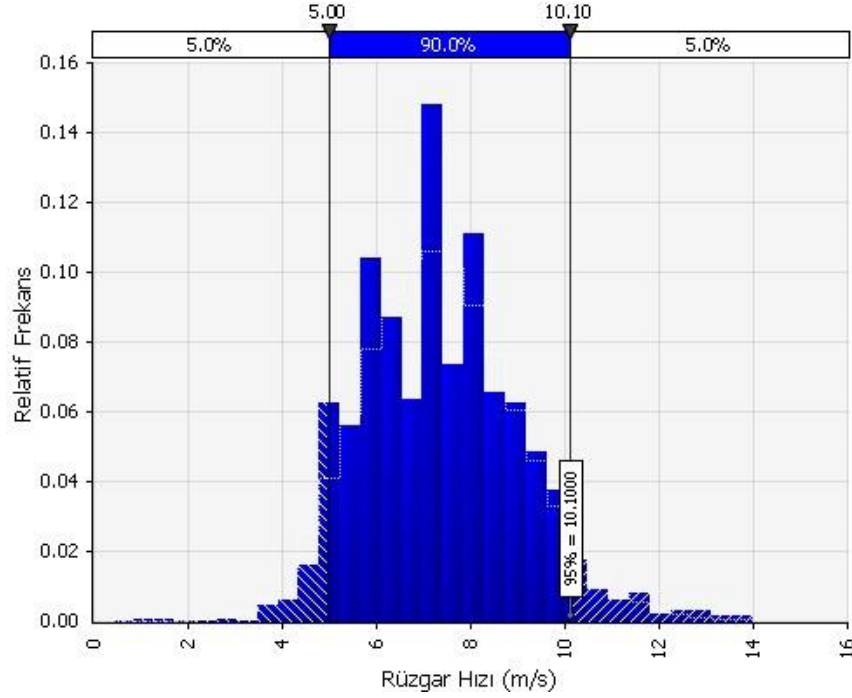
Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	0	0	0	0	0	0	1	5
4-8	30	8	3	4	4	25	98	296
8-12	92	30	3	2	7	18	59	124
12-16	34	11	1	1	0	3	3	2
16-20	8	1	0	0	0	0	0	0
20-24	1	1	0	0	0	0	0	0
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	5	2	0	0	0	0	0	0
4-8	385	240	21	3	1	1	28	56
8-12	124	165	50	16	1	4	67	171
12-16	4	7	3	2	1	6	34	86
16-20	0	0	0	1	0	2	4	17
20-24	0	0	0	0	0	0	1	2



Şekil 4.68. Yaz mevsimine ait günlük maksimum rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü

Şekil 4.68’de sunulan rüzgar gülünden görülebileceği üzere yaz mevsiminde hakim rüzgar yönleri S-SSE-SSW olarak belirlenmektedir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönlere ait histogram incelenmiş ve bu yönlere esen rüzgarların %95’ini

kapsayan dilimdeki rüzgar hızı 10,1 m/s olarak elde edilmiştir. S-SSE-SSW yönlerine ait rüzgar hızı veri grubunun histogramı Şekil 4.69'da verilmektedir. Şekil 4.69'dan görüldüğü gibi bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 5,0-10,1 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.



Şekil 4.69. Yaz mevsimi için hakim yönleri temsil eden S-SSE-SSW yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

1981-2006 yıllarını kapsayan günlük maksimum rüzgar hızı ve yönlerini içeren veri setinin istatistiksel analizi sonucu dört mevsim için elde edilen hakim rüzgar yönleri ve ekstrem rüzgar hızları Çizelge 4.65'de verilmektedir.

Çizelge 4.65. Uzun dönemlik maksimum rüzgar verilerine ait ekstrem rüzgar hız ve yönleri

Mevsim	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Yönü
Sonbahar	11,0	S
Kış	19,2	NNW
İlkbahar	7,5	NNW
Yaz	10,1	S

Her mevsim için elde edilen hakim rüzgar yönleri ve ekstrem rüzgar hızları ile HIDROTAM-3 modeli kullanılarak akıntı yön ve büyüklükleri ile deşarj noktasındaki akıntı profilleri elde edilmiştir. HIDROTAM-3 modeli yardımıyla elde edilen akıntı hız

profilleri ise Visual Plumes modeli için girdi olarak kullanılarak ekstrem rüzgarlar altında seyrelmeler ve koliform sayıları tahmin edilmiştir. Senaryolar oluşturulurken daha önceki bölümde tanımlanan mevsimlik model verileri aynen kullanılmış, sadece rüzgar hız ve yönlerine bağlı olarak akıntı hız ve yönleri değiştirilmiştir. Dört mevsim için elde edilen senaryolar sırasıyla sunulmaktadır.

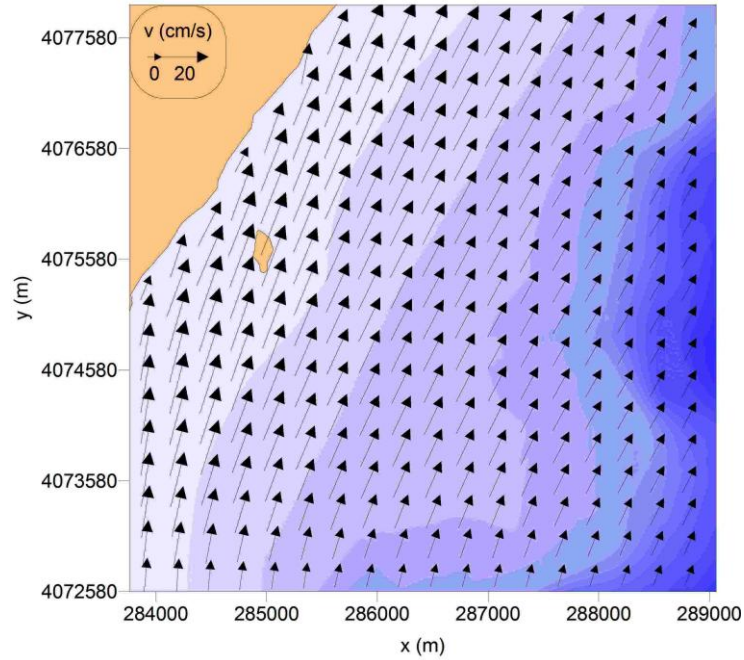
4.6.1.2. Sonbahar mevsimi senaryosu

Çizelge 4.66'da sonbahar mevsimi için Visual Plumes modelinde tanımlanan önemli model parametreleri verilmektedir.

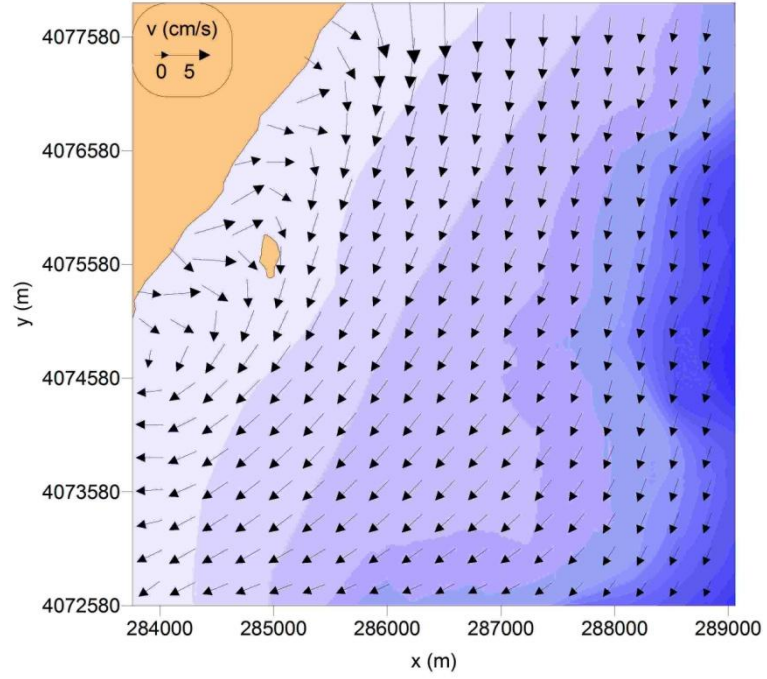
Çizelge 4.66. Sonbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

Dönem	Derinlikle Düzeltilmiş T_{90} (sa)	Debi (m^3/s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C_0 (TC, CFU/100 ml)
Sonbahar S	3	0,91	598000

S yönünden 11 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.70 ve 4.71'de verilmektedir.



Şekil 4.70. Sonbahar mevsiminde S yönünden 11 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar

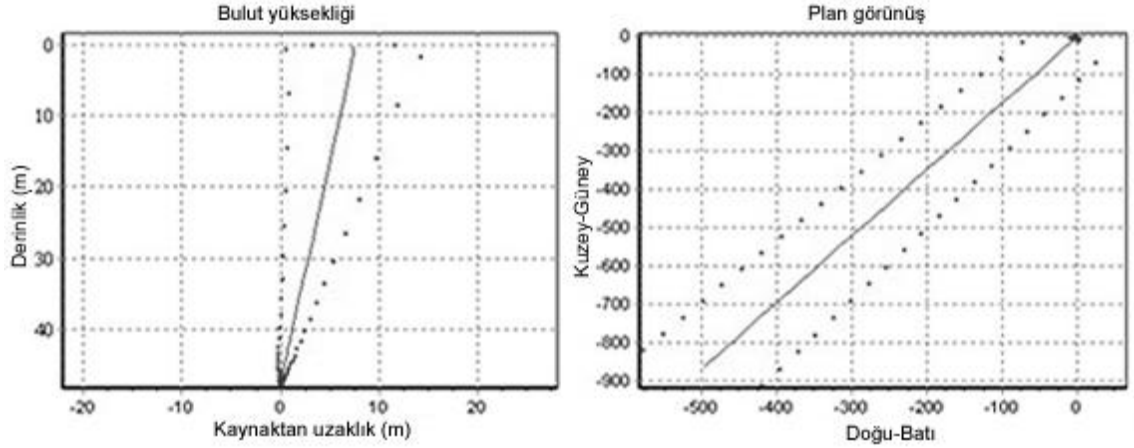


Şekil 4.71. Sonbahar mevsiminde S yönünden 11 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelge 4.66’da verilen parametre değerleri ve HIDROTAM-3 çıktıları kullanılarak elde edilen Visual Plumes model tahminleri Çizelgeler 4.67 ve 4.68’de, model ile tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.72’de verilmektedir.

Çizelge 4.67. Visual Plumes modeli ile S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,0	1,26	35,0
39,2	2,76	114,8
34,9	3,90	170,6
28,3	5,65	253,4
18,6	8,29	376,6
13,5	9,68	441,2
4,1	11,86	548,6
0,0	8,71	666,9



Şekil 4.72. Sonbahar mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Sonbahar mevsimi için uzun dönemlik verilerle belirlenen S yönlü ekstrem rüzgar etkisi için elde edilen model tahminleri incelendiğinde, derinlik boyunca homojen yoğunluk etkisi altında deşarj edilen atıksuların yüzeye kadar ulaşacağı Visual Plumes model grafiklerinde görülmektedir. Bu mevsimde S yönünden esen 11 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile yüzeydeki atıksu bulutu difüzörden 1000 m mesafeye 1,61 saatte ulaşmakta ve tahmini bakteri sayısı 456 CFU/100 ml olmaktadır.

Çizelge 4.68. Visual Plumes modeli ile sonbahar mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	667,4	849	116,1
200	667,4	805	122,7
300	670,3	759	128,9
400	677,6	712	134,9
500	688,2	664	140,6
600	701,5	617	146,1
700	716,3	573	151,4
800	732,1	531	156,5
900	748,6	492	161,4
1000	765,4	456	166,2
1100	782,4	423	170,9
1200	799,4	392	175,4
1300	816,4	364	179,9
1400	833,3	338	184,2
1500	850,0	314	188,4

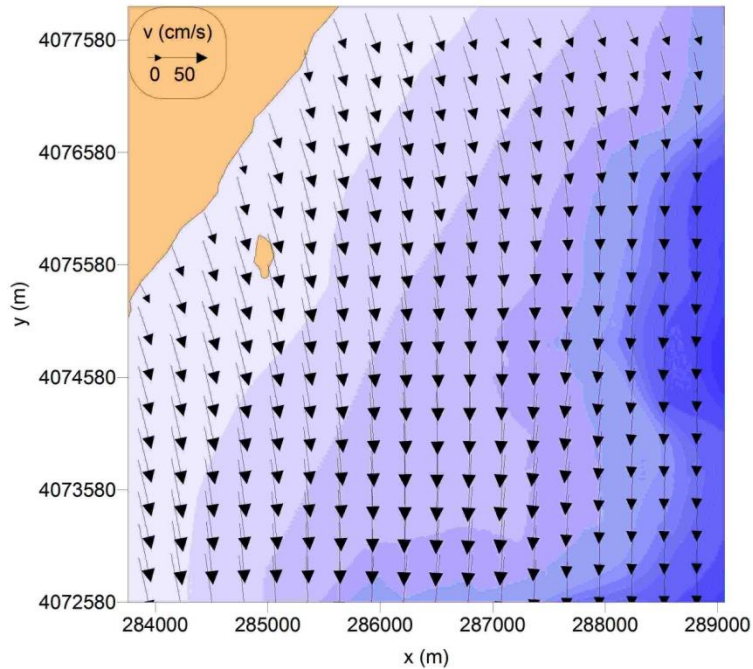
4.6.1.3. Kış mevsimi senaryosu

Çizelge 4.69’da kış mevsimi için Visual Plumes modelinde tanımlanan önemli model parametreleri verilmektedir.

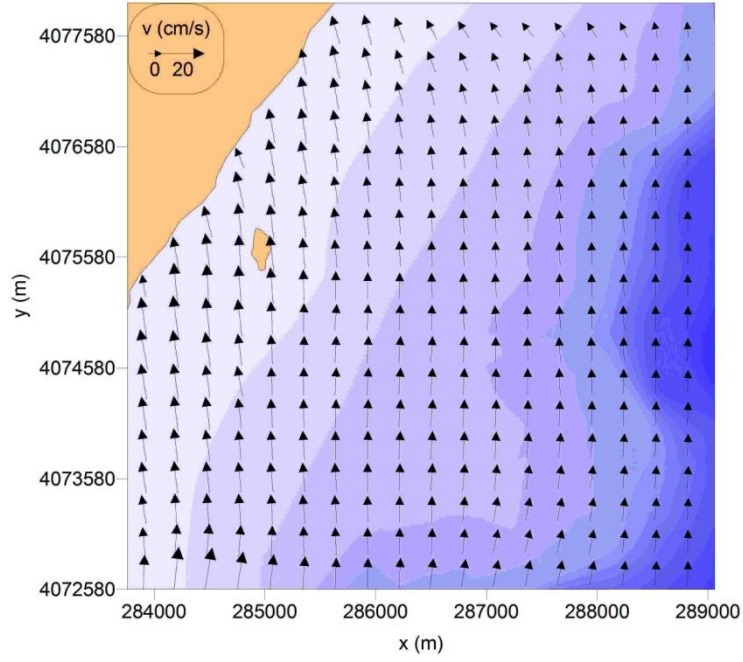
Çizelge 4.69.Kış mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

Senaryo	Derinlikle Düzeltilmiş T_{90} (sa)	Debi (m^3/s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C_0 (TC, CFU/100 ml)
Kış NNW	83	0,96	477000

NNW yönünden 19,2 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekiller 4.73 ve 4.74’de verilmektedir. Çizelge 4.69’da verilen parametre değerleri ve HIDROTAM3 çıktıları kullanılarak elde edilen Visual Plumes model tahminleri Çizelgeler 4.70 ve 4.71’de, model ile tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.75’de verilmektedir.



Şekil 4.73. Kış mevsiminde NNW yönünden 19,2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



Şekil 4.74. Kış mevsiminde NNW yönünden 19,2 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelge 4.70. Visual Plumes modeli ile kış mevsiminde NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

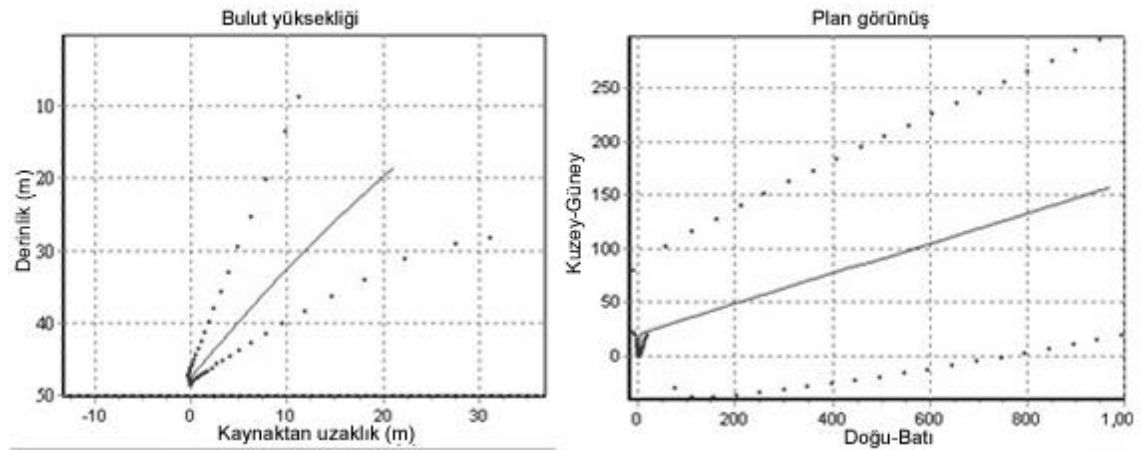
Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,6	2,20	74,6
41,2	5,80	244,7
38,1	8,33	363,6
33,8	12,46	540,3
27,2	17,86	802,9
17,0	25,12	1193,0
12,5	28,39	1370,4
10,2	29,53	1454,3
8,6	30,34	1513,1

Kış mevsimi için uzun dönemlik verilerle belirlenen NNW yönlü ekstrem rüzgar etkisi için elde edilen model tahminleri incelendiğinde, derinlik boyunca homojen yoğunluk etkisi altında deşarj edilen atıksuların derinlik boyunca yayıldığı ve yüzeyden 10 m derinliklere kadar ulaşacağı Visual Plumes model grafiklerinde görülmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen 19,2 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile atıksu bulutu

difüzörden 1000 m mesafeye 3,75 saatte ulaşmakta ve tahmini bakteri sayısı 209 CFU/100 ml olmaktadır.

Çizelge 4.71. Visual Plumes modeli ile NNW yönlü ekstrem rüzgarlar tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	1513,8	314	195,9
200	1534,4	308	218,6
300	1595,0	295	239,1
400	1674,3	280	258,1
500	1760,0	264	275,7
600	1846,8	251	292,3
700	1932,5	239	308,0
800	2016,3	228	322,9
900	2098,1	218	337,2
1000	2177,5	209	350,9
1100	2254,6	201	364,0
1200	2329,7	194	376,7
1300	2402,9	187	389,0
1400	2473,8	181	401,0
1500	2543,1	175	412,5



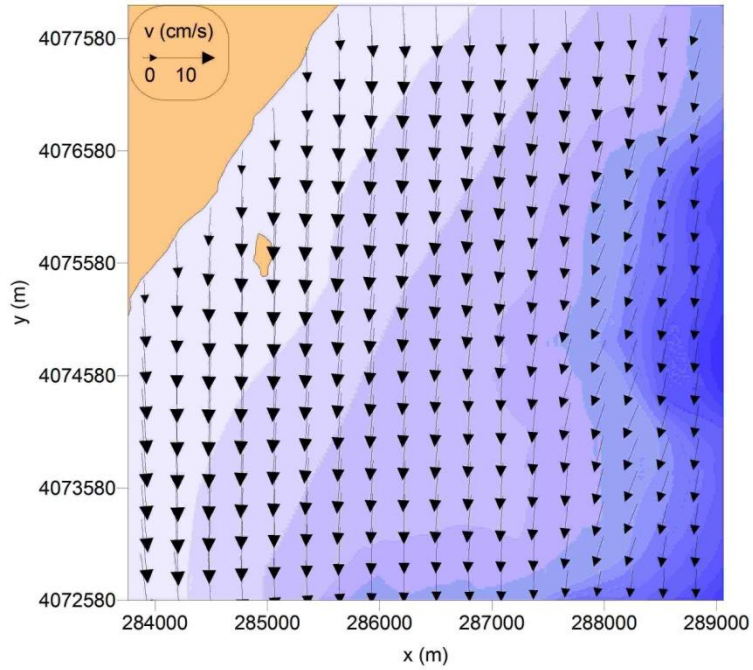
Şekil 4.75. NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

4.6.1.4. İlkbahar mevsimi senaryosu

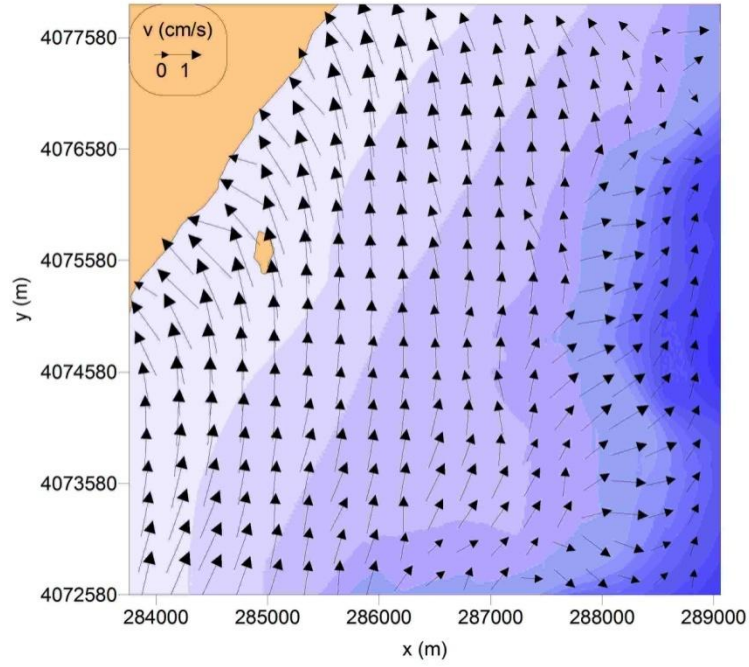
Çizelge 4.72’de ilkbahar mevsimi için Visual Plumes modelinde tanımlanan önemli model parametreleri verilmektedir. NNW yönünden 7,5 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.76 ve 4.77’de verilmektedir.

Çizelge 4.72. İlkbahar mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

Senaryo	Derinlikle Düzeltilmiş T_{90} (sa)	Debi (m^3/s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C_0 (TC, CFU/100 ml)
İlkbahar NNW	5,2	0,85	532000



Şekil 4.76. İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



Şekil 4.77. İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelge 4.72’de verilen parametre değerleri ve HIDROTAM-3 çıktıları kullanılarak elde edilen Visual Plumes model tahminleri Çizelgeler 4.73 ve 4.74’de, model ile tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.78’de verilmektedir.

Çizelge 4.73. Visual Plumes modeli ile ilkbahar mevsiminde NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

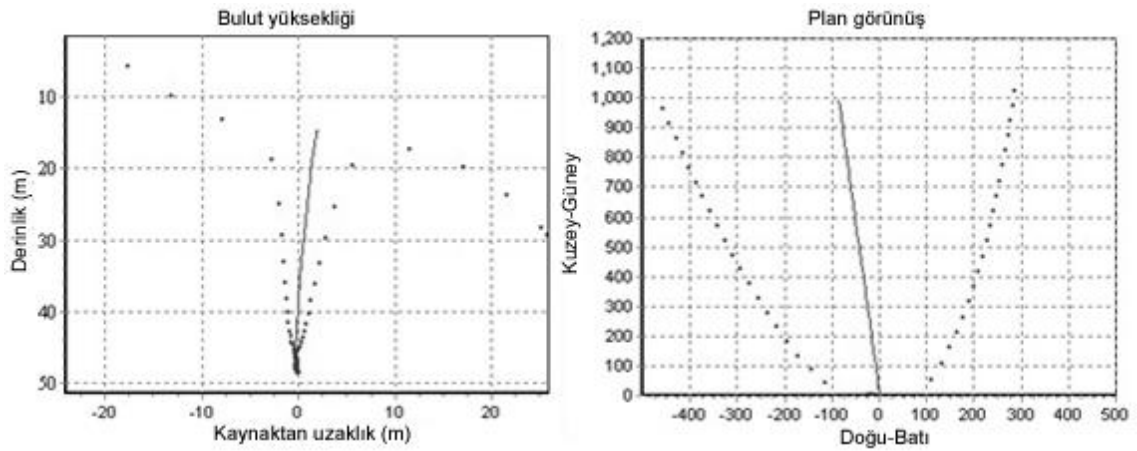
Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,1	1,11	30,3
39,9	2,29	99,3
35,7	3,16	147,5
29,4	4,55	219,2
23,6	6,40	283,6
19,2	8,91	325,8
16,2	16,69	351,3
15,5	56,16	354,2

İlkbahar mevsimi için uzun dönemlik verilerle belirlenen NNW yönlü ekstrem rüzgar etkisi için elde edilen model tahminleri incelendiğinde, derinlik boyunca etkin

olan yoğunluk değişimi etkisi altında deşarj edilen atıksular yüzeye ulaşmadan tutsaklanmaktadır. Bu mevsimde atıksu bulutu merkezinin yüzeyden yaklaşık 15 metre aşağıda olması beklenmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen 7,5 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile atıksu bulutunun tutsaklanma derinliğinde difüzörden 1000 m mesafeye 23,95 saatte ulaşması ve bakteri sayısının 4 CFU/100 ml olması tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.74. Visual Plumes modeli ile NNW yönlü ekstrem rüzgarlar tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	481,9	697	290,2
200	625,2	339	381,1
300	743,0	180	454,1
400	844,8	100	516,9
500	936,1	57	572,9
600	1019,0	33	623,9
700	1095,7	19	671,0
800	1167,5	11	715,0
900	1235,2	7	756,5
1000	1299,2	4	795,8
1100	1360,3	2	833,2
1200	1418,7	1	869,1
1300	1474,8	1	903,5
1400	1528,9	1	936,7
1500	1581,1	0	968,7



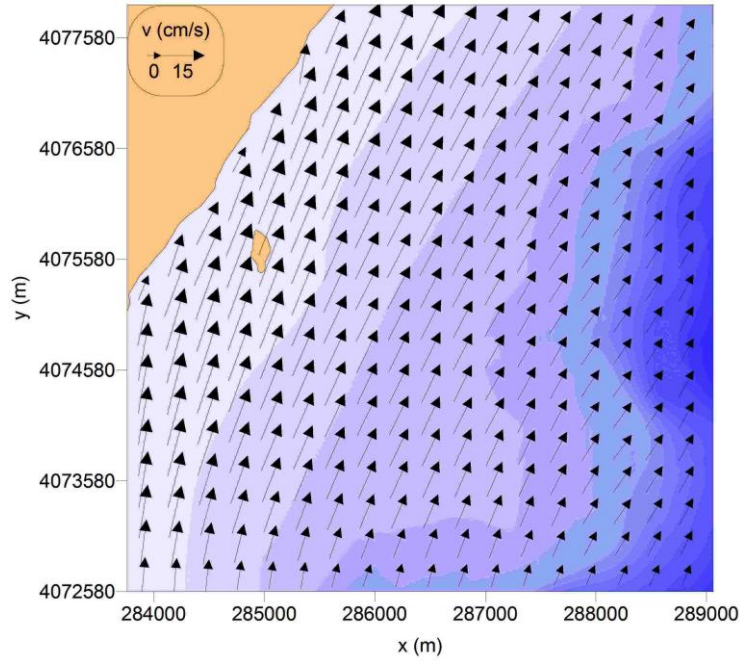
Şekil 4.78. İlkbahar mevsiminde NNW yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

4.6.1.5. Yaz mevsimi senaryosu

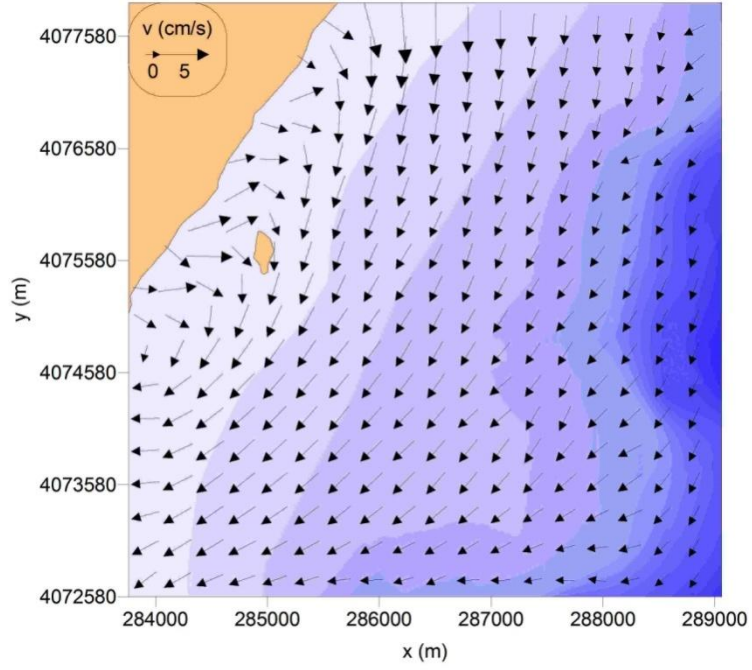
Çizelge 4.75’de yaz mevsimi için Visual Plumes modelinde tanımlanan önemli model parametreleri verilmektedir. S yönünden 10,1 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekil 4.79 ve 4.80’de verilmektedir.

Çizelge 4.75. Yaz mevsimi seyrelme tahminlerinde kullanılan parametre değerleri

Dönem	Derinlikle Düzeltilmiş T_{90} (sa)	Debi (m^3/s)	Deşardan verilen başlangıç bakteri sayısı C_0 (TC, CFU/100 ml)
Yaz S	36	0,94	485000



Şekil 4.79. Yaz mevsiminde S yönünden 10,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



Şekil 4.80. Yaz mevsiminde S yönünden 10,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelge 4.75’de verilen parametre değerleri ve HIDROTAM-3 çıktıları kullanılarak elde edilen Visual Plumes model tahminleri Çizelgeler 4.76 ve 4.77’de, model ile tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.81’de verilmektedir.

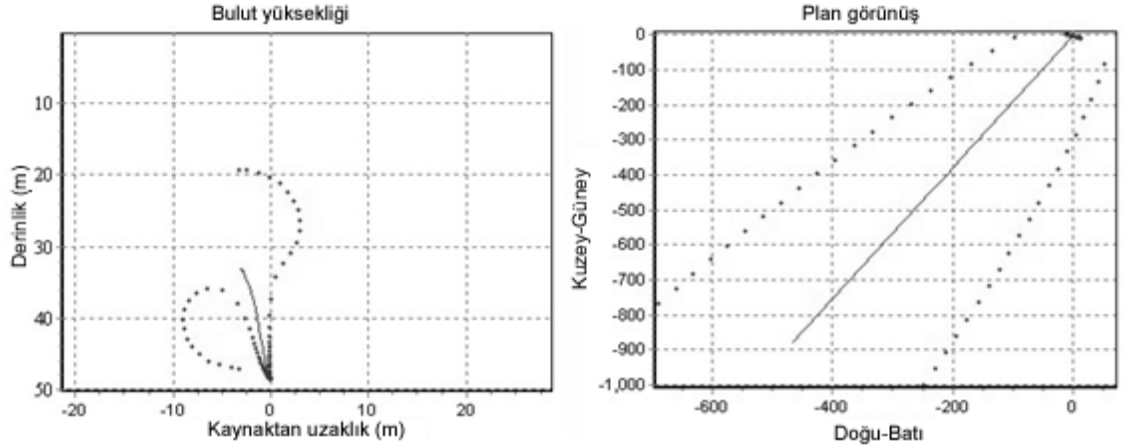
Çizelge 4.76. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve birinci seyrelme bölgesi parametreleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,8	1,01	23,7
41,6	2,17	77,8
38,3	3,54	113,3
34,4	8,68	151,5
33,3	27,27	158,1

Çizelge 4.77. Yaz mevsiminde Visual Plumes modeli ile S yönlü ekstrem rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelmeleri ve parametreleri

Birinci seyrelme bölgesinin bitiminden itibaren mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bakteri Sayısı (CFU/100 ml)	Bulut genişliği (m)
100	183,6	2542	197,3
200	225,6	1990	249,4
300	262,7	1644	292,3
400	295,4	1407	329,7
500	325,1	1230	363,3
600	352,3	1092	394,0
700	377,6	980	422,5
800	401,3	888	449,2
900	423,8	809	474,4
1000	445,1	741	498,3
1100	465,4	682	521,1
1200	484,9	630	543,0
1300	503,6	583	564,0
1400	521,7	542	584,3
1500	539,2	504	603,8

Yaz mevsimi için uzun dönemlik verilerle belirlenen S yönlü ekstrem rüzgar etkisi için elde edilen model tahminleri incelendiğinde, derinlik boyunca etkin olan yoğunluk değişimi etkisi altında deşarj edilen atıksular yüzeye ulaşmadan tutsaklanmaktadır. Bu mevsimde atıksu bulutu merkezinin yüzeyden yaklaşık 33 metre aşağıda olması beklenmektedir. Bu mevsimde S yönünden esen 10,1 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile atıksu bulutunun tutsaklanma derinliğinde difüzörden 1000 m mesafeye 13,89 saatte ulaşması ve bakteri sayısının 741 CFU/100 ml olması tahmin edilmektedir.



Şekil 4.81. Yaz mevsiminde S yönlü ekstrem rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

4.6.2. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nden deşarj edilen atıksuda koliform giderim senaryoları

Yönetim senaryoları kapsamında Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundaki bakteri konsantrasyonlarının farklı arıtma yöntemleri ve verimlilik değerlerine bağlı olarak değişmesi durumunda, deniz ortamındaki koliform konsantrasyonlarının nasıl değişeceğine yönelik 20 adet yönetim senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolarda, 25 yıllık saatlik ortalama rüzgar verileri kullanılarak her mevsim için akıntı düzenleri HIDROTAM-3 modeli yardımıyla elde edilmiştir. HIDROTAM-3 modeli ile elde edilen akıntı hız ve yönleri Visual Plumes modelinde girdi olarak kullanılarak çalışma tamamlanmıştır.

4.6.2.1. Uzun vadeli saatlik ortalama rüzgar verilerinin istatistiksel analizi

Tez çalışması kapsamında dört mevsime ait 25 yıllık saatlik ortalama rüzgar verileri Antalya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup her mevsim için esme sayıları ve sıklıkları analiz edilmiştir. Bu kapsamda her mevsim için toplam 16 ana ve ara yön için ayrılan veri seti üzerinde histogram analizi yapılmıştır. Belirtilen şekilde rüzgarların yönsel dağılımları elde edilmiş ve hakim rüzgar yönleri belirlenmiştir. 16 ana ve ara yön için yönsel dağılımları elde edilen rüzgarların büyüklükleri analiz edilerek, her yönde belli hız aralıklarındaki rüzgarların sıklıkları tespit edilmiştir. Belirlenen hakim rüzgar yönleri için rüzgar hızı dağılımının %95'lik kısmında yer alan rüzgar hızı dönemlik rüzgar olarak kabul edilmiş ve akıntı modellemesinde

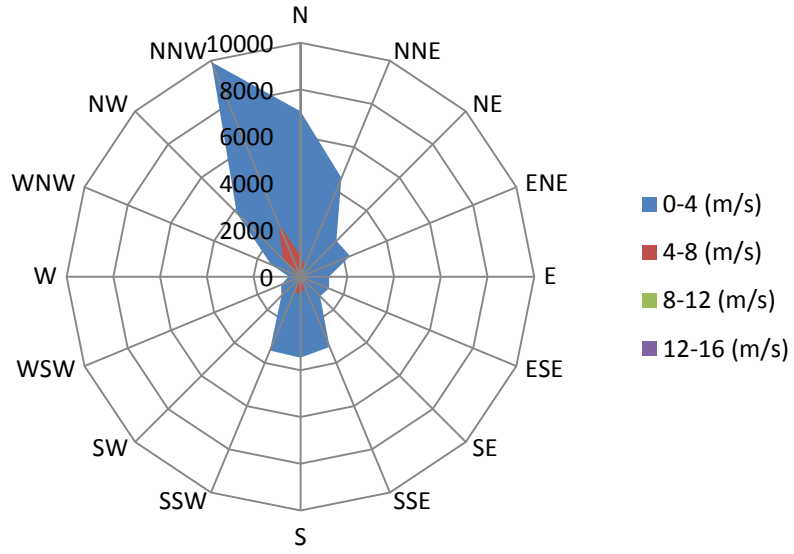
kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yaz mevsimi dışındaki üç mevsimde hakim rüzgarın tek yönde olduğu sonucuna varılırken, yaz mevsiminde ise iki farklı hakim yön belirlenmiştir.

i. Sonbahar mevsimi rüzgar istatistiği

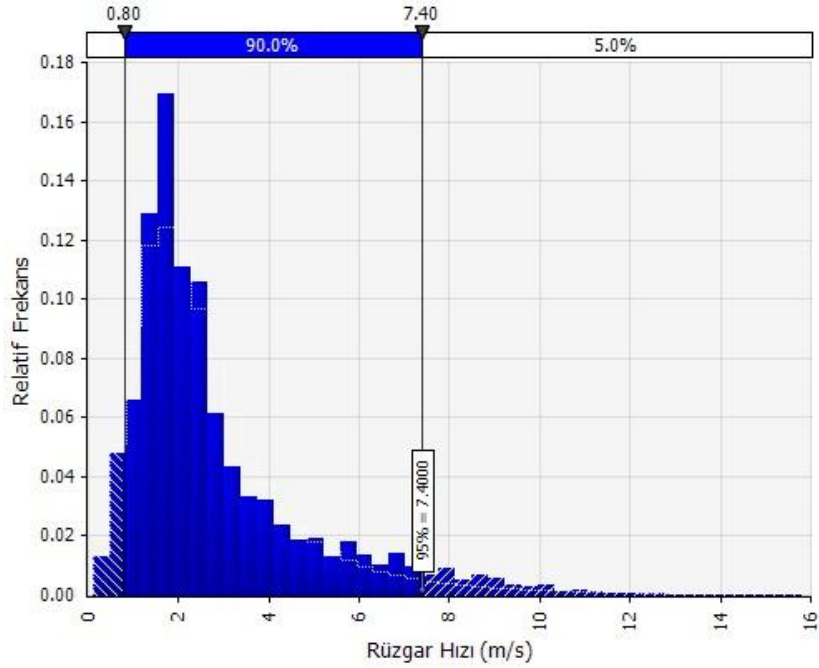
1981-2006 yıllarını kapsayan saatlik ortalama rüzgar verisinden her yıl için Eylül, Ekim ve Kasım aylarına ait veriler ayrılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda sonbahar ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.78’de ve sunulan verilere ilişkin sonbahar mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.82’de verilmektedir. Şekil 4.82’de sunulan rüzgar gülünden görülebileceği üzere sonbahar mevsiminde hakim rüzgar yönleri NNW-N olarak belirlenmektedir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönlere ait histogram incelenmiş ve bu yönlerden esen rüzgarların %95’ini kapsayan dilimdeki rüzgar hızı 7,4 m/s olarak elde edilmiştir. NNW-N yönlerine ait veri grubunun histogramı Şekil 4.83’de verilmektedir. Şekil 4.83’den görüldüğü gibi bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 0,8-7,4 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.

Çizelge 4.78. Sonbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	7072	4576	2174	2297	1224	1324	1187	3256
4-8	904	514	83	89	31	105	165	537
8-12	144	37	3	1	0	11	27	40
12-16	5	5	0	0	0	2	0	1
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	3467	3423	1147	901	496	1370	3855	9930
4-8	722	749	115	81	17	196	1059	2462
8-12	28	17	1	0	0	45	111	534
12-16	1	1	0	0	0	3	2	48



Şekil 4.82. Sonbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü



Şekil 4.83. Sonbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

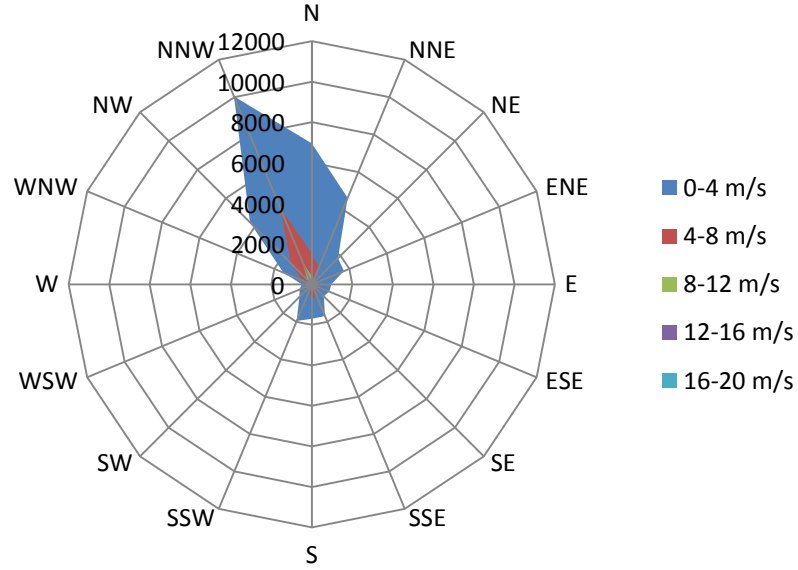
ii. *Kış mevsimi rüzgar istatistiği*

1981-2006 yıllarını kapsayan saatlik ortalama rüzgar verisinden her yıl için Aralık, Ocak ve Şubat aylarına ait veriler ayrılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda

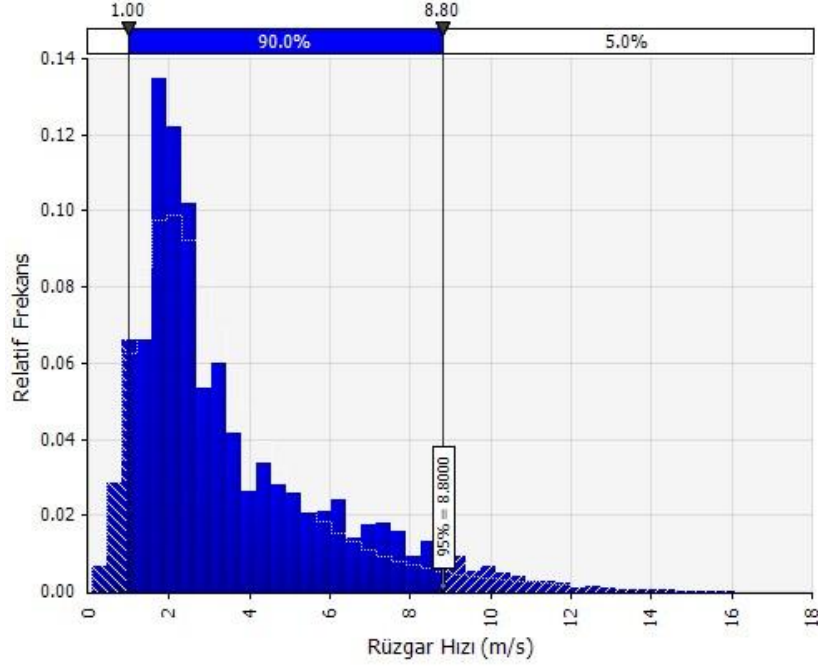
kış ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.79’da ve sunulan verilere ilişkin kış mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.84’de verilmektedir.

Çizelge 4.79. Kış mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	6950	4617	1826	1714	962	933	836	1695
4-8	1513	896	95	136	77	156	260	591
8-12	395	121	20	3	13	106	125	224
12-16	26	19	5	0	0	15	23	26
16-20	0	0	0	0	0	0	1	0
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	1703	1956	868	655	494	1530	4317	10037
4-8	714	361	63	66	26	515	1452	4074
8-12	294	88	13	3	0	84	305	1170
12-16	26	8	0	0	0	0	14	107
16-20	0	0	0	0	0	0	0	1



Şekil 4.84. Kış mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü



Şekil 4.85. Kış mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

Şekil 4.84’de verilen rüzgar gülünden görülebileceği üzere kış mevsiminde hakim rüzgar yönleri sonbahar mevsimine benzer olarak NNW-N olarak belirlenmiştir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönlere ait histogram incelenmiş ve bu yönlerden esen rüzgarların %95’ini kapsayan dilimdeki rüzgar hızı 8,8 m/s olarak elde edilmiştir. NNW-N yönlerine ait veri grubunun histogramı Şekil 4.85’de verilmektedir. Bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 1,0-8,8 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.

iii. İlkbahar mevsimi rüzgar istatistiği

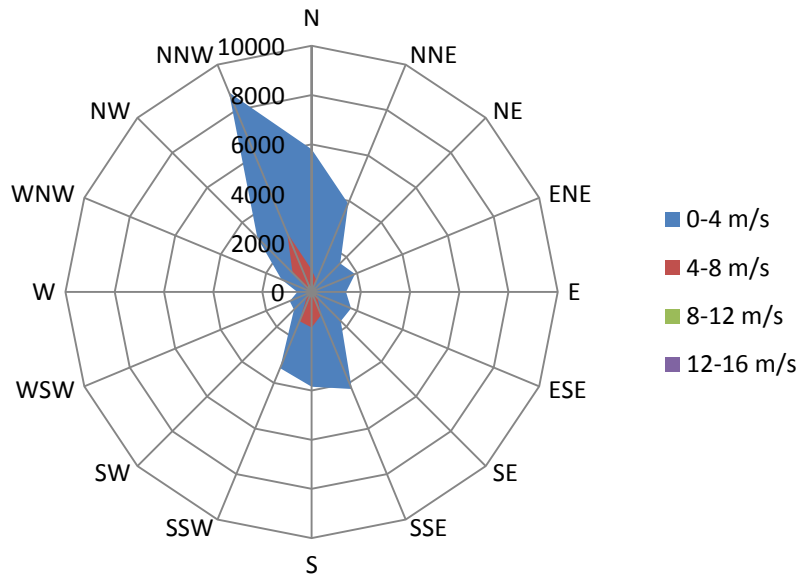
1981-2006 yıllarını kapsayan saatlik ortalama rüzgar verisinden her yıl için Mart, Nisan ve Mayıs aylarına ait veriler ayrılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda ilkbahar ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.80’de ve sunulan verilere ilişkin ilkbahar mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.86’da verilmektedir.

Şekil 4.86’da verilen rüzgar gülünden görülebileceği üzere ilkbahar mevsiminde hakim rüzgar yönleri sonbahar ve kış mevsimine benzer olarak NNW-N olarak

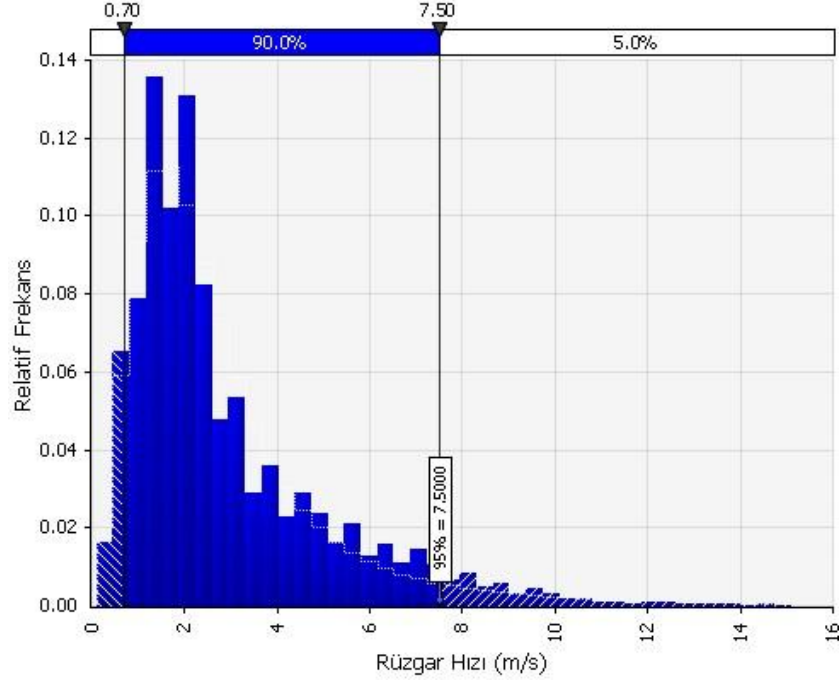
belirlenmiştir. Bu tespitten yola çıkılarak söz konusu yönler için histogram incelenmiş ve bu yönlerden esen rüzgarların %95'ini kapsayan dilimdeki rüzgar hızı 7,5 m/s olarak elde edilmiştir. NNW-N yönlerine ait veri grubunun histogramı Şekil 4.87'de verilmektedir. Şekil 4.87'den görüldüğü gibi bu mevsimde hakim rüzgar yönlerinden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 0,7-7,5 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır.

Çizelge 4.80. İlkbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönler göre esme sıklıkları

Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	5800	3883	1643	1909	1396	1734	1674	4265
4-8	907	507	34	61	78	186	339	1011
8-12	145	24	4	0	0	10	25	83
12-16	13	4	0	0	0	1	6	4
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	3848	3347	1014	965	578	1324	3119	8776
4-8	1442	1282	277	78	11	137	1093	2599
8-12	95	27	1	0	1	16	162	450
12-16	1	0	0	0	0	1	4	53



Şekil 4.86. İlkbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü



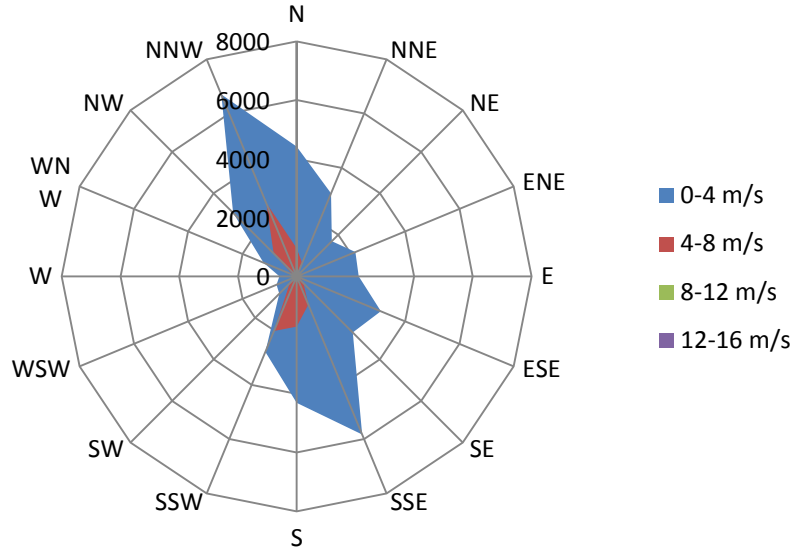
Şekil 4.87. İlkbahar mevsimi için hakim yönleri temsil eden NNW-N yönlerine ait rüzgar hızı histogramı

iv. *Yaz mevsimi rüzgar istatistiği*

1981-2006 yıllarını kapsayan saatlik ortalama rüzgar verisinden her yıl için Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarına ait veriler ayrılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yaz ayları için elde edilen yönlere bağlı rüzgar hızlarının esme sıklıkları Çizelge 4.81’de ve sunulan verilere ilişkin yaz mevsimi rüzgar gülü ise Şekil 4.88’de verilmektedir.

Çizelge 4.81. Yaz mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinin yönlere göre esme sıklıkları

Rüzgar Hızı (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-4	4420	3060	1693	2165	2113	3104	2703	5831
4-8	958	489	25	36	49	153	328	1042
8-12	76	26	1	0	0	1	0	0
12-16	2	1	0	0	0	0	0	0
Rüzgar Hızı (m/s)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	4308	2786	837	743	588	1224	3063	6706
4-8	1713	2014	335	73	6	144	1108	2712
8-12	0	3	0	0	0	2	53	185
12-16	0	0	0	0	0	0	0	3

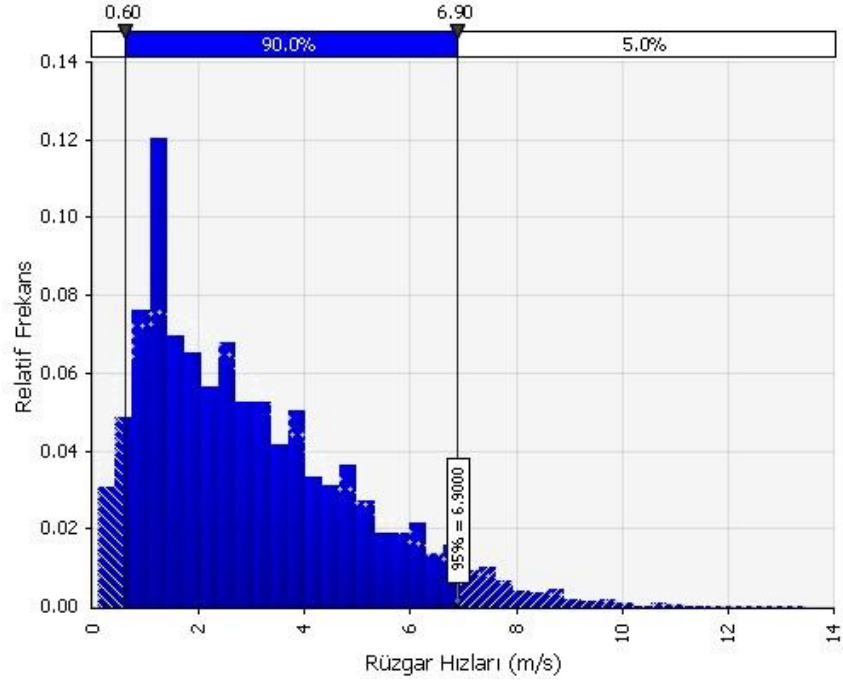


Şekil 4.88. Yaz mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisinden elde edilen rüzgar gülü

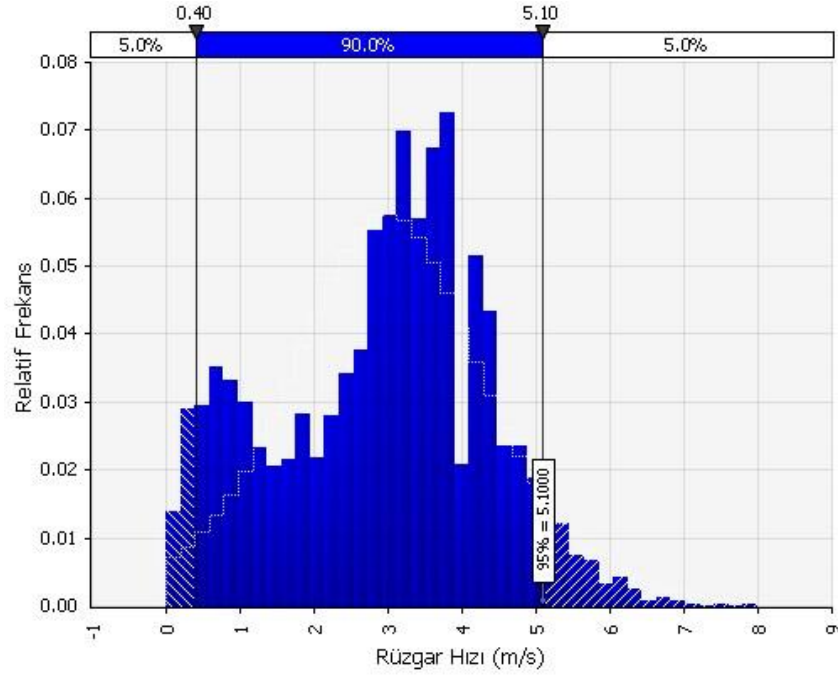
Şekil 4.88’de verilen rüzgar gülünden görülebileceği üzere yaz mevsiminde hakim rüzgar yönleri NNW ve SSE olarak belirlenmiştir. Bu sebeple yaz mevsiminde iki farklı hakim yön dikkate alınarak iki farklı senaryo çalışması yapılmıştır. NNW ve SSE yönlerine ait histogramlar incelendiğinde bu yönlerden esen rüzgarların %95’ini kapsayan dilimdeki rüzgar hızları sırasıyla 6,9 ve 5,1 m/s olarak elde edilmiştir. NNW ve SSE yönlerine ait veri gruplarının histogramları Şekiller 4.89 ve 4.90’da verilmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen rüzgarlar %90 ihtimalle 0,6-6,9 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır (Şekil 4.89). Yaz mevsiminde NNW yönü dışında SSE yönünden esen rüzgarların da sıklığı yüksek olup bu rüzgarların şiddetleri %90 ihtimalle 0.4-5.1 m/s hız dilimi içinde bulunmaktadır (Şekil 4.90). 1981-2006 yıllarını kapsayan saatlik ortalama rüzgar hızı ve yönlerini içeren veri setinin istatistiksel analizi sonucu dört mevsim için elde edilen hakim rüzgar yönleri ve rüzgar hızları Çizelge 4.82’de verilmektedir.

Çizelge 4.82. Uzun dönemlik saatlik ortalama rüzgar verilerine ait ortalama rüzgar hız ve yönleri

Mevsim	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Yönü
Sonbahar	7,4	NNW-N
Kış	8,8	NNW-N
İlkbahar	7,5	NNW-N
Yaz	6,9	NNW
	5,1	SSE



Şekil 4.89. Yaz mevsimi için NNW yönüne ait rüzgar hızı histogramı



Şekil 4.90. Yaz mevsimi için SSE yönüne ait rüzgar hızı histogramı

Her mevsim için elde edilen hakim rüzgar yönleri ve ortalama rüzgar hızları ile HIDROTAM-3 modeli kullanılarak akıntı yön ve büyüklükleri ile deşarj noktasındaki akıntı profilleri elde edilmiştir. HIDROTAM-3 modeli yardımıyla elde edilen akıntı hız

profilleri ise Visual Plumes modeli için girdi olarak kullanılarak farklı arıtım senaryoları için seyrelmeler ve koliform sayıları tahmin edilmiştir. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyundaki bakteri konsantrasyonlarının farklı arıtma yöntemleri ve verimlilik değerlerine bağlı olarak değişmesi durumunda, deniz ortamındaki koliform konsantrasyonlarının nasıl değişeceğini araştırmak amacıyla toplam 20 adet yönetim senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolarda, her mevsim için elde edilen akıntı düzenleri ve Visual Plumes model tanımlamaları kullanılmış olup, sadece başlangıç koliform konsantrasyonları değiştirilmiştir. Oluşturulan senaryolarda her mevsim için dört farklı başlangıç koliform konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu senaryolar:

- mevcut arıtım sonrası deşarj (ST)
- herhangi bir arıtım yapılmadan atıksuların direkt deniz deşarjına verilmesi (DD senaryosu)
- ön arıtım sonrası deniz deşarjı uygulaması (PT senaryosu)
- mevcut arıtıma ilaveten dezenfeksiyon uygulanması sonrası deniz deşarjı (DIS senaryosu) durumlarını içermektedir.

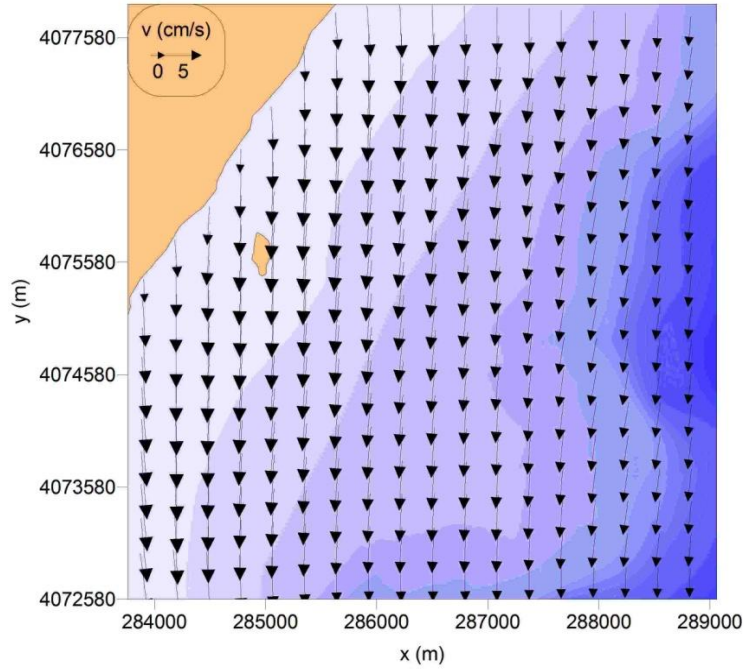
Başlangıç koliform konsantrasyonları, tez çalışması kapsamında yürütülen Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu haftalık bakteriyolojik izleme sonuçları kullanılarak oluşturulmuştur. Atıksuların herhangi bir arıtım yapılmadan direkt olarak deniz ortamına deşarj edilmesi durumunda, mevsimlik ortalama tesis giriş suyu TC konsantrasyonu esas alınırken, ön arıtma durumu için tesis giriş suyu TC konsantrasyonu %20 oranında azaltılarak kullanılmıştır. Son olarak mevcut arıtım sonrası dezenfeksiyon uygulanması senaryosu için çıkış suyu TC konsantrasyonunda %99 oranında giderim olduğu varsayılarak başlangıç TC konsantrasyonu belirlenmiştir. Her bir yönetim senaryosunun ait olduğu mevsim ve senaryo koşulları Çizelge 4.83'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.83. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi deşarj suları için TC bakteri giderim senaryoları

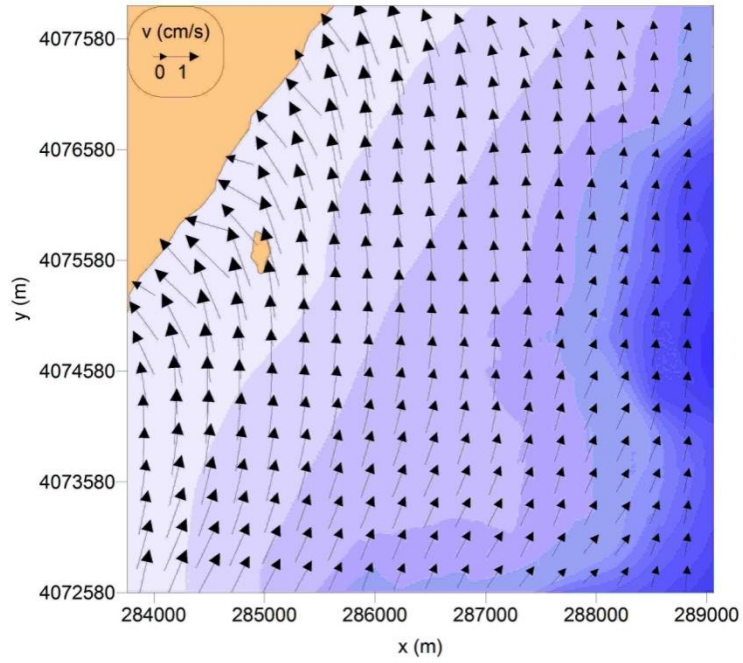
Senaryo No	Mevsim	Rüzgar Yönü	Arıtma Seviyesi	Başlangıç Bakteri Konsantrasyonu (CFU/100 ml)
1	Sonbahar	NNW	Standart arıtım	598.000
2			Direkt deşarj	343.000.000
3			Ön arıtım	274.400.000
4			Dezenfeksiyon	5.980
5	Kış	NNW	Standart arıtım	477.000
6			Direk deşarj	111.000.000
7			Ön arıtım	88.800.000
8			Dezenfeksiyon	4.770
9	İlkbahar	NNW	Standart arıtım	532.000
10			Direkt deşarj	38.000.000
11			Ön arıtım	30.400.000
12			Dezenfeksiyon	5.320
13	Yaz	NNW	Standart arıtım	485.000
14			Direkt deşarj	45.000.000
15			Ön arıtım	36.000.000
16			Dezenfeksiyon	4.850
17		SSE	Standart arıtım	485.000
18			Direkt deşarj	45.000.000
19			Ön arıtım	36.000.000
20			Dezenfeksiyon	4.850

4.6.2.2. Sonbahar mevsimi

Sonbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisi incelendiğinde bu mevsimdeki hakim rüzgar yönü NNW ve bu yöndeki rüzgar hızlarının %95'ini kapsayan rüzgar hızının 7,4 m/s olduğu tespit edilmiştir. NNW yönünden 7,4 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekiller 4.91 ve 4.92'de verilmektedir.



Şekil 4.91. Sonbahar mevsiminde NNW yönünden 7,4 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



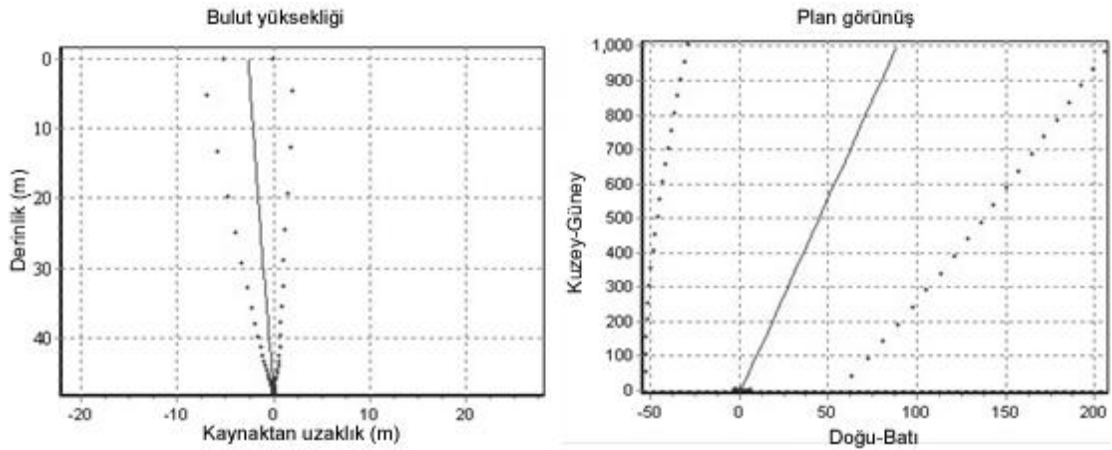
Şekil 4.92. Sonbahar mevsiminde NNW yönünden 7,4 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Sonbahar mevsiminde NNW yönünden esen rüzgar için HİDROTAM-3 modelinden elde edilen akıntı hız ve yön verileri Visual Plumes modeline aktarılarak söz konusu rüzgar hız ve yönü için üç farklı başlangıç bakteri konsantrasyonu için

seyrelme ve bakteriyolojik kirlilik tahminleri elde edilmiştir. Akıntı hızı ve yönü ile birlikte diğer mevsimsel parametreler her arıtım senaryosunda aynı olduğu için seyrelme prosesleri ile ilgili olarak bulut çapı ve birinci seyrelme büyüklükleri aynı olup sadece deniz ortamında seyrelme prosesleri sonucunda kalan bakteri konsantrasyonları değişmektedir. Çizelgeler 4.84 ve 4.85’de sırasıyla yakın alan ve uzak alan seyrelmeleri ile bu seyrelmeler sonucunda deniz ortamında bulunması beklenen koliform konsantrasyonları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Model tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.93’de verilmektedir.

Çizelge 4.84. Visual Plumes modeli ile sonbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,8	0,94	21,8
38,9	2,50	106,3
34,2	3,45	158,0
31,0	4,11	192,6
27,1	4,94	234,7
16,5	7,20	348,8
3,3	9,66	488,4
0,0	6,16	578,5



Şekil 4.93. Sonbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Çizelge 4.85. Visual Plumes modeli ile sonbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları*

Mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bulut Genişliği (m)	Bakteri Sayısı (ST) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DD) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (PT) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DIS) (CFU/100 ml)
100	853,4	220,8	626	359.006	287.205	6
200	1127,3	294,1	423	242.759	194.207	4
300	1348,6	352,5	316	181.256	145.005	3
400	1539,2	402,5	247	141.854	113.483	2
500	1708,5	446,9	199	114.151	91.321	2
600	1862,7	487,3	163	93.522	74.818	2
700	2005,2	524,6	135	77.600	62.080	1
800	2138,0	559,4	113	65.008	52.007	1
900	2263,1	592,2	96	54.857	43.886	1
1000	2381,6	623,2	81	46.562	37.249	1
1100	2494,5	652,8	69	39.708	31.766	1
1200	2602,6	681,1	59	33.995	27.196	1
1300	2706,4	708,3	51	29.200	23.360	1
1400	2806,3	734,4	44	25.154	20.123	0
1500	2902,8	759,7	38	21.721	17.377	0

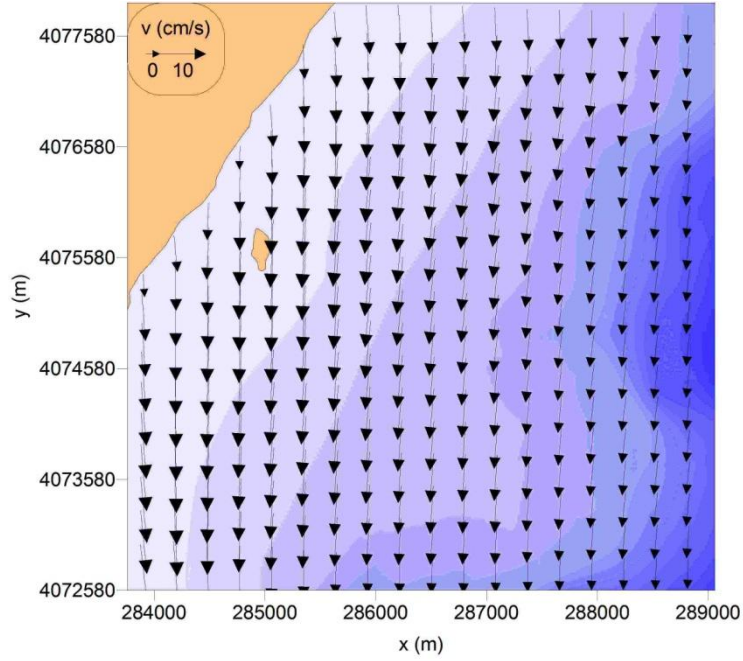
* ST: Mevcut arıtım durumu; DD: direkt deşarj senaryosu; PT: ön arıtma senaryosu; DIS: dezenfeksiyon senaryosu

Sonbahar mevsiminde derinlik boyunca homojen yoğunluk etkisi altında deşarj edilen atıksuların yüzeye kadar ulaşacağı Visual Plumes model grafiklerinde görülmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen 7,4 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile yüzeydeki atıksu bulutu difüzörden 1000 m mesafeye 3,39 saatte ulaşmaktadır. Birinci seyrelme prosesi sonucunda tahmini bakteri sayısı mevcut arıtımda 1034, direkt deşarj senaryosu için 592.913, ön arıtma senaryosu için 474.330 ve dezenfeksiyon senaryosu için 10 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Uzak bölge seyrelmeleri neticesinde de deniz yüzeyinde difüzörden 1000 m mesafedeki tahmini bakteri sayısı direkt mevcut arıtım için 81, direkt deşarj senaryosu için 46.562, ön arıtma senaryosu için 37.249 ve dezenfeksiyon senaryosu için 1 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Direkt deşarj ve ön arıtma uygulamaları için difüzöre 1000 m mesafede oldukça yüksek koliform konsantrasyonlarının olma riski ortaya çıkmıştır.

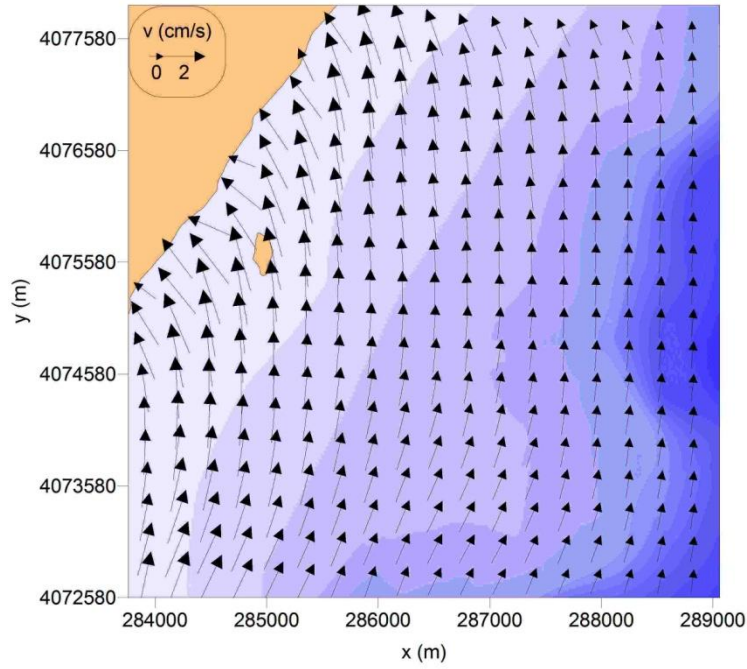
4.6.2.3. Kış mevsimi

Kış mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisi incelendiğinde bu mevsimdeki hakim rüzgar yönü NNW ve bu yöndeki rüzgar hızlarının %95'ini kapsayan rüzgar hızının 8,8 m/s olduğu tespit edilmiştir. NNW yönünden 8,8 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekiller 4.94 ve 4.95'de verilmektedir.

Çizelgeler 4.86 ve 4.87'de sırasıyla yakın alan ve uzak alan seyrelmeleri ile koliform konsantrasyonları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Model tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.96'da verilmektedir.



Şekil 4.94. Kış mevsiminde NNW yönünden 8,8 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



Şekil 4.95. Kış mevsiminde NNW yönünden 8,8 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelge 4.86. Visual Plumes modeli ile kış mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,8	1,00	22,9
41,6	2,01	75,2
38,4	2,66	111,7
33,4	3,75	166,0
26,0	5,29	246,7
23,2	5,83	277,8
15,2	7,66	366,5
0,0	8,36	618,0

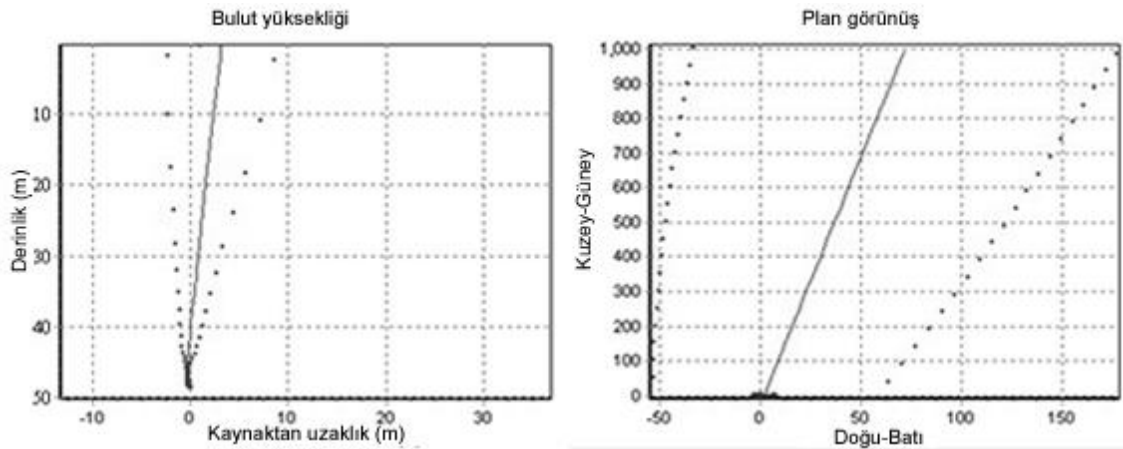
Kış mevsiminde derinlik boyunca homojen yoğunluk etkisi altında deşarj edilen atıksuların yüzeye kadar ulaşacağı Visual Plumes model grafiklerinde görülmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen 8,8 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile yüzeydeki atıksu bulutu difüzörden 1000 m mesafeye 2,48 saatte ulaşmaktadır. Birinci seyrelme prosesi sonucunda tahmini bakteri sayısı mevcut arıtım için 772, direkt deşarj senaryosu için 179.612, ön arıtma senaryosu için 143.689 ve dezenfeksiyon senaryosu için 8 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Uzak bölge seyrelmeleri neticesinde de deniz

yüzeyinde difüzörden 1000 m mesafedeki tahmini bakteri sayısı mevcut arıtma için 139, direkt deşarj senaryosu için 32.267, ön arıtma senaryosu için 25.813 ve dezenfeksiyon senaryosu için 1 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Kış mevsiminde de direkt deşarj ve ön arıtma uygulamaları için difüzöre 1000 m mesafede oldukça yüksek koliform konsantrasyonlarının olma riski ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.87. Visual Plumes modeli ile kış mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları*

Mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bulut Genişliği (m)	Bakteri Sayısı (ST) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DD) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (PT) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DIS) (CFU/100 ml)
100	795,4	189,9	571	132.799	106.239	6
200	1019,0	247,2	424	98.642	78.914	4
300	1205,6	293,6	341	79.340	63.472	3
400	1367,9	333,6	286	66.542	53.234	3
500	1513,2	369,2	240	55.840	44.672	2
600	1646,1	401,8	215	50.074	40.059	2
700	1768,8	431,8	191	44.345	35.476	2
800	1883,6	460,0	170	39.627	31.702	2
900	1992,0	486,4	153	35.658	28.526	2
1000	2094,8	511,6	139	32.267	25.813	1
1100	2192,8	535,5	126	29.333	23.466	1
1200	2286,3	558,4	115	26.772	21.418	1
1300	2376,3	580,4	105	24.512	19.609	1
1400	2463,0	601,7	97	22.504	18.003	1
1500	2546,8	622,1	89	20.711	16.568	1

*ST: Mevcut arıtım durumu; DD: direkt deşarj senaryosu; PT: ön arıtma senaryosu; DIS: dezenfeksiyon senaryosu

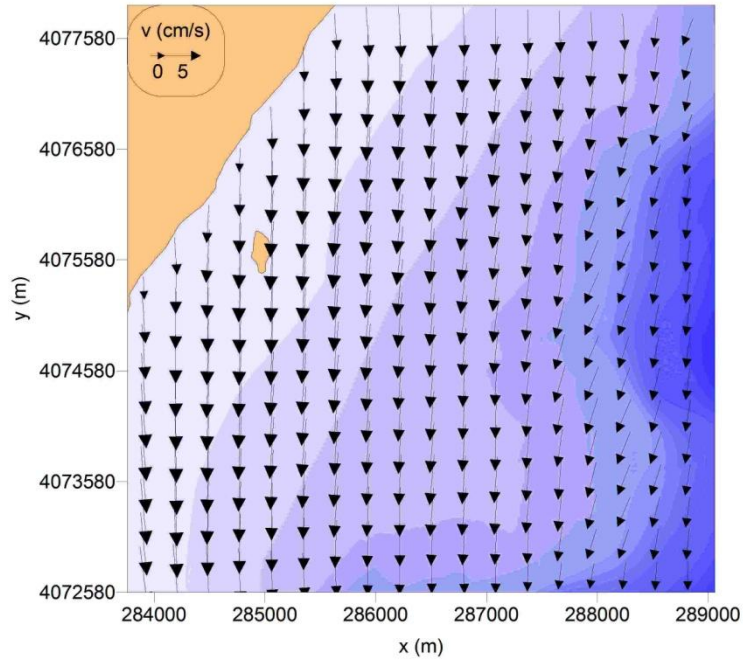


Şekil 4.96. Kış mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

4.6.2.4. İlkbahar mevsimi

İlkbahar mevsimine ait saatlik ortalama rüzgar verisi incelendiğinde bu mevsimdeki hakim rüzgar yönü NNW ve bu yöndeki rüzgar hızlarının %95'ini kapsayan rüzgar hızının 7,5 m/s olduğu tespit edilmiştir. NNW yönünden 7,5 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekiller 4.97 ve 4.98'de verilmektedir.

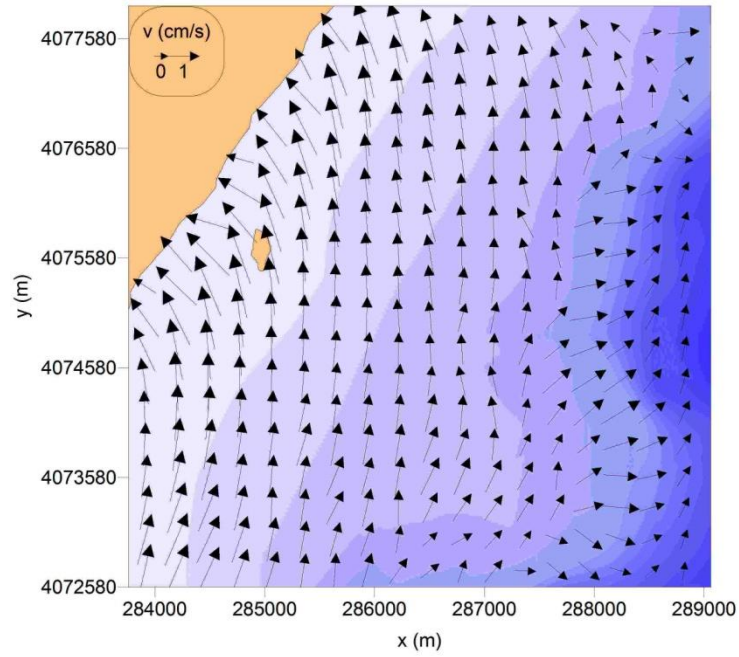
Çizelgeler 4.88 ve 4.89'da sırasıyla yakın alan ve uzak alan seyrelmeleri ile koliform konsantrasyonları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Model tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.99'da verilmektedir.



Şekil 4.97. İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar

İlkbahar mevsiminde derinlik boyunca yoğunluk değişimi etkisi altında deşarj edilen atıksuların yüzeye kadar ulaşmadan yüzeyden 15 metre derinlikte tutsaklanması beklenmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen 7,5 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile atıksu bulutu difüzörden 1000 m mesafeye 28,06 saatte ulaşmaktadır. Birinci seyrelme prosesi sonucunda tahmini bakteri sayısı mevcut arıtım için 1.502, direkt deşarj senaryosu için 107.284, ön arıtma senaryosu için 85.827 ve dezenfeksiyon

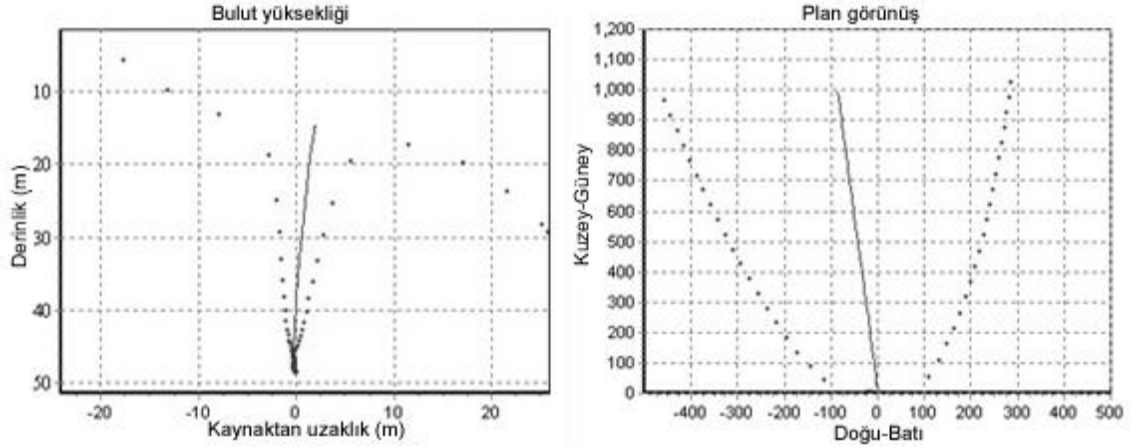
senaryosu için 15 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Uzak bölge seyrelmeleri neticesinde de tutsaklanma seviyesinde difüzörden 1000 m mesafedeki tahmini bakteri sayısı mevcut arıtım için 2, direkt deşarj senaryosu için 133, ön arıtma senaryosu için 106 ve dezenfeksiyon senaryosu için 0 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde çok düşük akıntı hızları sebebiyle direkt deşarj ve ön arıtma uygulamaları için dahi difüzöre 1000 m mesafede koliform konsantrasyonlarının ciddi oranda azalmış olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.98. İlkbahar mevsiminde NNW yönünden 7,5 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelge 4.88. Visual Plumes modeli ile ilkbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,1	1,11	30,3
39,9	2,29	99,3
35,7	3,16	147,5
29,8	4,46	214,9
23,6	6,40	283,6
19,2	8,91	325,8
16,2	16,69	351,3
15,5	56,16	354,2



Şekil 4.99. İlkbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Çizelge 4.89. Visual Plumes modeli ile ilkbahar mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları*

Mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bulut Genişliği (m)	Bakteri Sayısı (ST) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DD) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (PT) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DIS) (CFU/100 ml)
100	481,9	290,2	644	45.971	36.777	6
200	625,2	381,1	289	20.658	16.526	3
300	743,0	454,1	142	10.134	8.107	1
400	844,8	516,9	73	5.196	4.157	1
500	936,1	572,9	38	2.734	2.187	0
600	1019,0	623,9	20	1.464	1.171	0
700	1095,7	671,0	11	794	635	0
800	1167,5	715,0	6	434	347	0
900	1235,2	756,5	3	239	191	0
1000	1299,2	795,8	2	133	106	0
1100	1360,3	833,2	1	74	59	0
1200	1418,7	869,1	1	41	33	0
1300	1474,8	903,5	0	23	19	0
1400	1528,9	936,7	0	13	10	0
1500	1581,1	968,7	0	7	6	0

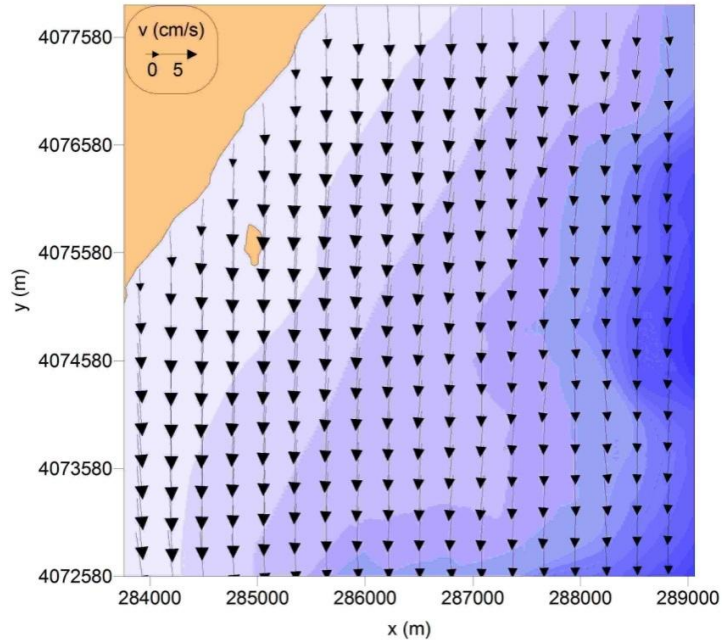
*ST: Mevcut arıtım durumu; DD: direkt deşarj senaryosu; PT: ön arıtma senaryosu; DIS: dezenfeksiyon senaryosu

4.6.2.5. Yaz mevsimi senaryoları

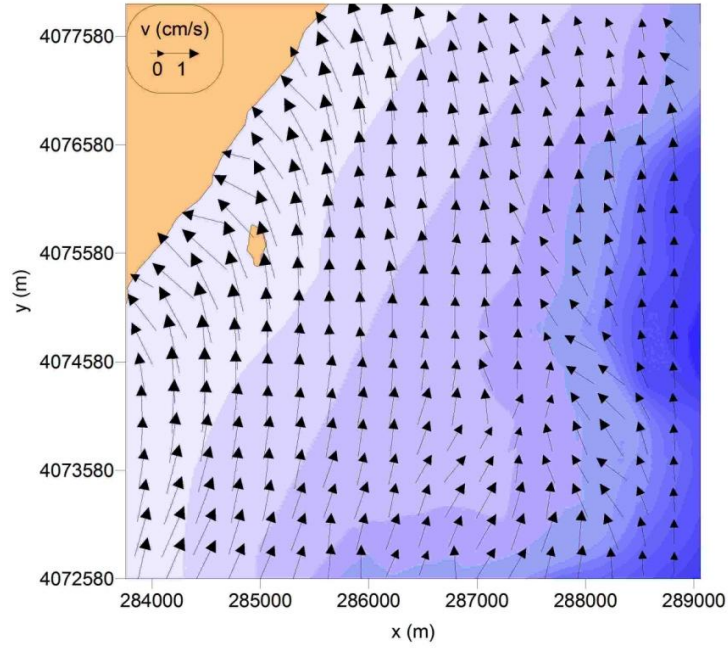
Yaz mevsiminde ortalama saatlik rüzgar verisine ait histogram incelendiğinde bu mevsimde hem NNW, hem de SSE yönlerinden esen rüzgarların etkin olabileceği görülmüştür. Bu tespitten yola çıkılarak yaz mevsimi için iki farklı senaryo oluşturulmuştur.

i. *NNW yönünden esen rüzgar etkisi altında akıntı ve seyrelme tahmini*

NNW yönünden 6,9 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekiller 4.100 ve 4.101’de verilmektedir.



Şekil 4.100. Yaz mevsiminde NNW yönünden 6,9 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



Şekil 4.101. Yaz mevsiminde NNW yönünden 6,9 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelgeler 4.90 ve 4.91’de sırasıyla yakın alan ve uzak alan seyrelmeleri ile koliform konsantrasyonları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Model tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.102’de verilmektedir.

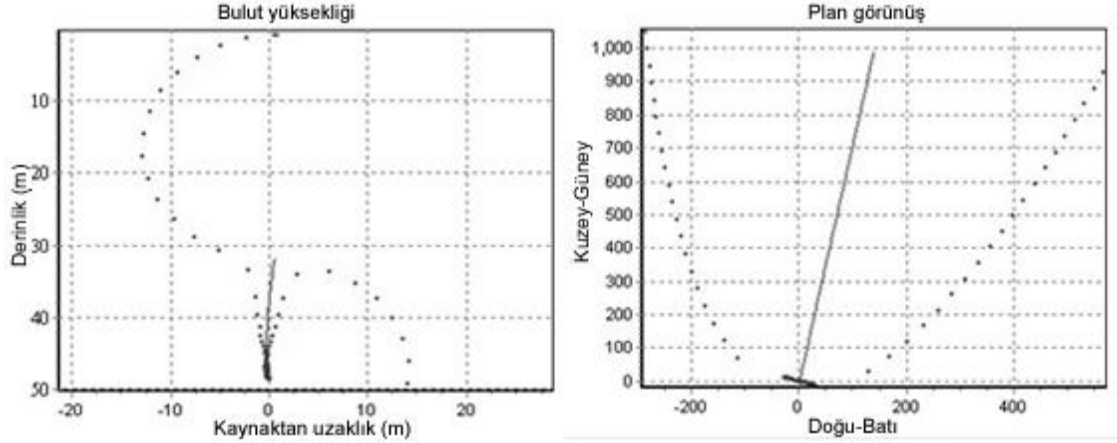
Çizelge 4.90. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen derinliğe bağlı birinci seyrelme değerleri

Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,7	0,96	22,3
41,6	2,04	72,9
37,7	3,30	108,4
32,1	57,88	143,4

Çizelge 4.91. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları*

Mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bulut Genişliği (m)	Bakteri Sayısı (ST) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DD) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (PT) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DIS) (CFU/100 ml)
100	202,2	304,8	2202	172492	137994	24
200	264,0	402,1	1548	121258	97007	17
300	314,5	480,1	1192	93425	74740	13
400	358,0	547,0	961	75330	60264	11
500	396,9	606,6	796	62364	49891	9
600	432,3	660,9	671	52553	42042	7
700	465,1	711,0	572	44833	35867	6
800	495,7	757,9	493	38610	30888	5
900	524,4	801,9	428	33498	26798	5
1000	551,7	843,7	373	29224	23379	4
1100	577,7	883,6	327	25616	20493	4
1200	602,6	921,7	288	22540	18032	3
1300	626,5	958,2	254	19899	15919	3
1400	649,5	993,5	225	17617	14094	2
1500	671,8	1027,5	200	15633	12506	2

*ST: Mevcut artım durumu; DD: direkt deşarj senaryosu; PT: ön artıma senaryosu; DIS: dezenfeksiyon senaryosu



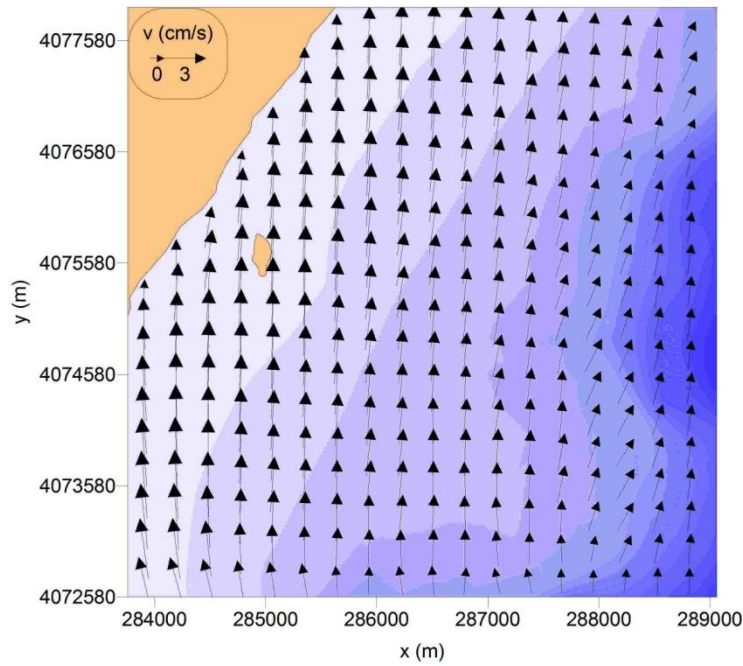
Şekil 4.102. Yaz mevsiminde NNW yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

Yaz mevsiminde derinlik boyunca yoğunluk değişimi etkisi altında deşarj edilen atıksuların yüzeye kadar ulaşmadan yüzeyden yaklaşık 32 metre derinlikte tutsaklanması beklenmektedir. Bu mevsimde NNW yönünden esen 6,95 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile tutsaklanma seviyesindeki atıksu bulutu difüzörden 1000 m mesafeye 30,86 saatte ulaşmaktadır. Birinci seyrelme prosesi sonucunda tahmini

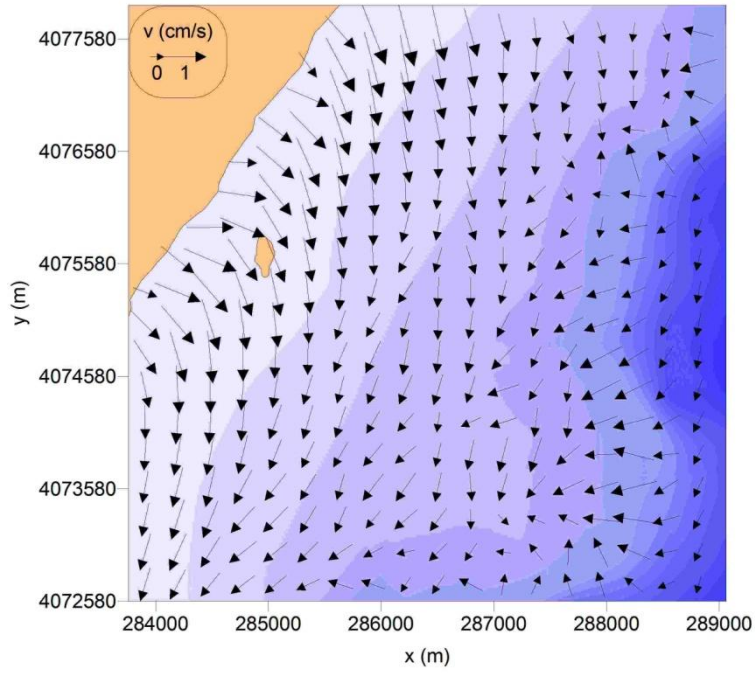
bakteri sayısı mevcut arıtım için 3.382, direkt deşarj senaryosu için 313.808, ön arıtma senaryosu için 251.046 ve dezenfeksiyon senaryosu için 34 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Uzak bölge seyrelmeleri neticesinde de tutsaklanma seviyesinde difüzörden 1000 m mesafedeki tahmini bakteri sayısı mevcut arıtım için 373, direkt deşarj senaryosu için 29.224, ön arıtma senaryosu için 23.379 ve dezenfeksiyon senaryosu için 4 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Yaz mevsiminde difüzörden yaklaşık 16 m yükselebilen atıksu bulutu için birinci seyrelme değerleri ilkbahara göre daha düşüktür. Bu oluşuma bağlı olarak uzak alan seyrelmesi sonucunda elde edilen koliform konsantrasyonu değerleri de ilkbahar mevsiminden daha yüksektir.

ii. *SSE yönünden esen rüzgar etkisi altında akıntı ve seyrelme tahmini*

SSE yönünden 5,1 m/s büyüklüğünde esen rüzgar etkisinde deniz yüzeyinde ve deniz tabanında oluşması beklenen akıntı hareketleri Şekiller 4.103 ve 4.104'de verilmektedir.



Şekil 4.103. Yaz mevsiminde SSE yönünden 5,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz yüzeyinde oluşan akıntılar



Şekil 4.104. Yaz mevsiminde SSE yönünden 5,1 m/s şiddetinde esen rüzgar için deniz tabanında oluşan akıntılar

Çizelgeler 4.92 ve 4.93’de sırasıyla yakın alan ve uzak alan seyrelmeleri ile bu seyrelmeler sonucunda deniz ortamında bulunması beklenen koliform konsantrasyonları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Model tarafından tahmin edilen atıksu bulutu hareketi de Şekil 4.105’de verilmektedir.

Çizelge 4.92. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde SSE yönlü rüzgarlar için tahmin edilen birinci seyrelme ve koliform bakteri konsantrasyonları *

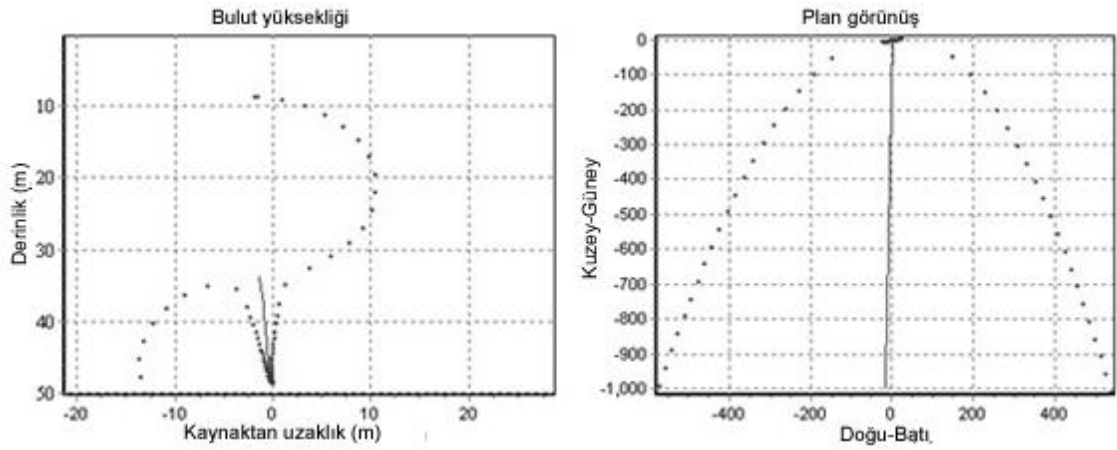
Derinlik (m)	Jet çapı (m)	Birinci Seyrelme
48,5	0,16	1,0
45,5	0,95	22,5
40,2	2,47	97,2
35,6	4,68	162,7
33,7	49,09	175,8

Çizelge 4.93. Visual Plumes modeli ile yaz mevsiminde SSE yönlü rüzgarlar için tahmin edilen uzak bölge seyrelme parametreleri ve bakteri konsantrasyonları*

Mesafe (m)	Toplam Fiziksel Seyrelme	Bulut Genişliği (m)	Bakteri Sayısı (ST) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DD) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (PT) (CFU/100 ml)	Bakteri Sayısı (DIS) (CFU/100 ml)
100	281,0	378,0	1518	140817	112654	15
200	375,5	508,1	999	92662	74130	10
300	451,1	611,1	731	67825	54260	7
400	515,9	699,0	562	52149	41719	6
500	573,4	777,1	445	41257	33006	4
600	625,7	848,0	358	33246	26597	4
700	673,8	913,5	293	27147	21718	3
800	718,8	974,5	241	22377	17901	2
900	761,1	1032,0	200	18583	14866	2
1000	801,2	1086,4	167	15523	12418	2
1100	839,4	1138,2	140	13028	10423	1
1200	876,0	1187,7	118	10977	8782	1
1300	911,1	1235,3	100	9281	7425	1
1400	944,9	1281,1	85	7869	6295	1
1500	977,5	1325,3	72	6689	5351	1

*ST: Mevcut arıtım durumu; DD: direkt deşarj senaryosu; PT: ön arıtma senaryosu; DIS: dezenfeksiyon senaryosu

Yaz mevsiminde derinlik boyunca yoğunluk değişimi etkisi altında deşarj edilen atıksuların yüzeye kadar ulaşmadan yüzeyden yaklaşık 34 metre derinlikte tutsaklanması beklenmektedir. Bu mevsimde SSE yönünden esen 5,1 m/s şiddetindeki rüzgar etkisi ile tutsaklanma seviyesindeki atıksu bulutu difüzörden 1000 m mesafeye 46,30 saatte ulaşmaktadır. Birinci seyrelme prosesi sonucunda tahmini bakteri sayısı mevcut arıtım senaryosu için 2.759, direkt deşarj senaryosu için 255.973, ön arıtma senaryosu için 204.778 ve dezenfeksiyon senaryosu için 28 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Uzak bölge seyrelmeleri neticesinde de tutsaklanma seviyesinde difüzörden 1000 m mesafedeki tahmini bakteri sayısı mevcut arıtım için 167, direkt deşarj senaryosu için 15.523, ön arıtma senaryosu için 12.418 ve dezenfeksiyon senaryosu için 2 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Yaz mevsiminde difüzörden yaklaşık 14 m yükselebilen atıksu bulutu için birinci seyrelme değerleri ilkbahara göre daha düşüktür. Tutsaklanma derinliğindeki akıntı hızlarının oldukça küçük olmasına bağlı olarak uzak alan seyrelmesi için hareket süresi artmakta ve dolayısıyla bakteriyel inaktivasyon etkisi de artmaktadır. Bu oluşuma bağlı olarak koliform konsantrasyonu değerlerinde ciddi oranda azalmalar gözlenmektedir.



Şekil 4.105. Yaz mevsiminde SSE yönlü rüzgarlar için Visual Plumes modeliyle tahmin edilen atıksu bulutu hareketi

4.7. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi çalışmaları deniz deşarj sistemi ile alıcı ortama bırakılan atıksuların dört farklı mevsim koşullarında, seyrelme proseslerine etki eden parametrelerin tek tek irdelenmesi ile yürütülmüştür. Daha önce gerçekleştirilmiş olan hidrodinamik ve seyrelme modellemesi çalışmaları ile belirlenen atıksu hareketleri her mevsim için değerlendirilerek, her mevsim için belirsizlik içeren parametreler tanımlanmıştır.

4.7.1. Sonbahar mevsimi

4.7.1.1. Belirsizlik parametreleri

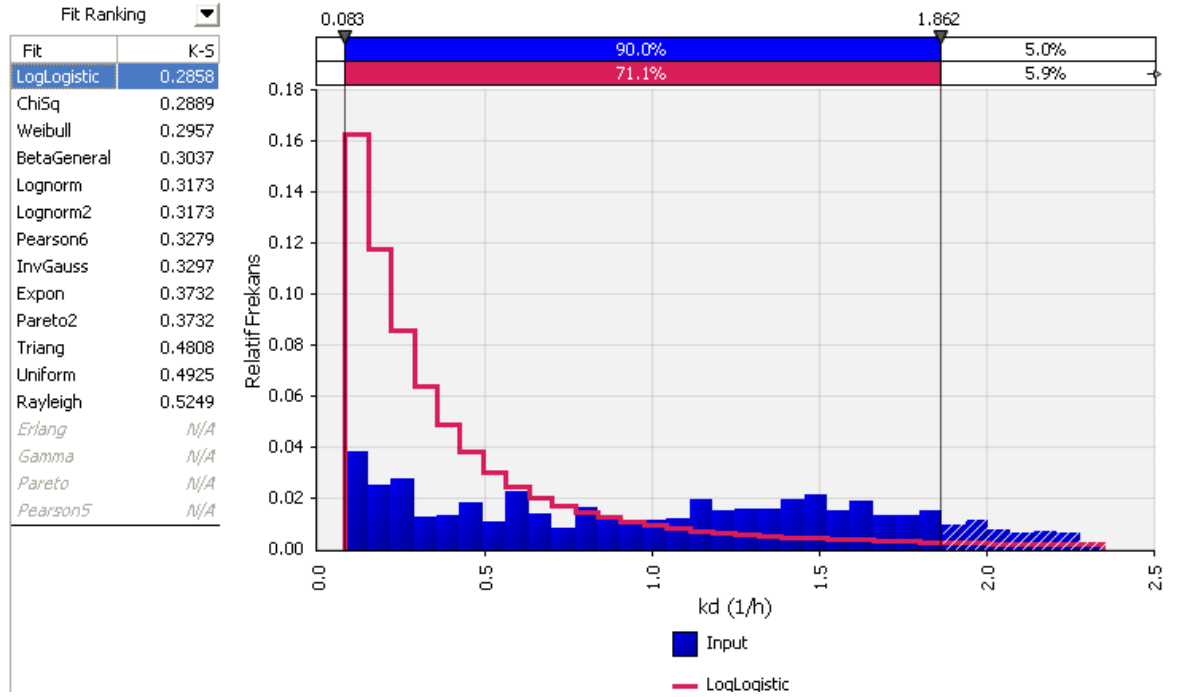
i. *Bakteriyel inaktivasyon hız sabiti, k_d*

Sonbahar mevsimini karakterize eden Eylül, Ekim ve Kasım aylarına ait günlük güneşlenme şiddetleri kullanılarak elde edilen k_d veri setinin istatistiksel dağılımı belirlenerek sonbahar mevsimi için giriş parametresi elde edilmiştir. Sonbahar mevsimi için k_d parametre değerleri Eşitlik 4.4'de sunulan ifade yardımıyla hesaplanmıştır. Bu ifade Yükselen vd (1995) tarafından geliştirilen eşitliğin, sonbahar koşulları için yapılan laboratuvar deney sonuçlarıyla modifiye edilmesiyle oluşturulmuştur. Eşitlikte I_0

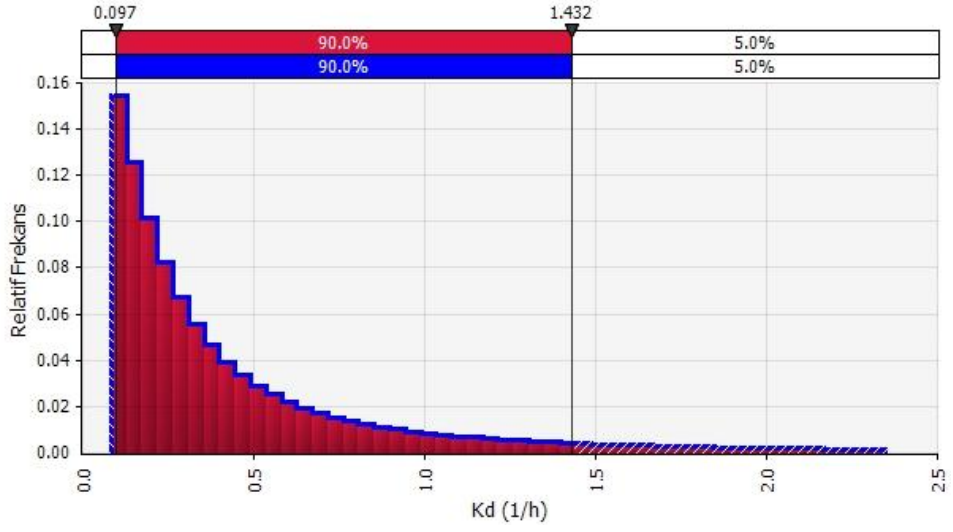
(cal/cm².sa) deniz yüzeyine ulaşan toplam güneş ışınımını ifade etmektedir.

$$k_d = 0,0337 I_0 + 0,083 \quad (4.4)$$

Sonbahar mevsimine ait ham verinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, loglojistik dağılım olarak bulunmuştur. k_d parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.106'da, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan k_d değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.107'de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda loglojistik dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen k_d parametre değerleri % 90 olasılıkla 0,097-1,432 sa⁻¹ aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



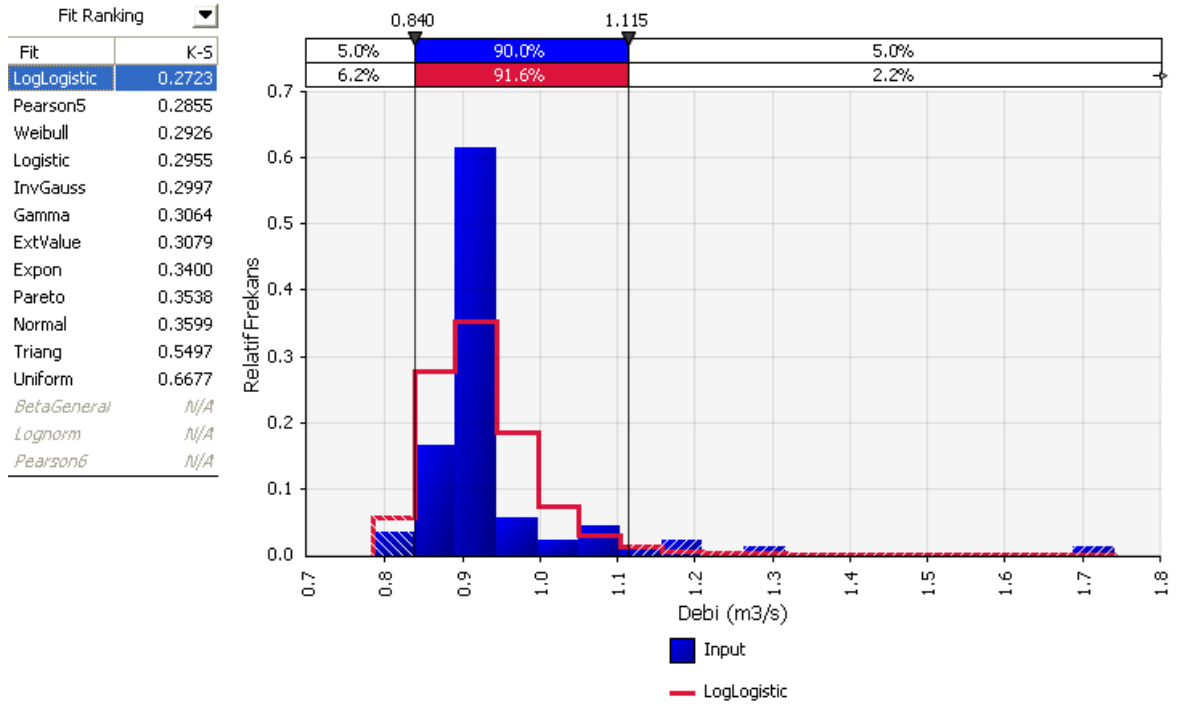
Şekil 4.106. k_d parametresi için sonbahar veri setinin histogramı, yapılan K-S testi sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılım



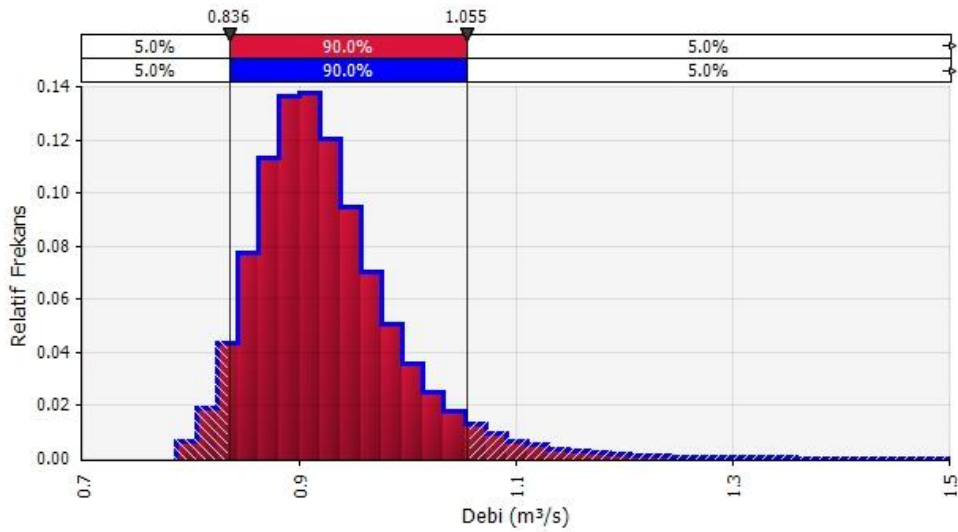
Şekil 4.107. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan k_d değerleri

ii. *Deşarj debisi*

Eylül, Ekim ve Kasım 2009 tarihlerinde günlük atıksu debileri ASAT'tan alınarak istatistiksel dağılımı belirlenmiştir. Sonbahar mevsimi debi verisinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, loglojistik dağılım olarak bulunmuştur. Deşarj debisine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.108'de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan debi değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.109'da verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda loglojistik dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen deşarj debisi değerleri % 90 olasılıkla 0,836-1,055 m³/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.108. Deşarj debisinin sonbahar veri setine ait histogram, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılım

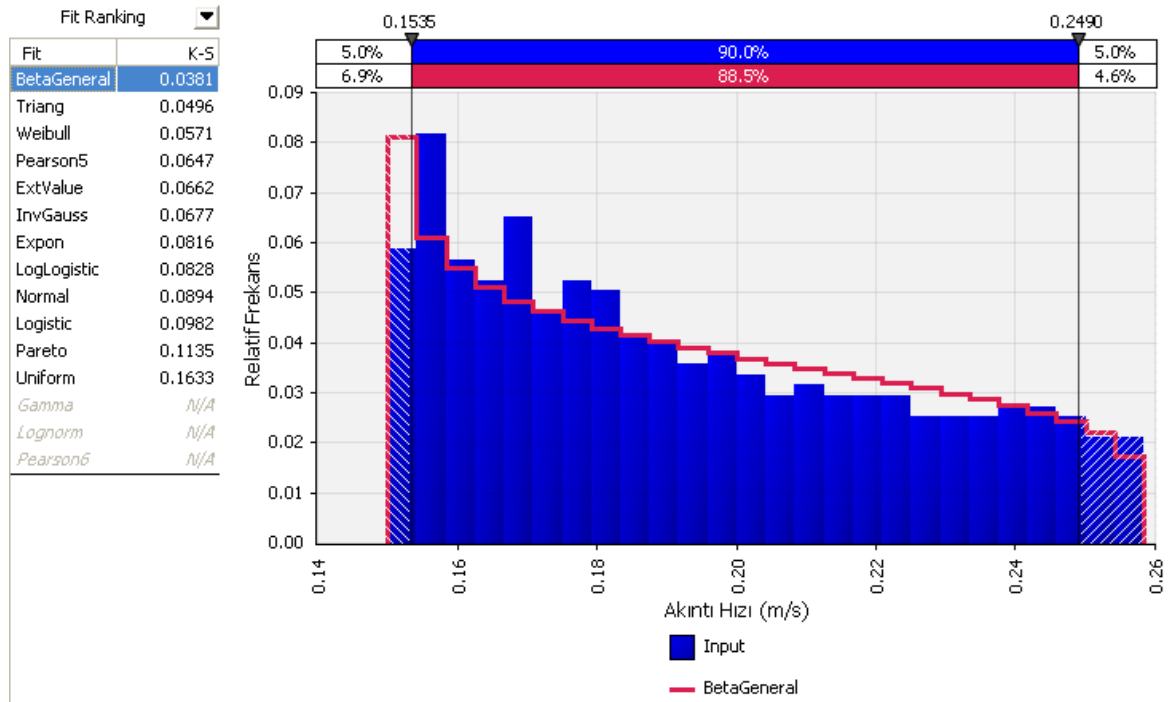


Şekil 4.109. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan deşarj debisi değerleri

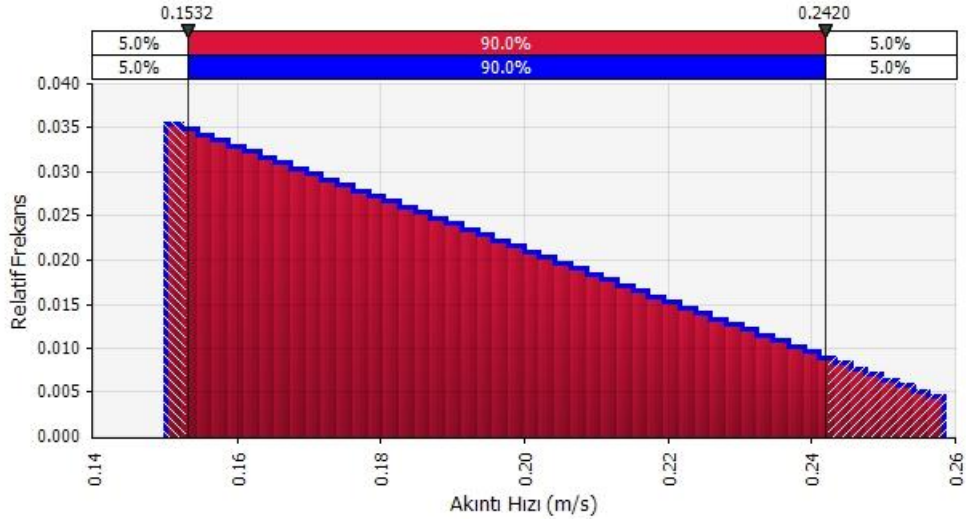
iii. Akıntı hızı

Sonbahar mevsiminde deniz ortamında tam karışım durumunun etkin olduğu belirlenmiş ve deşarj edilen atıksuyun alıcı ortamda karışarak oluşturduğu atıksu bulutunun deniz yüzeyine kadar ulaşacağı tespit edilmiştir. Bu koşullar altında atıksu

bulutunun uzak alan seyrelme proseslerinde etkin olan akıntıların yüzey akıntıları olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çıkarımdan hareketle, sonbahar mevsimi belirsizlik analizi çalışmasında deniz yüzeyi için elde edilen akıntı hızları kullanılmıştır. Sonbahar mevsiminde deniz yüzeyindeki akıntı hızlarının istatistiksel dağılımı üçgen dağılım olarak belirlenmiştir. Akıntı hızı parametresine ait verinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, üçgen dağılım olarak bulunmuştur. Akıntı hızı ham verisinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.110'de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan akıntı hızı değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.111'de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda üçgen dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen yüzey akıntı hızı değerleri % 90 olasılıkla 0,153-0,242 m/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



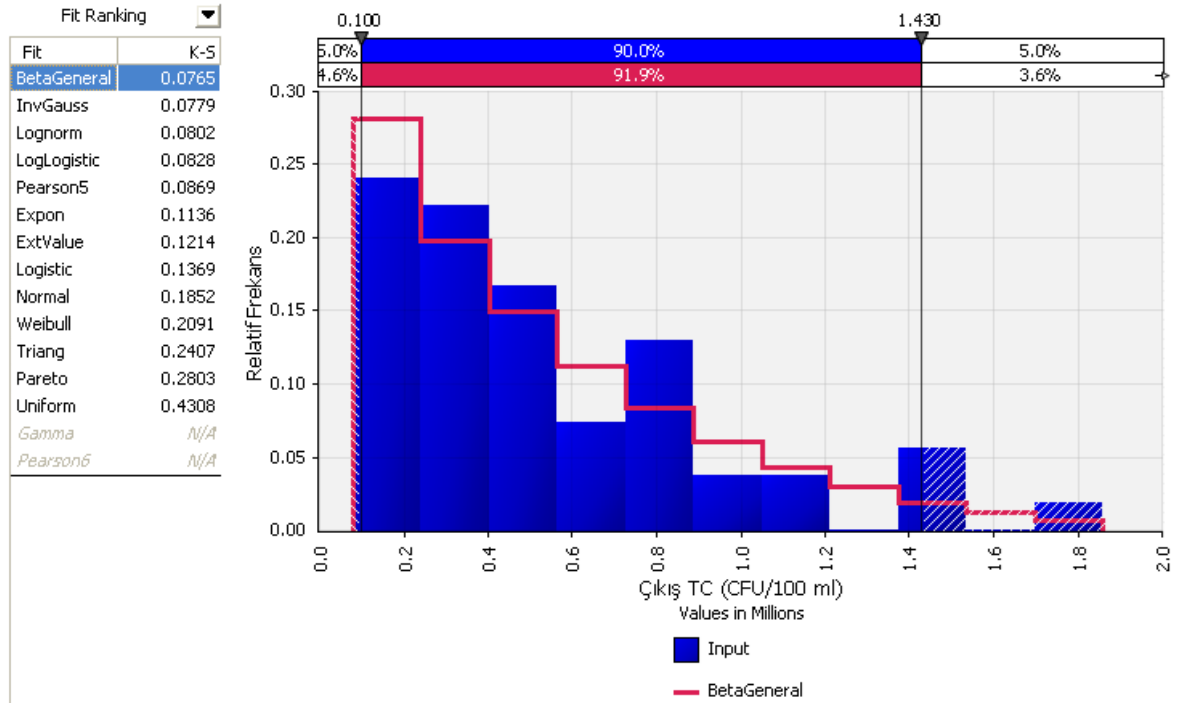
Şekil 4.110. Akıntı hızı sonbahar veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılımı



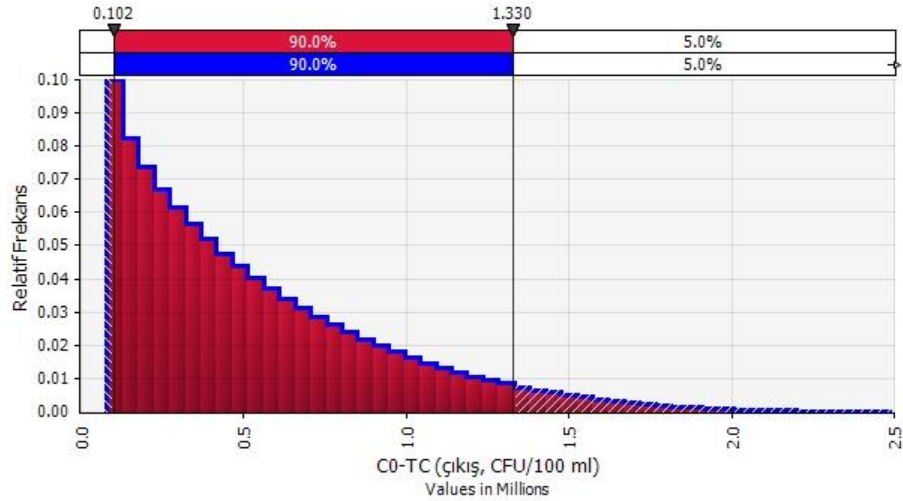
Şekil 4.111. Üçgen dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı değerleri

iv. *Deşarj edilen toplam koliform (TC) konsantrasyonu*

Tez çalışmaları süresince atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda bir yıl boyunca yapılan örnekleme ve analizler sonucunda elde edilen TC veri setinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, beta dağılım olarak belirlenmiştir. TC parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.112’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan TC değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.113’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda beta dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen başlangıç TC konsantrasyonları % 90 olasılıkla $0,1 \times 10^6$ - $1,33 \times 10^6$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.112. Deşarj edilen atıksudaki TC veri setine ait histogram ve belirlenen istatistiksel dağılımı

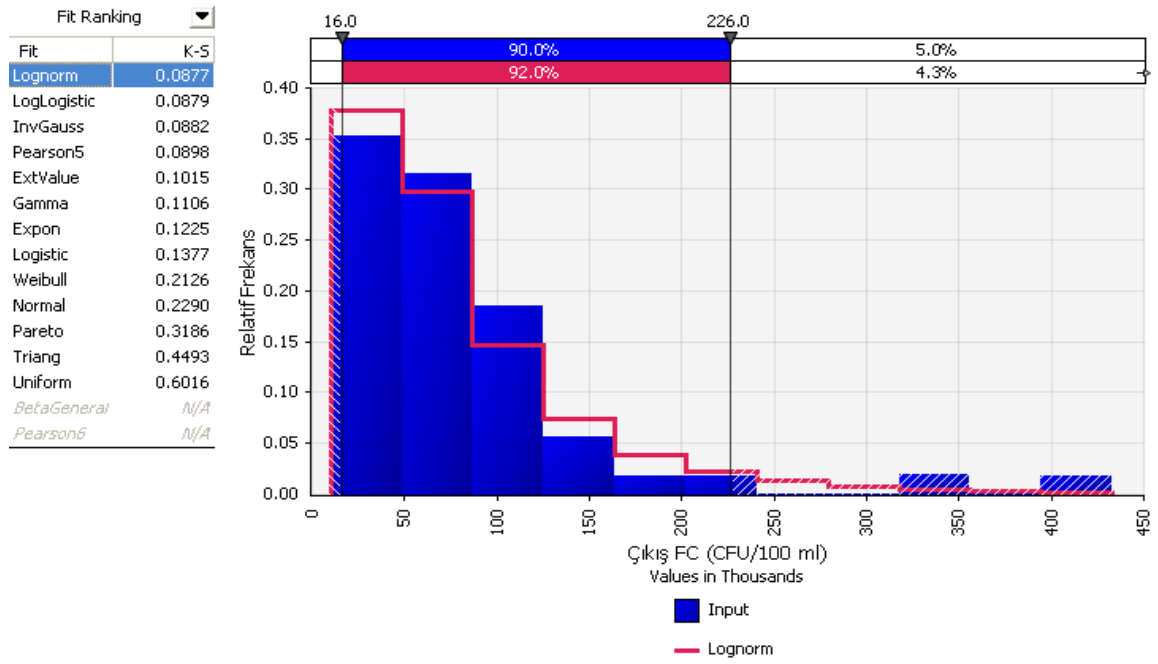


Şekil 4.113. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan TC değerleri

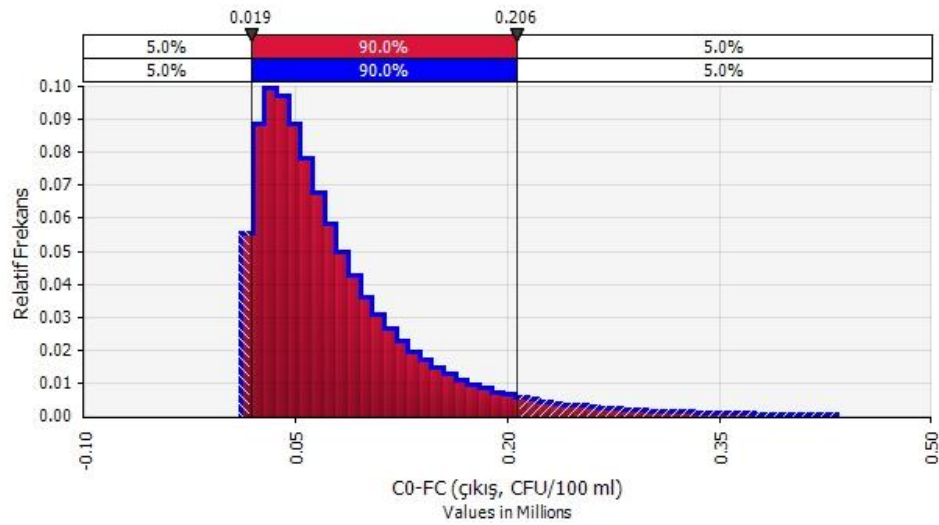
v. *Deşarj edilen fekal koliform (FC) konsantrasyonu*

Tez çalışmaları süresince atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda bir yıl boyunca yapılan örnekleme ve analizler sonucunda elde edilen FC veri setinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, lognormal dağılım olarak tespit edilmiştir. Fekal koliform

parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.114’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan FC değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.115’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda lognormal dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen başlangıç TC konsantrasyonları % 90 olasılıkla $0,019 \times 10^6$ - $0,206 \times 10^6$ CFU/100 ml aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



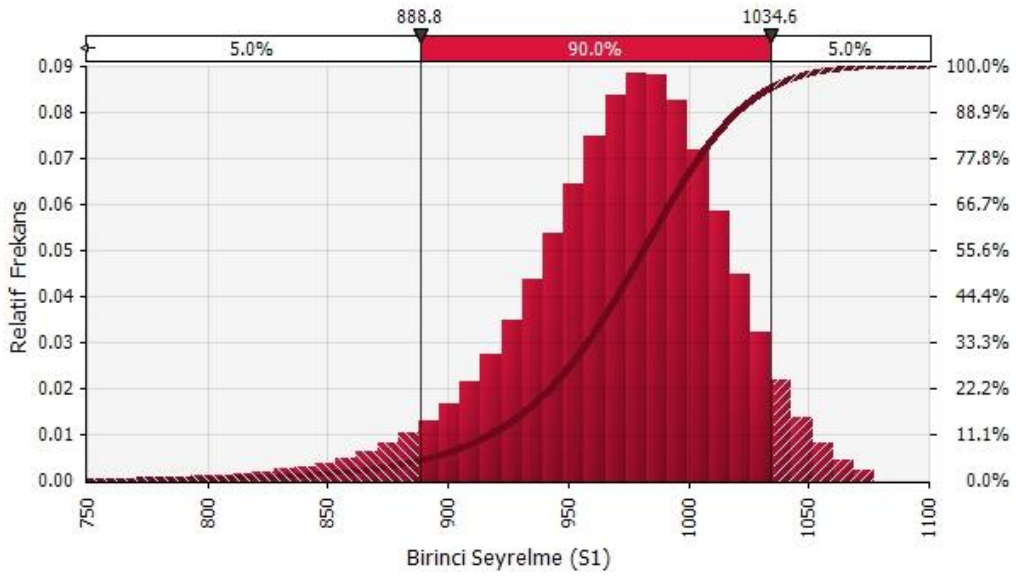
Şekil 4.114. Deşarj edilen atıksudaki FC veri setine ait histogram ve belirlenen istatistiksel dağılım



Şekil 4.115. Lognormal dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan FC değerleri

4.7.1.2. Sonbahar mevsimi belirsizlik analizi

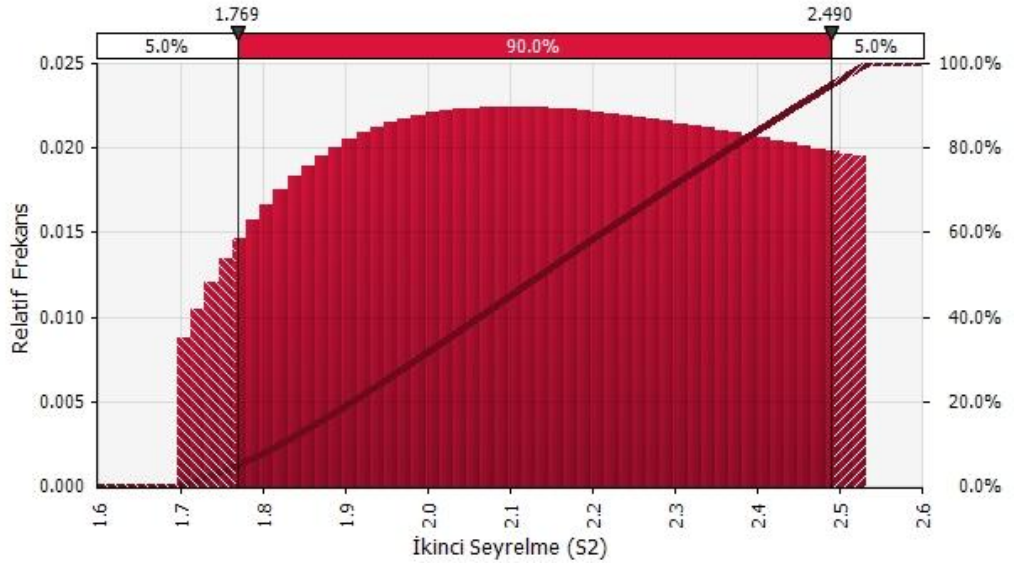
Sonbahar mevsimi için deşarj noktasına en yakın kıyı bölgesi için belirsizlik analizi yapılmıştır. Söz konusu kıyı bölgesi Topçam olarak bilinmekte ve difüzöre dik uzaklığı yaklaşık 2500 m'dir. Yapılan belirsizlik analizi sonucu birinci seyrelme (S1), ikinci seyrelme (S2), üçüncü seyrelme (S3), toplam seyrelme (St), toplam seyrelme sonucu kıyı bölgesine ulaşması muhtemel toplam koliform (C-TC) ve fekal koliform (C-FC) olasılık dağılımları elde edilmiştir. Şekiller 4.116-4.121'de sırasıyla S1, S2, S3, St, C-TC ve C-FC parametrelerinin olasılık dağılımları verilmektedir.



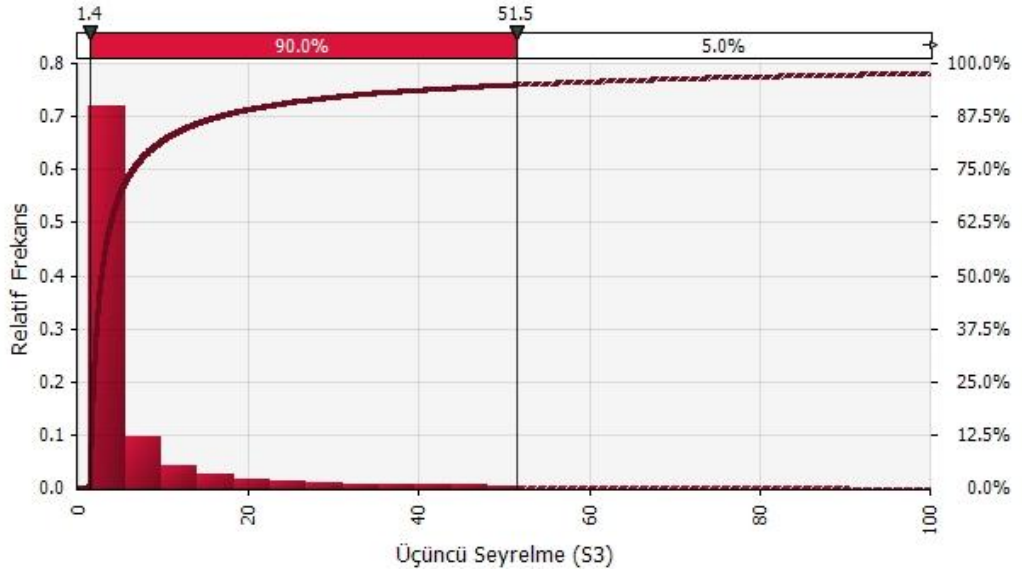
Şekil 4.116. Sonbahar mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı

Birinci seyrelme tam karışım sebebiyle sonbahar mevsiminde oldukça yüksek değerler almaktadır. Belirsizlik analizi sonucunda bu mevsimde birinci seyrelmenin %90 ihtimalle 889-1035 değerleri arasında olacağı sonucuna varılmaktadır.

Sonbahar mevsiminde tam karışım durumu sebebiyle yüzeye kadar çıkma eğiliminde olan atıksu bulutu deniz yüzeyindeki yüksek akıntı hızları ile hareket etmekte, bu nedenle de ikinci seyrelmenin düşük bir aralıkta değiştiği gözlenmektedir. Belirsizlik analizi sonucunda ikinci seyrelmenin bu mevsimde %90 ihtimalle 1,8-2,5 değerleri arasında değişeceği ortaya çıkmaktadır.



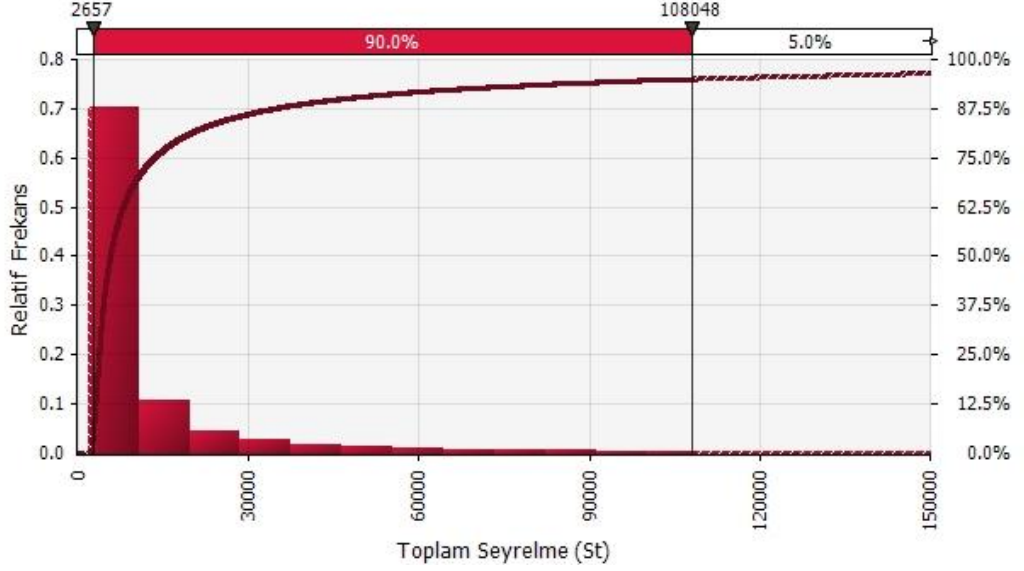
Şekil 4.117. Sonbahar mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı



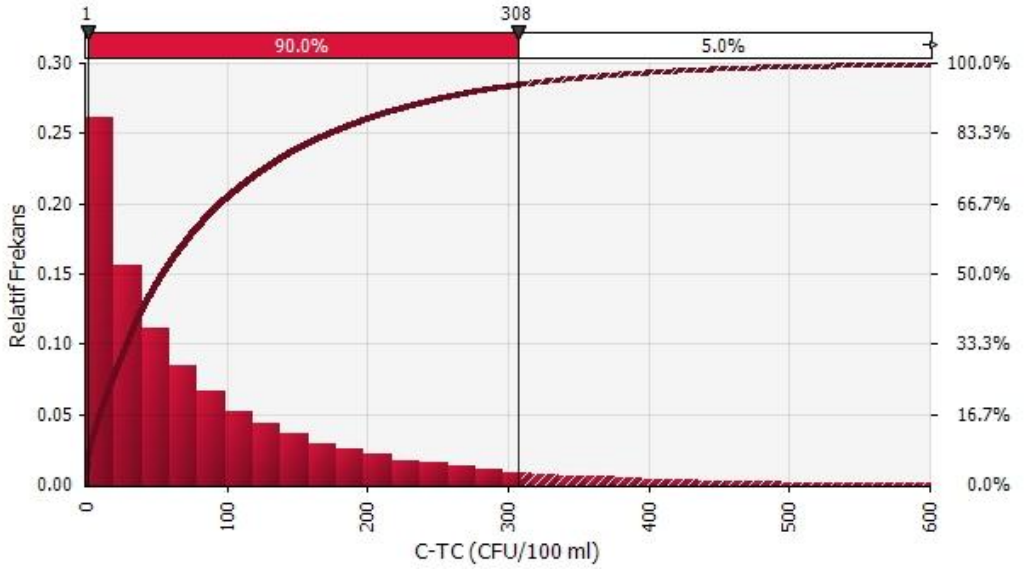
Şekil 4.118. Sonbahar mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı

Deniz yüzeyindeki yüksek akıntı hızlarına rağmen, güneş ışığı etkisiyle artan bakteriyel inaktivasyon hızları sebebiyle sonbahar mevsiminde üçüncü seyrelmenin oldukça önemli miktarlarda olduğu belirsizlik analizi sonucu ortaya konmuştur. Ancak özellikle karanlık saatlerin daha fazla sayıda olması ve istatistiksel dağılımda sıklığının daha fazla olması sebebiyle olasılık dağılımı genel olarak sola yaslı bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Buna rağmen üçüncü seyrelme değeri sonbahar mevsiminde incelenen mevsimler arasında en büyük değerleri almakta ve %90 olasılıkla 1,4-51,5 aralığında

olmaktadır. Özellikle yüksek birinci ve üçüncü seyrelme değerleri sebebiyle toplam seyrelme sonbahar mevsiminde oldukça büyük değerler almaktadır. Bu da Şekiller 4.120 ve 4.121’de verilen bakteri sayılarının düşmesine sebep olmaktadır.



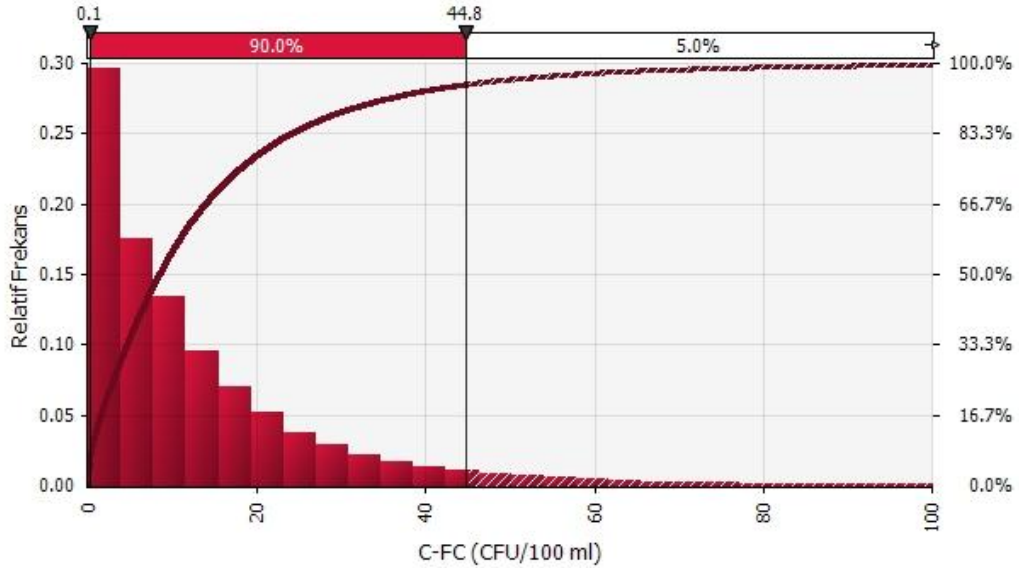
Şekil 4.119. Sonbahar mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı



Şekil 4.120. Sonbahar mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

Şekil 4.120’den de görülebileceği üzere sonbahar mevsiminde deşarj noktasına yaklaşık 2500 m mesafede olan Topçam sahilindeki toplam koliform bakteri konsantrasyonu % 95 olasılıkla 308 CFU/100 ml değerinden küçük olmaktadır. Bu

değer de Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliğinde (2004) rekreasyon amacıyla kullanılan kıyı suları için TC limiti olan 1000 CFU/100 ml değerinin oldukça altında kalmaktadır. Benzer şekilde fekal koliform bakteri sayısı da %95 ihtimalle 45 değerinin altında (Şekil 4.121) olup bu değer de yine aynı yönetmelikte FC limiti olan 200 CFU/100 ml değerinin altında olmaktadır.



Şekil 4.121. Sonbahar mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

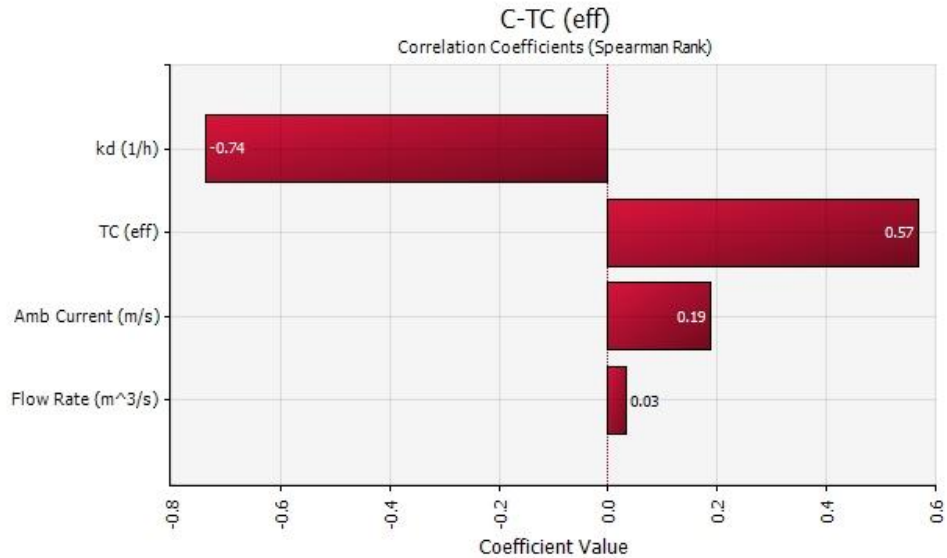
4.7.1.3. Sonbahar mevsimi hassasiyet analizi

Sonbahar mevsiminde deniz ortamında bulunabilecek TC konsantrasyonlarının belirsizlik analizine ek olarak, TC konsantrasyonu üzerine etkisi olan parametrelerin etki derecelerini belirlemek üzere hassasiyet analizi yapılmıştır. Hassasiyet analizinde Spearman korelasyonu yöntemi kullanılarak parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonu incelenmiştir. Çizelge 4.94'de belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi, Şekil 4.122'de ise TC parametresi üzerinde etkili olan parametrelerin sıralamalı korelasyonları verilmektedir.

Çizelge 4.94. Sonbahar mevsimi için belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi

Parametre	C-TC	ST	S3	S2	S1
k_d	-0,736	0,935	0,982	n/a	n/a
TC_0	0,568	n/a	n/a	n/a	n/a
Akıntı Hızı	0,188	-0,279	-0,147	-1	n/a
Debi	0,034	-0,059	n/a	n/a	-1

Çizelge 4.94 incelendiğinde sonbahar mevsiminde başlangıç TC konsantrasyonunun (TC_0) ve k_d değerinin seyrelme prosesleri açısından bütün parametreler içinde en etkili parametreler olduğu sonucuna varılmaktadır. Deşarj edilen atıksu içindeki toplam koliform konsantrasyonlarının artışı, deniz ortamındaki TC konsantrasyonunu (C-TC) artırıcı bir etkide bulunurken, inaktivasyon hız katsayısı olan k_d değerindeki artış ile bakteriyel inaktivasyon prosesinin hızı artmakta ve dolayısıyla deniz ortamında bulunan toplam koliform konsantrasyonlarında azalma beklenmektedir. Birinci ve ikinci seyrelme proseslerinde sadece birer parametre etkin olmakta ve bu parametreler birinci seyrelme için deşarj debisi, ikinci seyrelme için ise akıntı hızıdır. Deniz ortamındaki koliform konsantrasyonlarının tahmini açısından en yüksek korelasyon k_d değeri, en düşük korelasyon ise deşarj debisi için elde edilmiştir.



Şekil 4.122. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu

4.7.2. Kış mevsimi

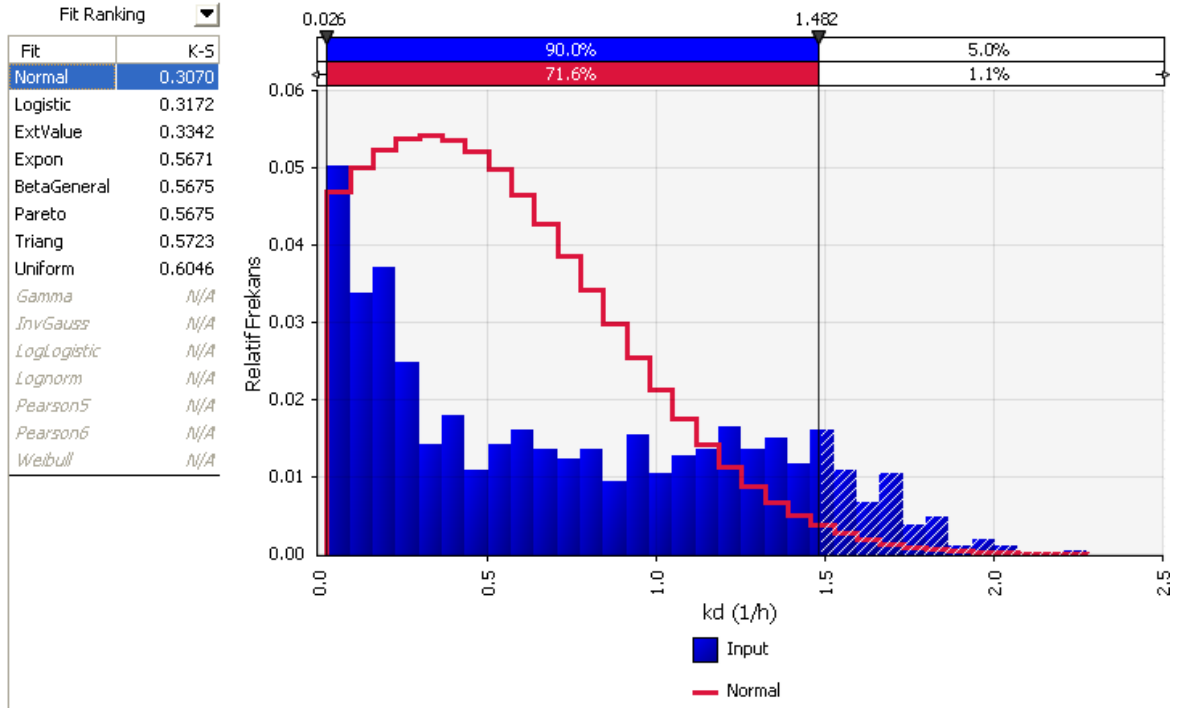
4.7.2.1. Belirsizlik parametreleri

i. Bakteriyel inaktivasyon hızı sabiti, k_d

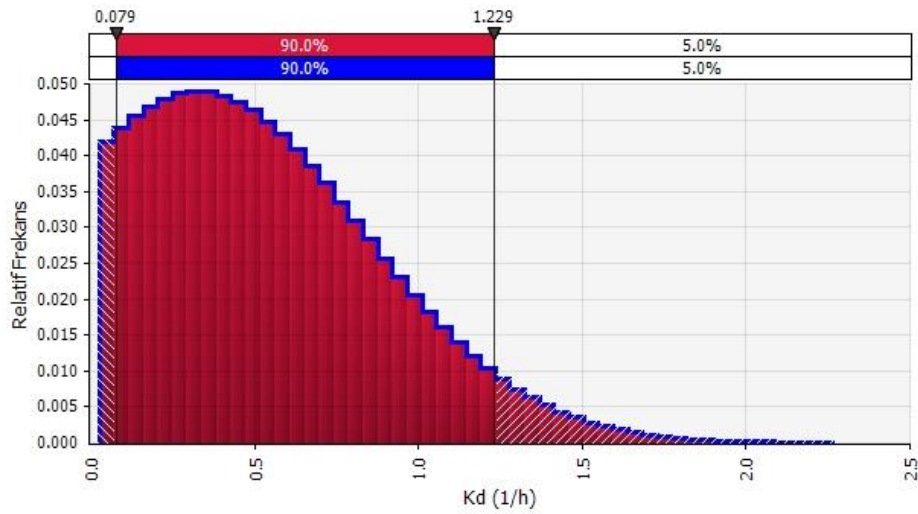
Kış mevsimini karakterize eden Aralık, Ocak ve Şubat aylarına ait günlük güneşlenme şiddetleri kullanılarak elde edilen k_d veri setinin istatistiksel dağılımı belirlenmiş ve kış mevsimi için giriş parametresi olarak kullanılmıştır. Kış mevsimi için k_d parametre değerleri Eşitlik 4.5’de sunulan ifade yardımıyla hesaplanmıştır (Yalçın ve Muhammetoğlu 2010). Eşitlikte I_0 (cal/cm².sa) deniz yüzeyine ulaşan toplam güneş ışınımını ifade etmektedir.

$$k_d = 0,0337 I_0 + 0,026 \quad (4.5)$$

Kış mevsimine ait ham verinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, normal dağılım olarak bulunmuştur. k_d parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.123’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan k_d değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.124’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda normal dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen k_d parametre değerleri % 90 olasılıkla 0,079-1,229 sa⁻¹ aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.123. k_d parametresinin kış veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılım

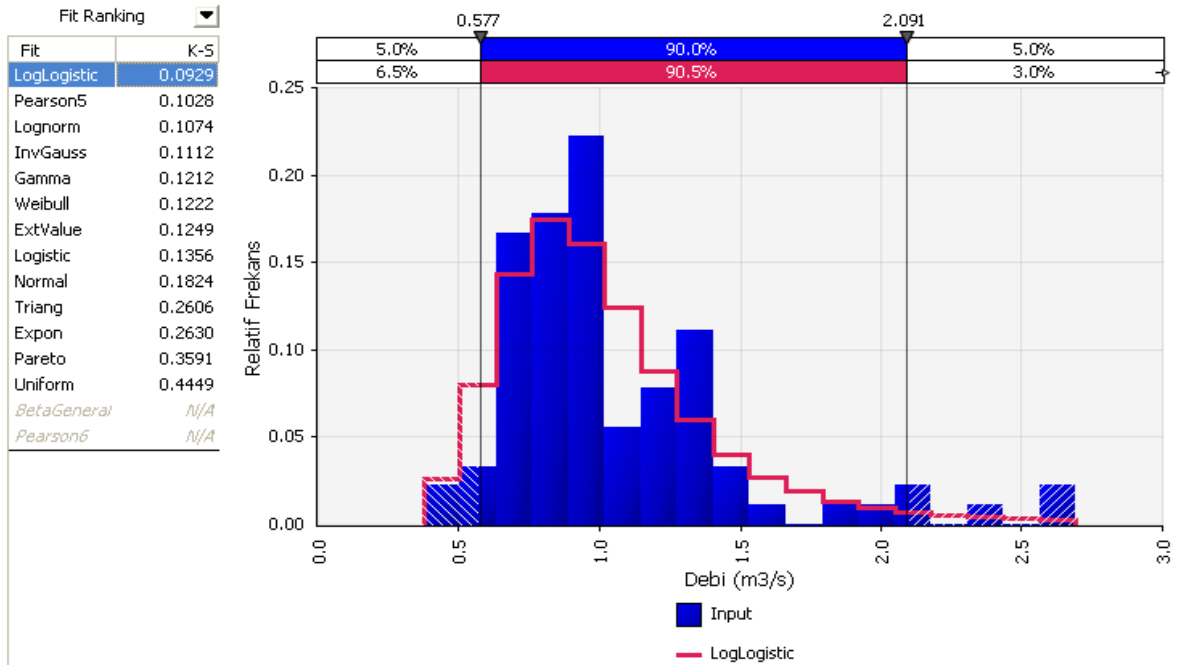


Şekil 4.124. Normal dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan k_d değerleri

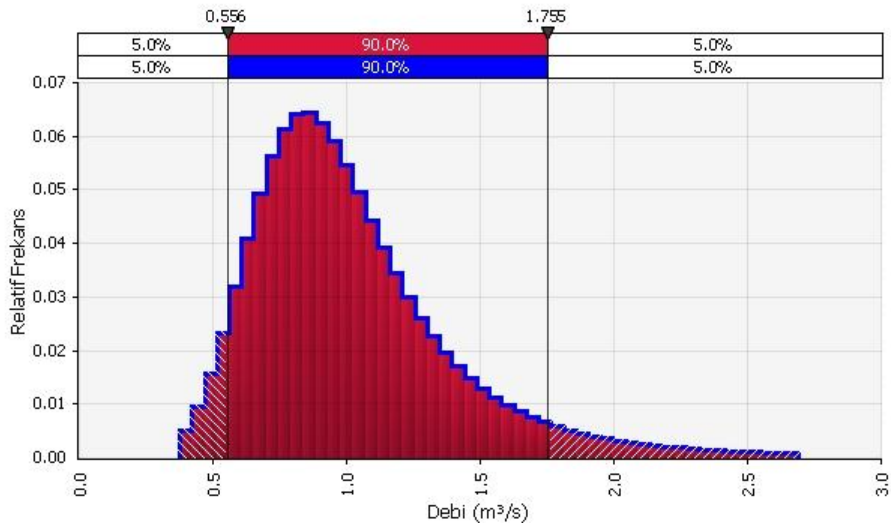
ii. Deşarj debisi

Aralık, Ocak ve Şubat 2009 tarihlerinde deşarj edilen günlük atıksu debileri ASAT'tan temin edilerek belirsizlik analizi kapsamında kullanılmıştır. Kış mevsimi debi verisinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, loglojistik dağılım olarak

bulunmuştur. Debi parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.125’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan debi değerlerinin istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.126’da verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda loglojistik dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen deşarj debisi değerleri % 90 olasılıkla $0,556-1,755 \text{ m}^3/\text{s}$ aralığında deđiştđđi tespit edilmiştđđir.



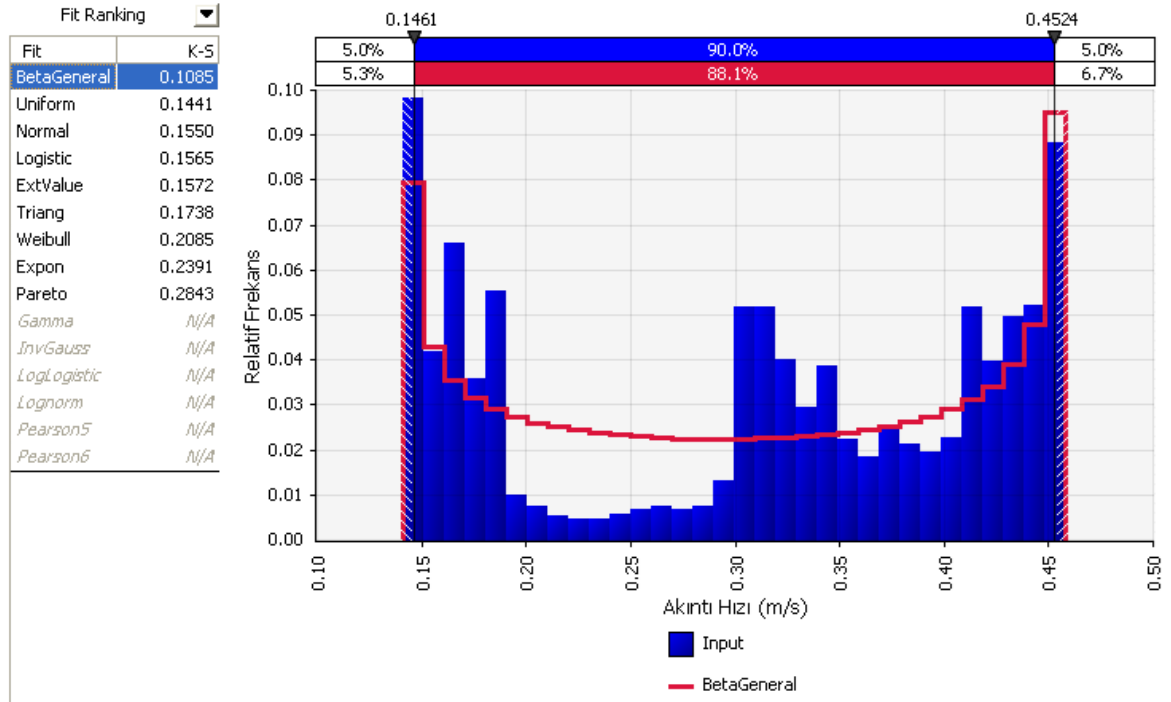
Şekil 4.125. Deşarj debisi kış veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılım



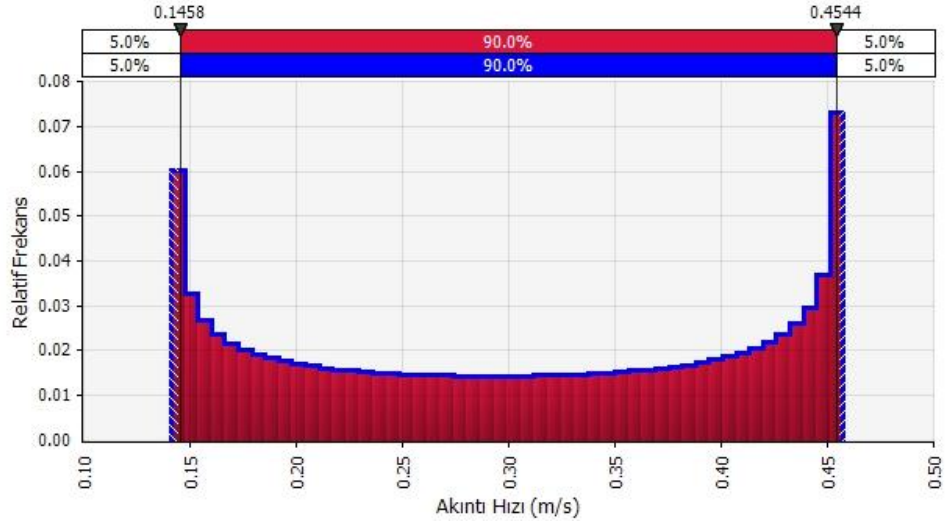
Şekil 4.126. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan debi değerleri

iii. Akıntı hızı

Kış mevsiminde deniz ortamında tam karışım durumunun etkin olduğu sonucundan hareketle, deşarj edilen atıksuların deniz yüzeyine kadar ulaşacağı tespit edilmiş olup, kış mevsimi belirsizlik analizi çalışmasında uzak alan seyrelme proseslerinde deniz yüzeyi için elde edilen akıntı hızları kullanılmıştır. Kış mevsiminde deniz yüzeyindeki akıntı hızlarının istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, beta dağılımı olarak bulunmuştur. Yüzey akıntı hızlarına ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.127’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan akıntı hızlarının istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.128’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda beta dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen deşarj debisi değerleri % 90 olasılıkla 0,145-0,454 m/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.127. Akıntı hızlarına ait kış veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılım

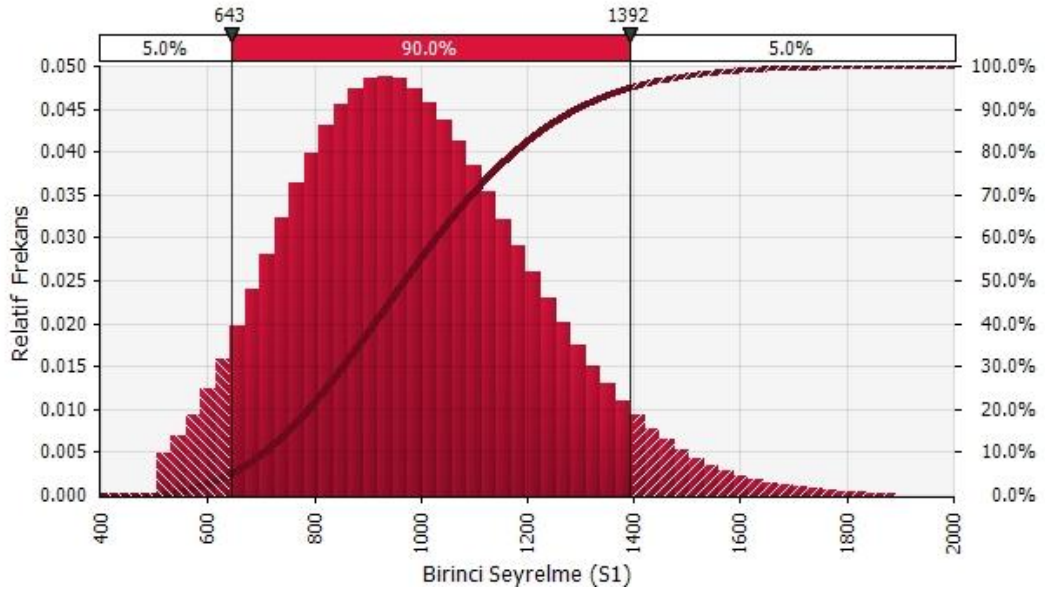


Şekil 4.128. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızları

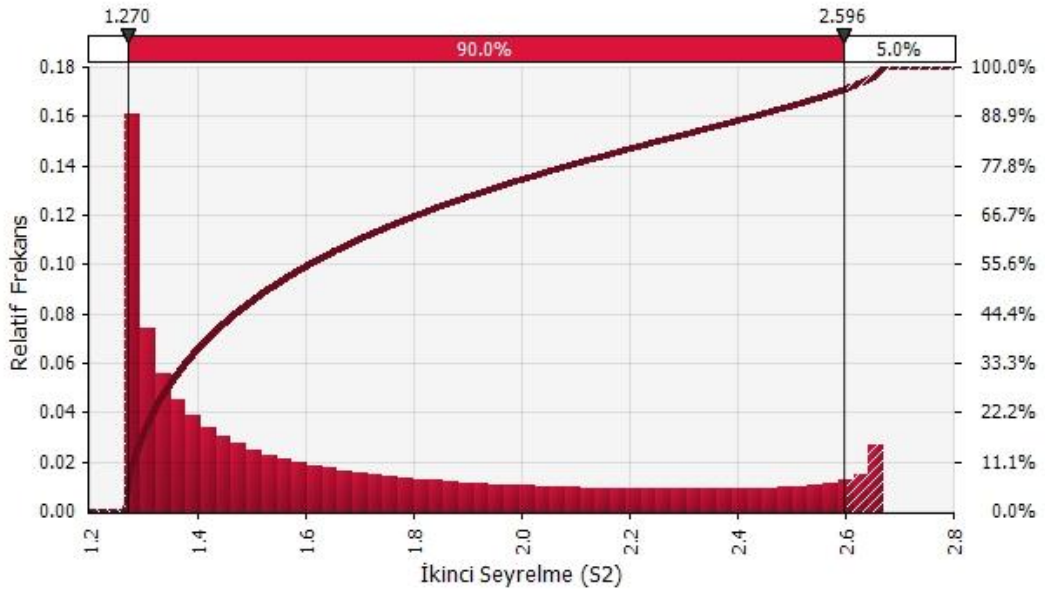
4.7.2.2. Kış mevsimi belirsizlik analizi

Kış mevsimi için deşarj noktasına en yakın kıyı bölgesi olan Topçam sahili için belirsizlik analizi yapılmıştır. Topçam sahilinin difüzöre olan uzaklığı yaklaşık 2500 m olarak alınmıştır. Yapılan belirsizlik analizi sonucu birinci seyrelme (S1), ikinci seyrelme (S2), üçüncü seyrelme (S3), toplam seyrelme (St), toplam seyrelme sonucu kıyı bölgesine ulaşması muhtemel toplam koliform (C-TC) ve fekal koliform (C-FC) olasılık dağılımları elde edilmiştir. Şekiller 4.129-4.134'de sırasıyla S1, S2, S3, St, C-TC ve C-FC parametrelerinin olasılık dağılımları verilmektedir.

Birinci seyrelme sonuçları, tam karışım sebebiyle sonbahar mevsimine benzer olarak kış mevsiminde de oldukça yüksek değerler almaktadır. Belirsizlik analizi sonucunda bu mevsimde birinci seyrelmenin %90 ihtimalle 643-1392 değerleri arasında olacağı sonucuna varılmaktadır.

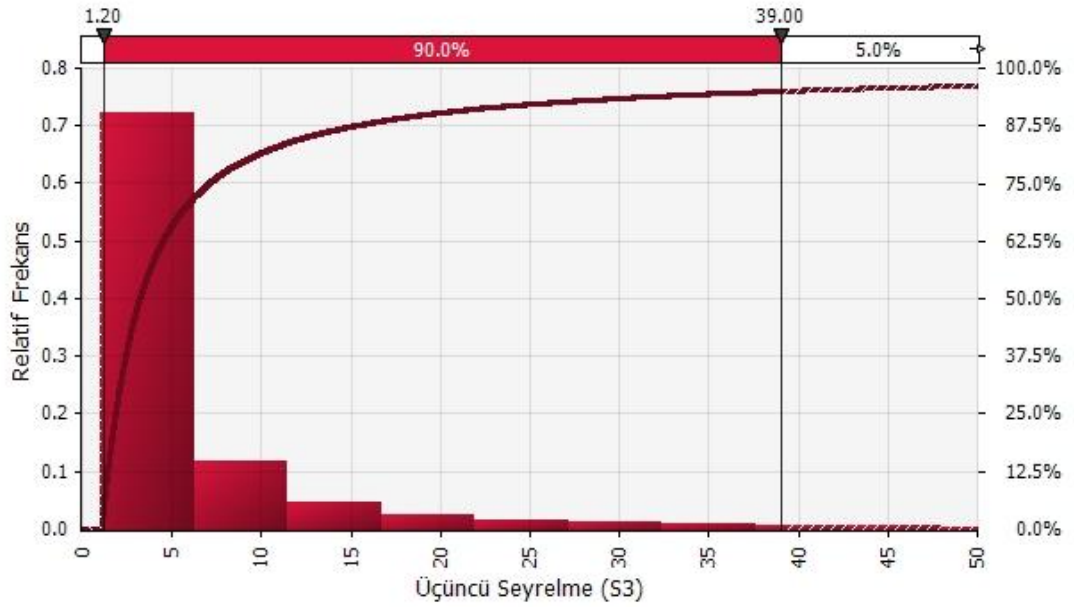


Şekil 4.129. Kış mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı

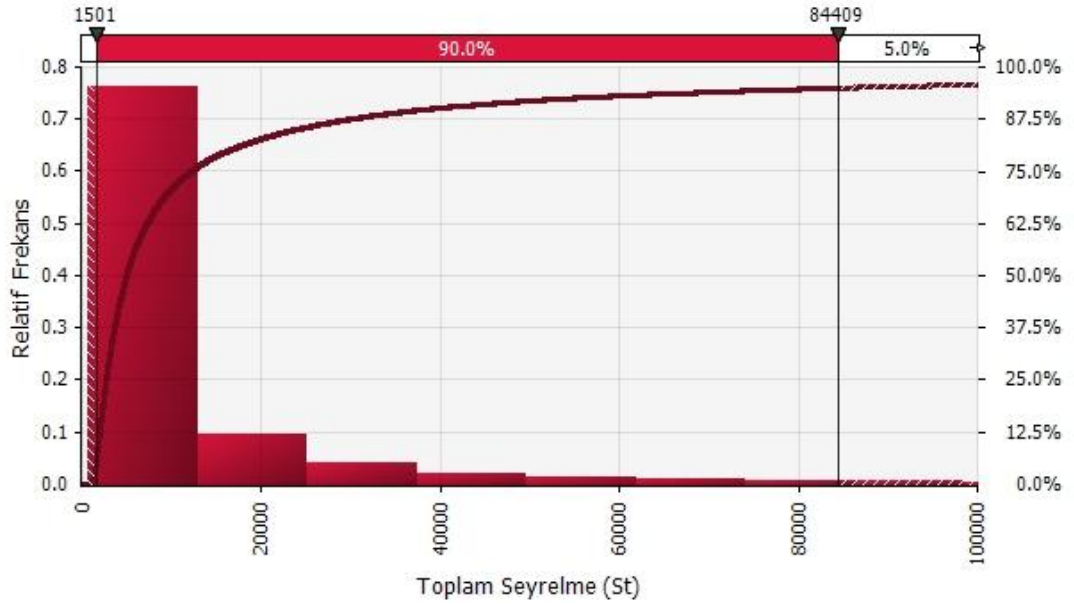


Şekil 4.130. Kış mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı

Kış mevsiminde tam karışım durumu sebebiyle yüzeye kadar çıkma eğiliminde olan atıksu bulutu, deniz yüzeyindeki yüksek akıntı hızları ile hareket etmekte, bu nedenle de ikinci seyrelmenin düşük bir aralıkta değiştiği gözlenmektedir. Belirsizlik analizi sonucunda ikinci seyrelmenin bu mevsimde %90 ihtimalle 1,3-2,6 değerleri arasında değişeceği ortaya çıkmaktadır.



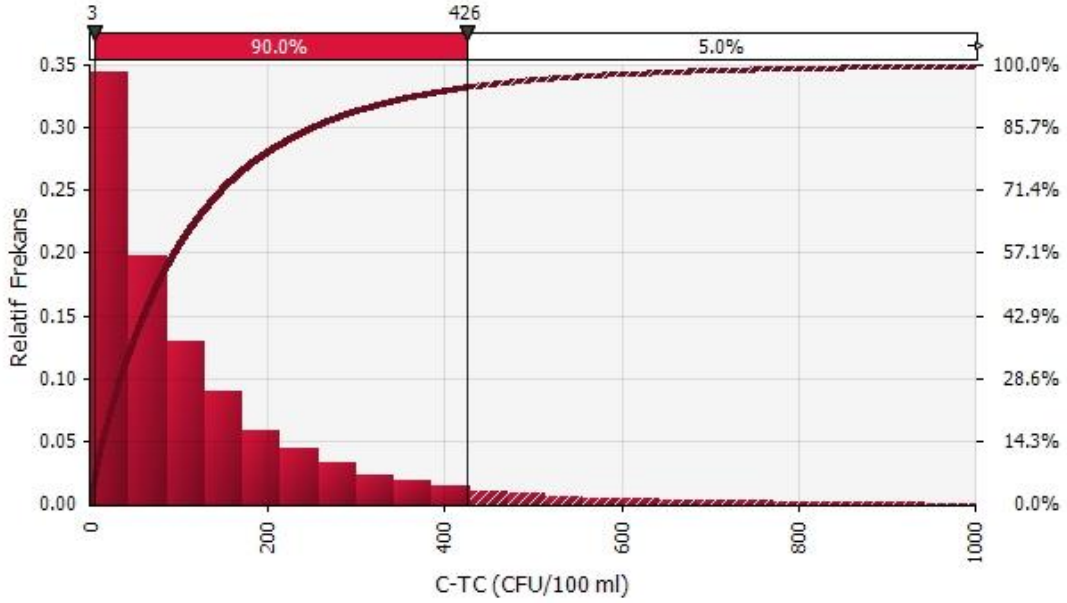
Şekil 4.131. Kış mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı



Şekil 4.132. Kış mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı

Deniz yüzeyindeki yüksek akıntı hızlarına rağmen, güneş ışığı etkisiyle artan bakteriyolojik inaktivasyon hızları sebebiyle kış mevsiminde de üçüncü seyrelmenin nispeten yüksek değerler aldığı belirsizlik analizi sonucunda tespit edilmiştir. Ancak karanlık saatlerin bu mevsimde daha da fazla olması ve güneş ışığı şiddetinin sonbahar mevsimine göre çok daha düşük olması sebebiyle kış mevsimindeki üçüncü seyrelme değerlerinin sonbahar mevsimine göre oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

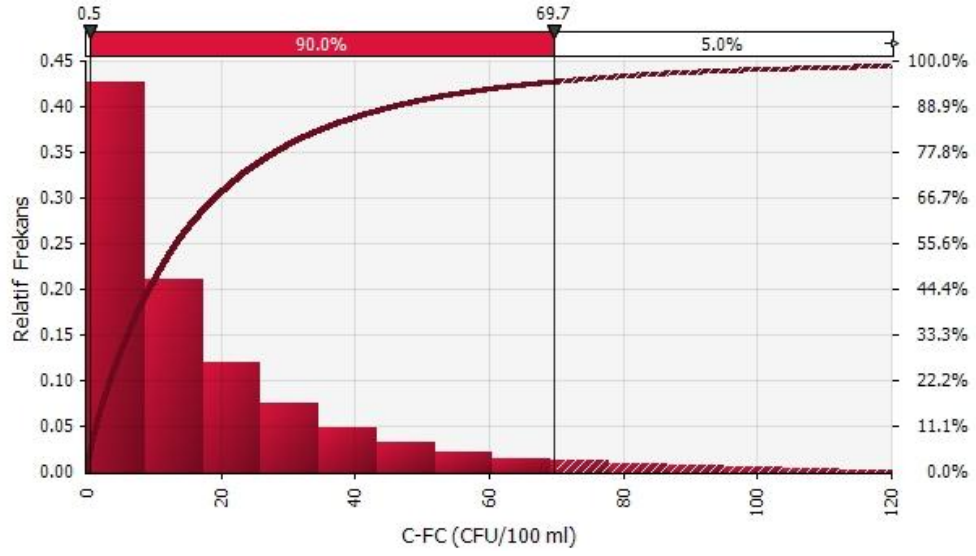
Belirsizlik analizi sonucunda üçüncü seyrelmenin kış mevsiminde %90 olasılıkla 1-39 değerleri arasında olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 4.133. Kış mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

Özellikle yüksek birinci ve üçüncü seyrelme değerleri sebebiyle, toplam seyrelme kış mevsiminde oldukça büyük değerler almaktadır. Sonbahar mevsimine oranla azalan üçüncü seyrelme değerlerine rağmen kış mevsiminde birinci ve ikinci seyrelmedeki artış sebebiyle sonbahar mevsimi için elde edilen toplam seyrelme değerlerinden daha yüksek toplam seyrelme değerleri elde edilmiştir. Kış mevsiminde toplam seyrelmenin %95 olasılıkla 84.409 değerinin altında olacağı belirsizlik analizi sonucu ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.133’de görülebileceği üzere kış mevsiminde deşarj noktasına yaklaşık 2500 m mesafede olan Topçam sahilindeki toplam koliform bakteri konsantrasyonu % 95 olasılıkla 426 CFU/100 ml değerinden küçük olmaktadır. Bu değer de Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliğinde (2004) rekreasyon amacıyla kullanılan kıyı suları için TC limiti olan 1000 CFU/100 ml değerinin altında kalmaktadır. Benzer şekilde fekal koliform bakteri sayısı da %95 ihtimalle 70 değerinin altında (Şekil 4.134) olup, bu değer de yine aynı yönetmelikte FC limiti olan 200 CFU/100 ml değerinin altında olmaktadır.



Şekil 4.134. Kış mevsimi için Topçam sahilinde bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

4.7.2.3. Kış mevsimi hassasiyet analizi

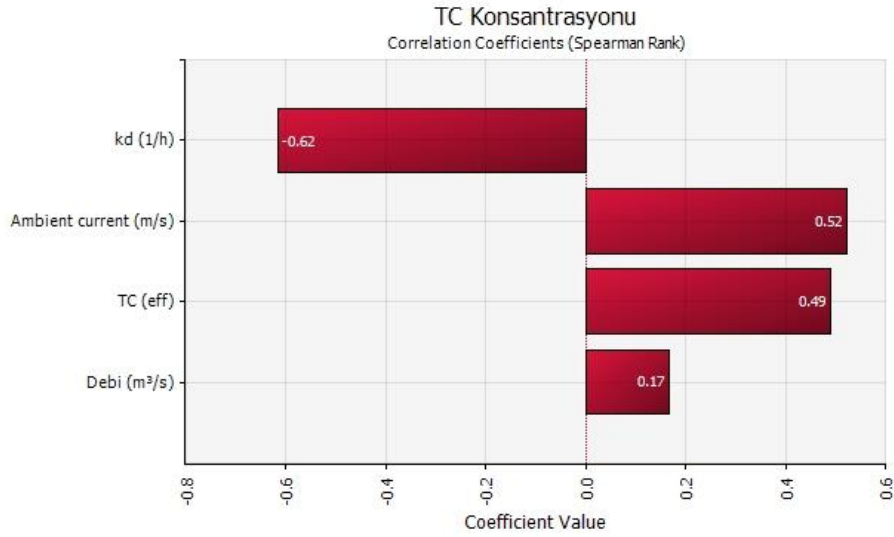
Kış mevsiminde deniz ortamında bulunabilecek TC konsantrasyonlarının belirsizlik analizine ek olarak, TC konsantrasyonu üzerine etkisi olan parametrelerin etki derecelerini belirlemek üzere hassasiyet analizi yapılmıştır. Hassasiyet analizinde Spearman korelasyonu yöntemi kullanılarak parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonu incelenmiştir. Çizelge 4.95’de belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi, Şekil 4.135’de ise TC parametresi üzerinde etkili olan parametrelerin sıralamalı korelasyonları verilmektedir.

Çizelge 4.95. Belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi

Parametre	C-TC	ST	S3	S2	S1
k_d	-0,617	0,73	0,871	n/a	n/a
Akıntı Hızı	0,522	-0,596	-0,434	-1	n/a
TC_0	0,490	n/a	n/a	n/a	n/a
Debi	0,166	-0,218	n/a	n/a	-1

Kış mevsiminde k_d değerinin ve akıntı hızının seyrelme prosesleri açısından bütün parametreler içinde en etkili parametreler olduğu sonucuna varılmaktadır. k_d değerindeki artış ile bakteriyel inaktivasyon prosesinin hızı artmakta ve dolayısıyla

deniz ortamında bulunan toplam koliform konsantrasyonlarında azalma olmaktadır, akıntı hızının artması ise hem ikinci seyrelmenin hem de üçüncü seyrelmenin azalmasına dolayısıyla deşarj kaynaklı TC konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Birinci ve ikinci seyrelme proseslerinde sadece birer parametre etkin olmakta ve bu parametreler birinci seyrelme için deşarj debisi, ikinci seyrelme için akıntı hızıdır. Deniz ortamındaki koliform konsantrasyonlarının tahmini açısından en yüksek korelasyon k_d , en düşük korelasyon ise deşarj debisi için elde edilmiştir.



Şekil 4.135. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu

4.7.3. İlkbahar mevsimi

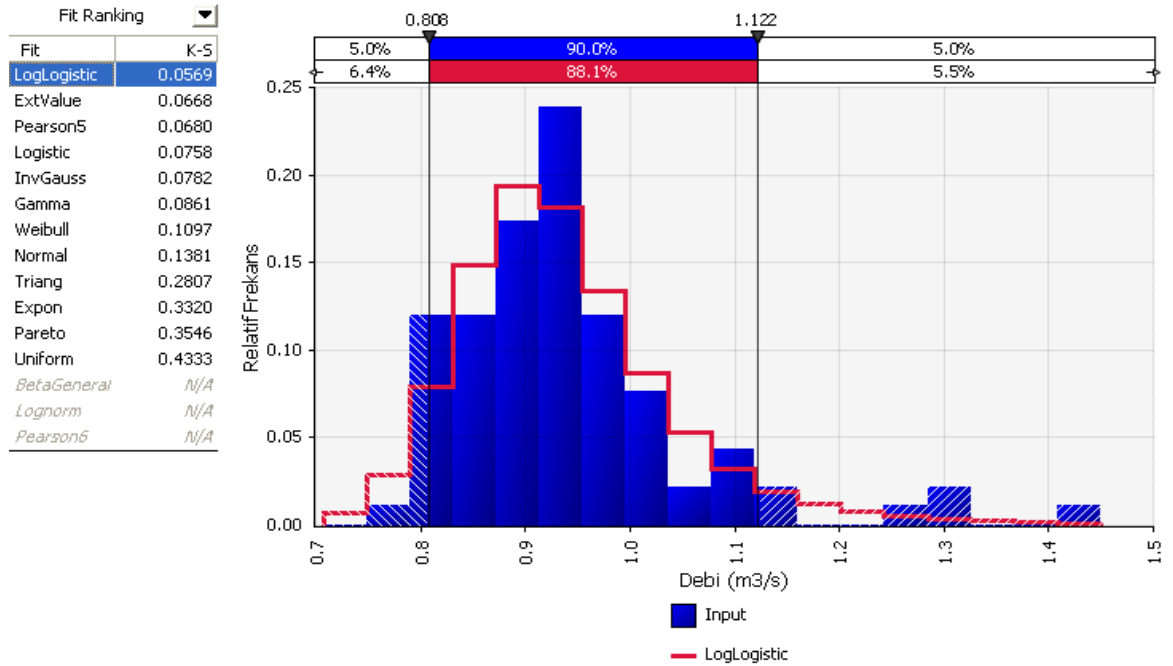
4.7.3.1. Belirsizlik parametreleri

İlkbahar mevsiminde gerçekleştirilen saha çalışmaları kapsamında Secchi disk derinliğinin ortalama 22,1 m gibi yüksek bir değer aldığı tespit edilmiştir. Yine saha çalışmaları sırasında, ilkbahar mevsiminde yaz mevsimine benzer olarak yoğunluk tabakalaşmasının mevcut olduğu ancak şiddet açısından yaz mevsimindeki yoğunluk tabakalaşmasından daha zayıf olduğu anlaşılmıştır. Böyle bir durumda batmış tarla derinliğinde bakteriyolojik inaktivasyon açısından önemli miktarda ışığın bulunması olasılığından yola çıkılarak batmış tarla seviyesindeki T_{90} değerlerinin belirsizlik analizine dahil edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için deniz yüzeyindeki ışık şiddetlerinden faydalanılarak batmış tarla seviyesindeki ışık şiddetleri elde edilmiştir.

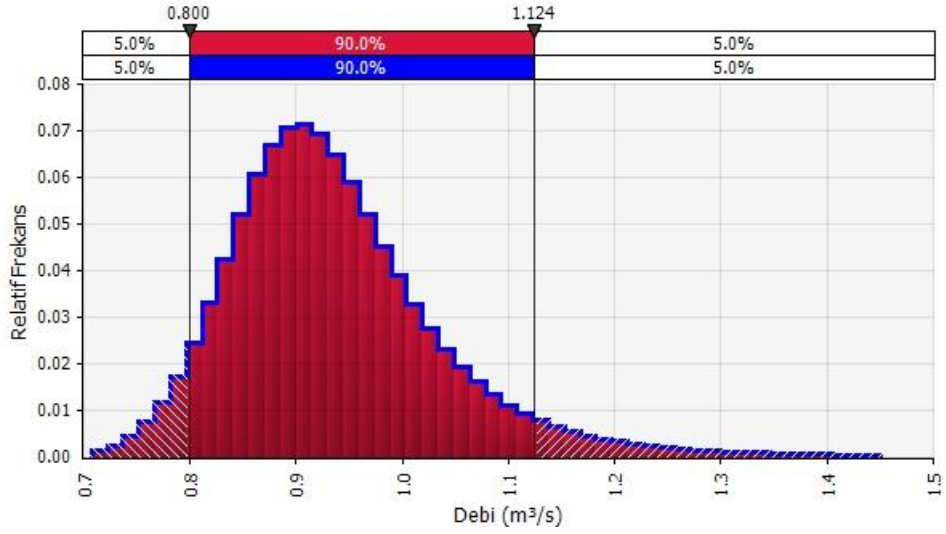
Elde edilen ışık şiddetleri deniz ortamında Özcan (2010) tarafından yapılan bakteriyel inaktivasyon çalışması sonucu geliştirilen eşitliğe aktarılarak söz konusu derinlikteki T_{90} değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca bu mevsimde tabakalaşma mevcut olduğu için sonbahar ve kış mevsimlerinden farklı olarak Roberts (1989a, 1989b, 1989c) tarafından geliştirilen birinci seyrelme modeli kullanılmıştır.

i. *Deşarj debisi*

Mart, Nisan ve Mayıs 2009 tarihlerinde deşarj edilen günlük atıksu debileri ASAT'tan temin edilerek çalışma kapsamında kullanılmıştır. İlkbahar mevsimi debi verisinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, loglojistik dağılım olarak bulunmuştur. Debi parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.136'da, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan debi değerlerinin istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.137'de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda loglojistik dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen deşarj debisi değerleri % 90 olasılıkla 0,8-1,124 m³/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.136. Deşarj debisi ilkbahar veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılım



Şekil 4.137. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan deşarj debisi değerleri

ii. *Işık şiddeti (I_0)*

İlkbahar mevsiminde atıksu tarlasının Secchi derinliğine yakın derinliklerde tutsaklanması beklenmektedir. Böylece ilkbahar mevsiminde, tutsaklanma derinliğine ulaşarak yatay hareketine başlayan atıksu bulutunda meydana gelecek bakteriyel inaktivasyon prosesinin sıcaklık ve tuzluluk yanında güneş ışığından da etkilenmesi olasıdır. Bu sebeple diğer mevsimlerde olduğundan farklı bir yöntem izlenmesi gerekli görülmüştür. Batmış tarla seviyesindeki ışık şiddetlerinin elde edilmesi için öncelikli olarak deniz yüzeyindeki ışık şiddetleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden ilkbahar mevsimi için elde edilmiştir. Yüzey ışık şiddetleri kullanılarak, batmış tarla derinliğindeki ışık şiddetleri Eşitlik 4.6'dan faydalanılarak elde edilmiştir (Carvalho vd, 2004). Eşitlikte I_{Ze} , Z_e derinliğindeki ışık şiddetini; I_0 deniz yüzeyindeki ışık şiddetini, α ise ışık sönüm katsayısını temsil etmektedir.

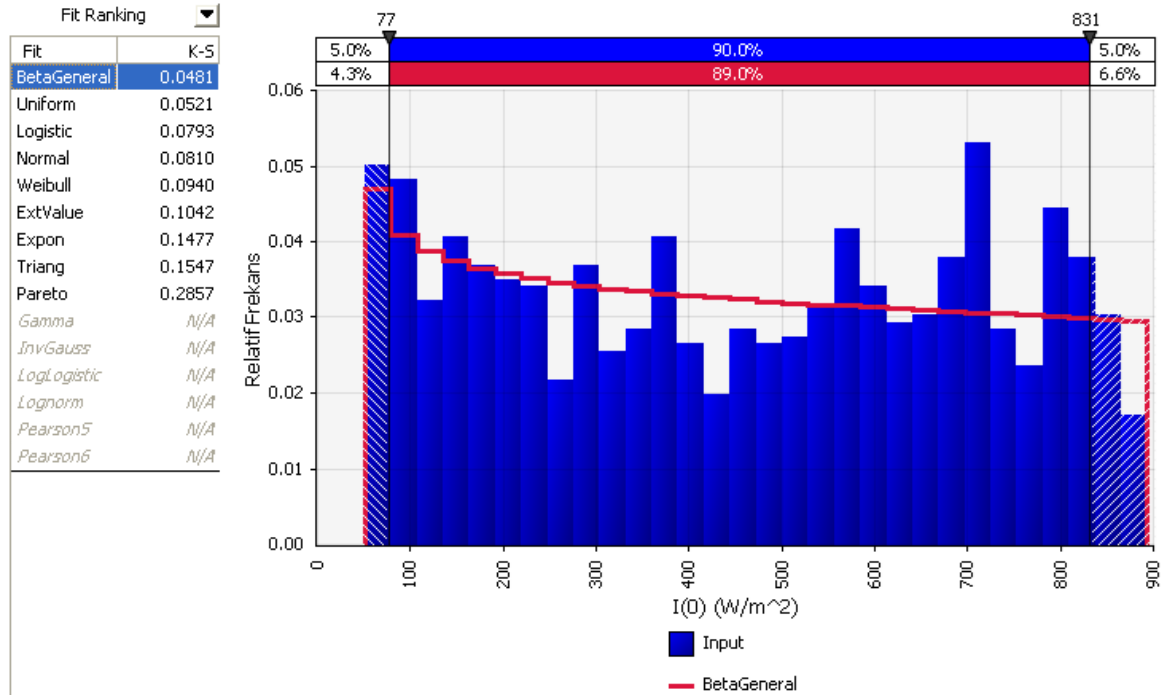
$$I_{Ze} = I_0 e^{-\alpha Z_e} \quad (4.6)$$

Özcan (2010) tarafından deniz ortamında yapılan bakteriyel inaktivasyon deneyleri sonucunda belli bir derinlikteki ışık şiddeti, tuzluluk ve sıcaklık değişkenlerinin etkisi altında T_{90} değerini tahmin eden bir eşitlik geliştirilmiştir (Eşitlik 4.7). Yukarıda anlatılan yöntemle elde edilen ışık şiddetleri bu eşitliğe sıcaklık ve tuzluluk değerleri ile birlikte girilerek T_{90} değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik 4.7'de; T sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), S

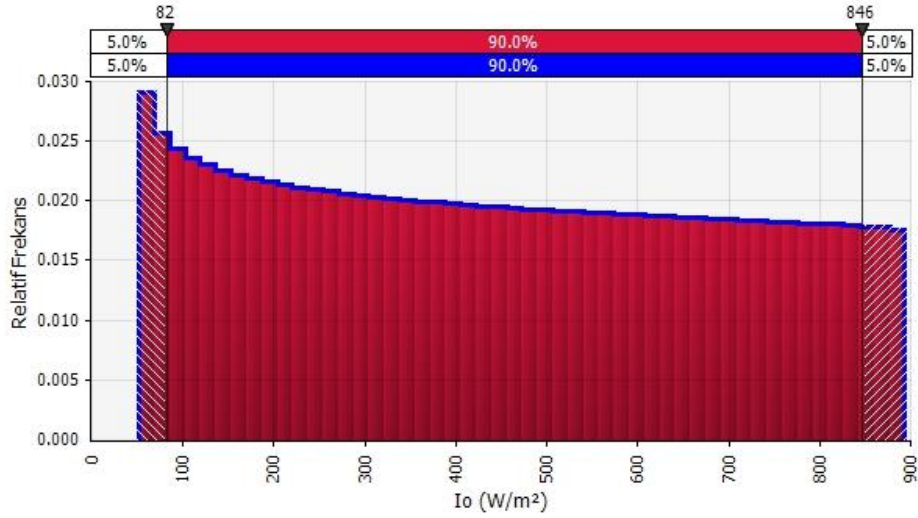
tuzluluğu (ppt), L ışık şiddetini (W/m^2), D ise derinliği (m) simgelemektedir.

$$T_{90} = \exp(-0,035*(T-20) + 1,597*S + 33,073/L + 0,014*D - 62,197) \quad (4.7)$$

Değişen ışık şiddetleri altında T_{90} parametresi de değiştiğinden ışık şiddeti parametresi ilkbahar mevsimi için belirsiz parametre olarak kabul edilmiştir. Deniz yüzeyindeki ışık şiddeti verisinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, beta dağılımı olarak elde edilmiştir. Işık şiddeti verisine ait histogram, K-S test sonuçları ve söz konusu veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.138’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan yüzey ışık şiddeti (I_0) verisinin istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.139’da verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda beta dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen ışık şiddeti değerleri % 90 olasılıkla 82-846 W/m^2 aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



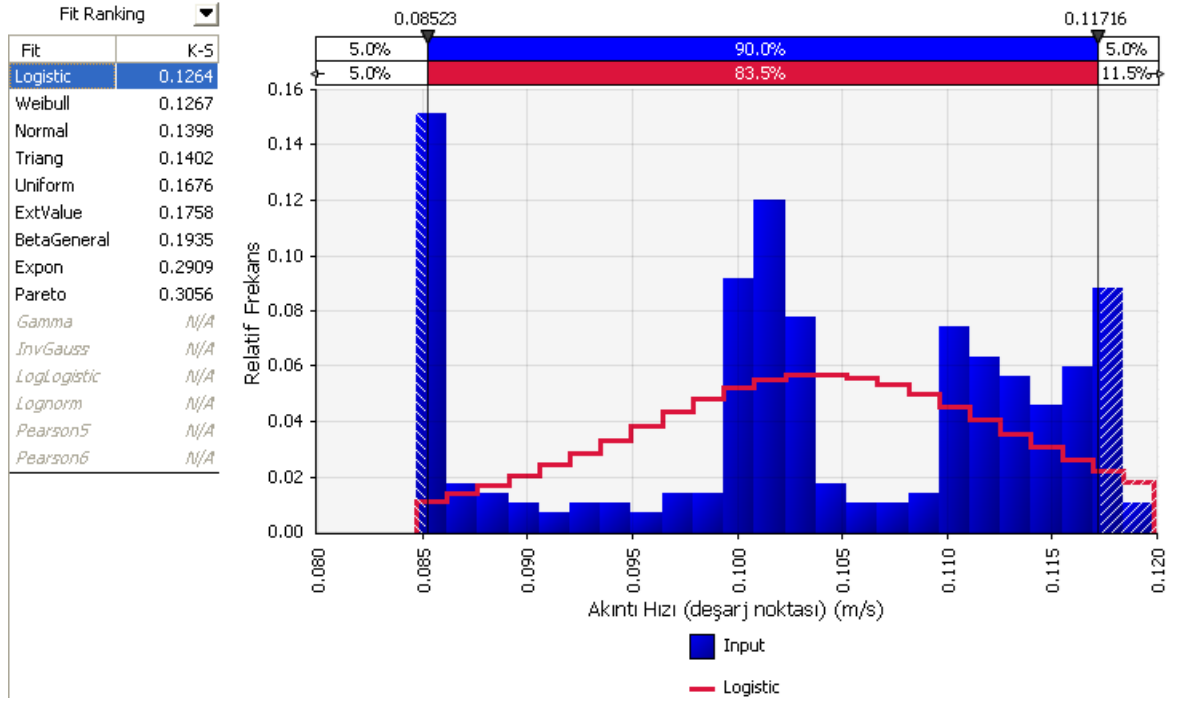
Şekil 4.138. Deniz yüzeyinde ışık şiddeti veri setinin histogramı, K-S test sonucu ve belirlenen istatistiksel dağılım



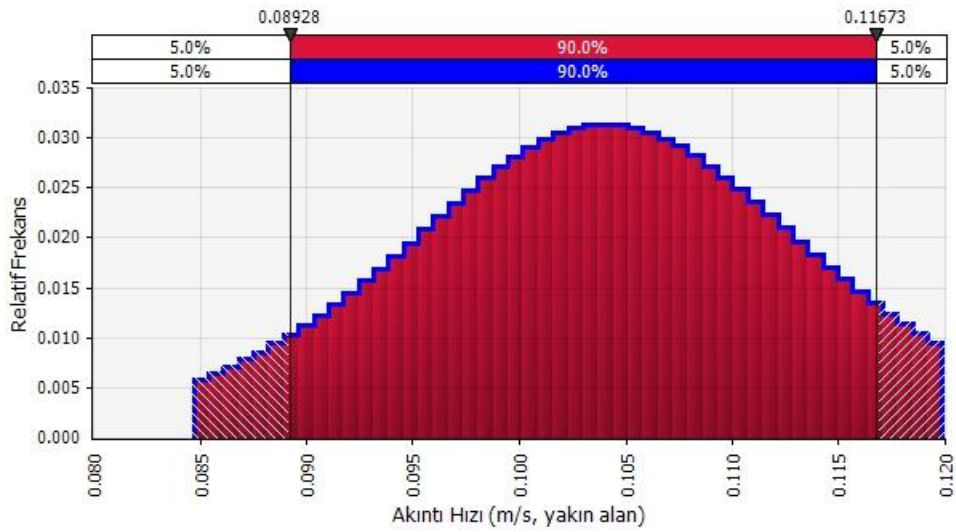
Şekil 4.139. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan ışık şiddeti değerleri

iii. Akıntı hızı (deşarj seviyesi)

İlkbahar mevsiminde deniz ortamında yoğunluk tabakalaşmasının etkin olduğu saptanmıştır. Birinci seyrelmenin tahmini ve belirsizlik analizi için kullanılan Roberts modeli (1989a, 1989b, 1989c) için gerekli olandeşarj seviyesindeki akıntı hızları deniz araştırmaları sırasında yapılan akıntı ölçümlerinden elde edilmiştir. İlkbahar mevsimideşarj seviyesi akıntı hızı verilerinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, lojistik dağılım olarak bulunmuştur. Deşarj seviyesindeki akıntı hızlarına ait ham verinin histogramı, K-S test sonucu ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.140'da, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan akıntı hızı değerlerinin istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.141'de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda lojistik dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilendeşarj seviyesindeki akıntı hızı değerleri % 90 olasılıkla 0,08-0,11 m/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.140. Deşarj seviyesindeki akıntı hızı ilkbahar veri setinin histogramı, K-S test sonucu ve belirlenen istatistiksel dağılımı

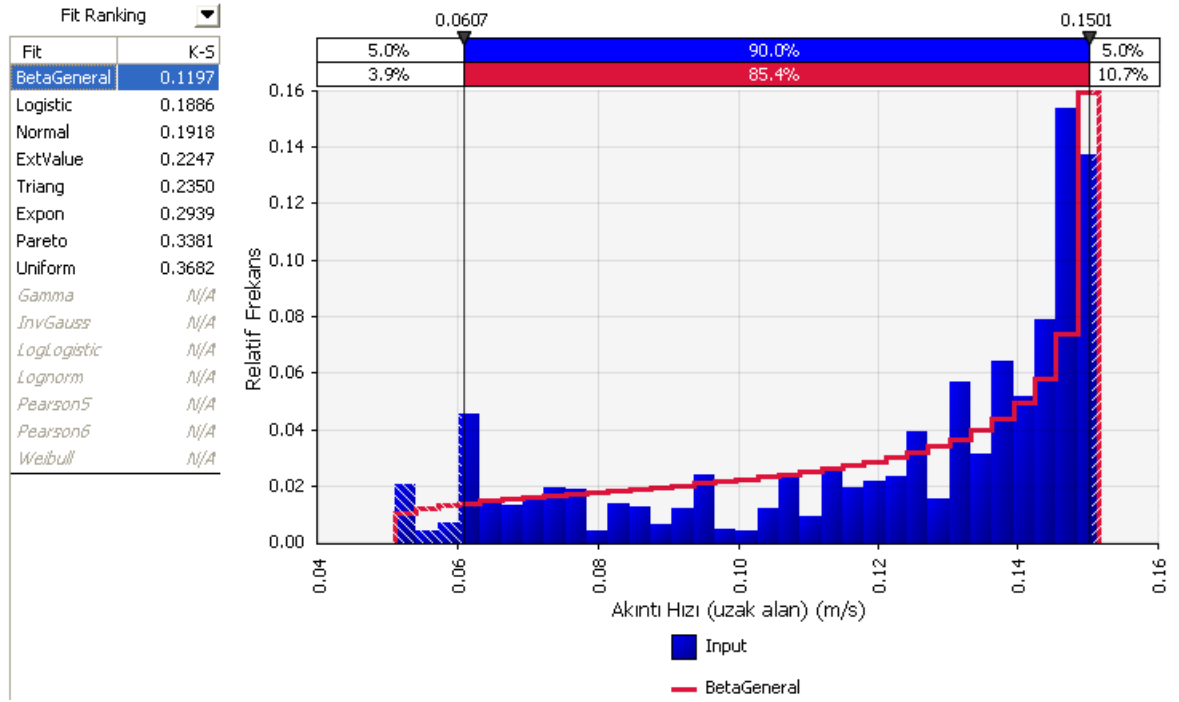


Şekil 4.141. Lojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (deşarj seviyesi) değerleri

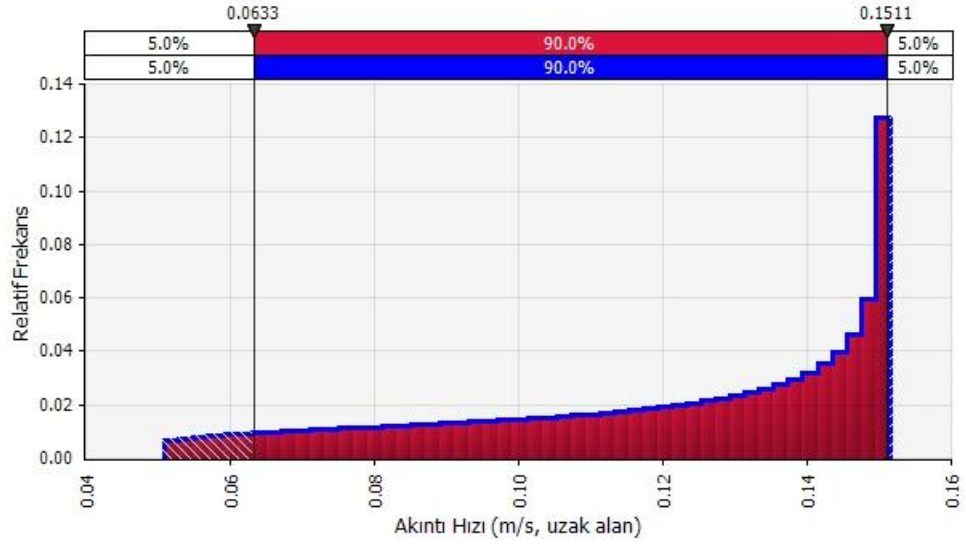
iv. Akıntı hızı (atıksu bulutu seviyesi)

Birinci seyrelmenin sonunda batmış tarla olarak tutsaklanan atıksuların yatay hareketi tutsaklanma seviyesinde devam etmektedir. Bu sebeple ikinci ve üçüncü seyrelmenin tahmini ve belirsizlik analizi için batmış tarla seviyesindeki akıntı

hızlarının kullanılması gerekmektedir. İlkbahar mevsiminde, atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızı verisinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, beta dağılımı olarak bulunmuştur. Atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızlarına ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.142’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan akıntı hızı değerlerinin istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.143’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda beta dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızı değerleri % 90 olasılıkla 0,06-0,151 m/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



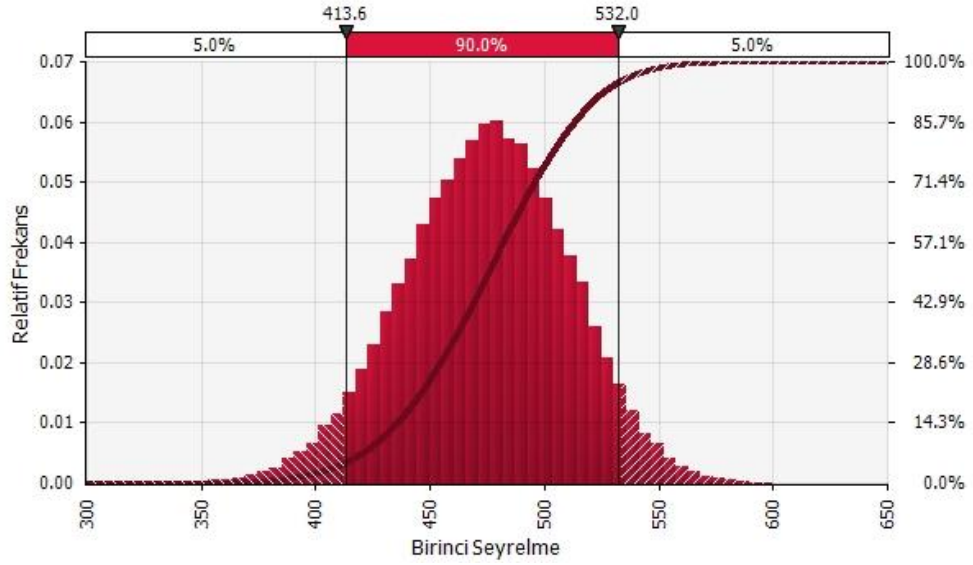
Şekil 4.142. Atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızları ilkbahar veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılımı



Şekil 4.143. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (atıksu bulutu seviyesi) değerleri

4.7.3.2. İlkbahar mevsimi belirsizlik analizi

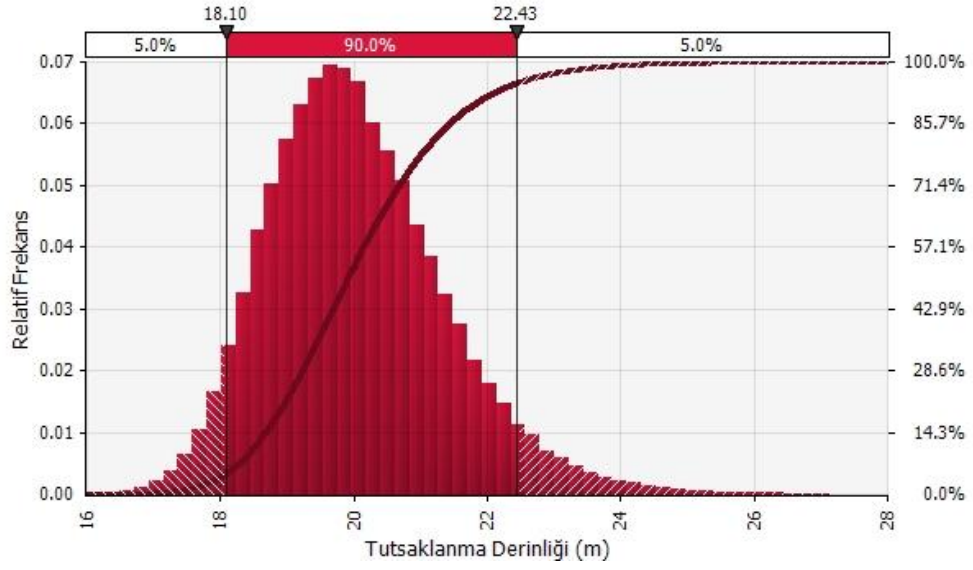
İlkbahar mevsimi için deşarj noktasına 2500 metre uzaklık için belirsizlik analizi yapılmıştır. Yapılan belirsizlik analizi sonucu birinci seyrelme (S1), atıksu tarlasının üst yüzeyinin difüzör ekseninden yüksekliği (Ze), ikinci seyrelme (S2), üçüncü seyrelme (S3), toplam seyrelme (St), toplam seyrelme sonucu kıyı bölgesine ulaşması muhtemel toplam koliform (C-TC) ve fekal koliform (C-FC) olasılık dağılımları elde edilmiştir. Şekiller 4.144-4.150'de sırasıyla S1, Ze, S2, S3, St, C-TC ve C-FC parametrelerinin olasılık dağılımları verilmektedir.



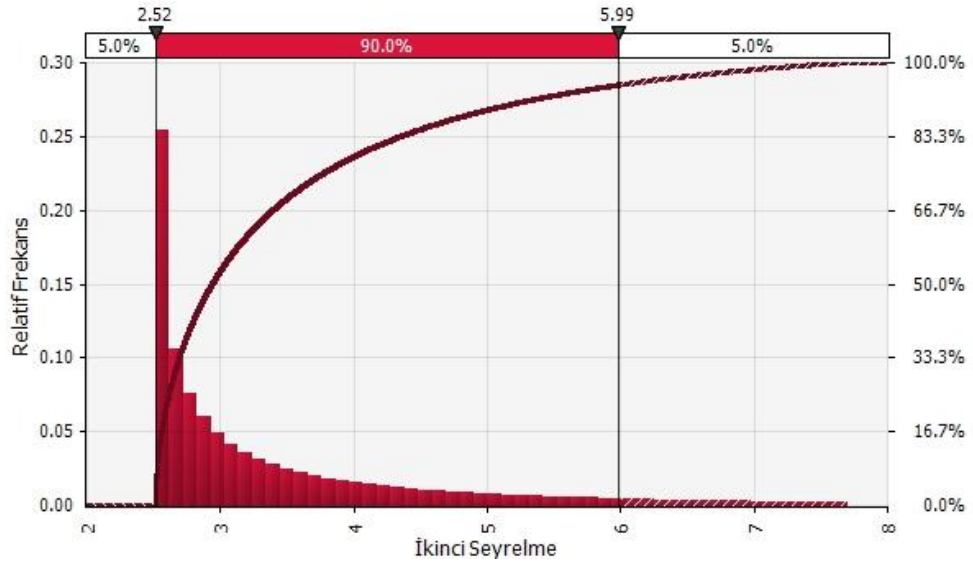
Şekil 4.144. İlkbahar mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı

İlkbahar mevsiminde rastlanan yoğunluk tabakalaşması nedeniyle batmış tarla olarak tutsaklanan atıksuların sonbahar ve kış mevsimlerine kıyasla daha düşük birinci seyrelmelere uğradıkları tespit edilmiştir. Belirsizlik analizi sonucunda bu mevsimde birinci seyrelmenin %90 ihtimalle 414-532 değerleri arasında olacağı sonucuna varılmaktadır (Şekil 4.144).

Şekil 4.145'den görülebileceği üzere kararlı bir yoğunluk tabakalaşması sebebiyle belirsizlik analizi sonucunda atıksu tarlasının üst sınırı %95 olasılıkla deşarj noktasından itibaren 22,5 m'den daha aşağıda olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu da atıksu tarlasının üst sınırının deniz seviyesinin yaklaşık 27 m altında olacağı sonucunu doğurmaktadır.

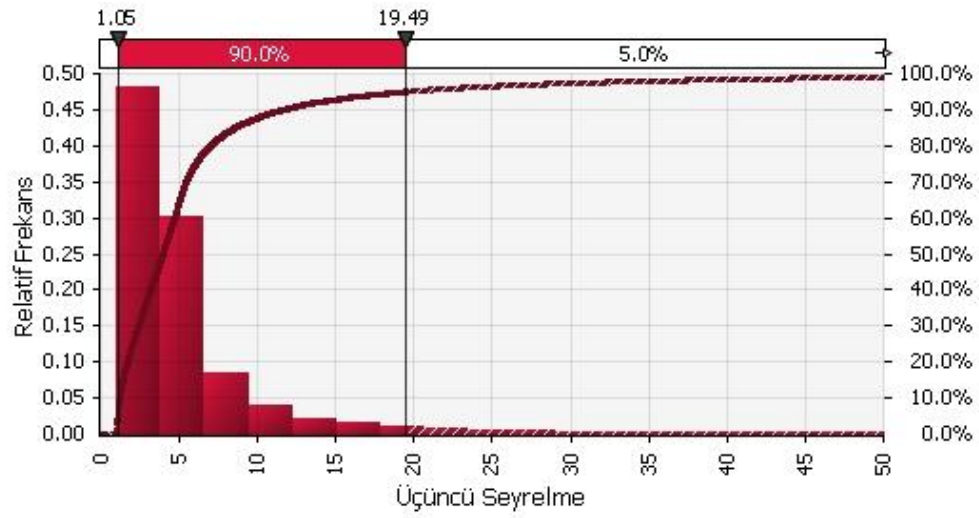


Şekil 4.145. İlkbahar mevsimi için atıksu tarlasının üst yüzeyinin difüzör ekseninden yüksekliği (Ze) değerinin olasılık dağılımı

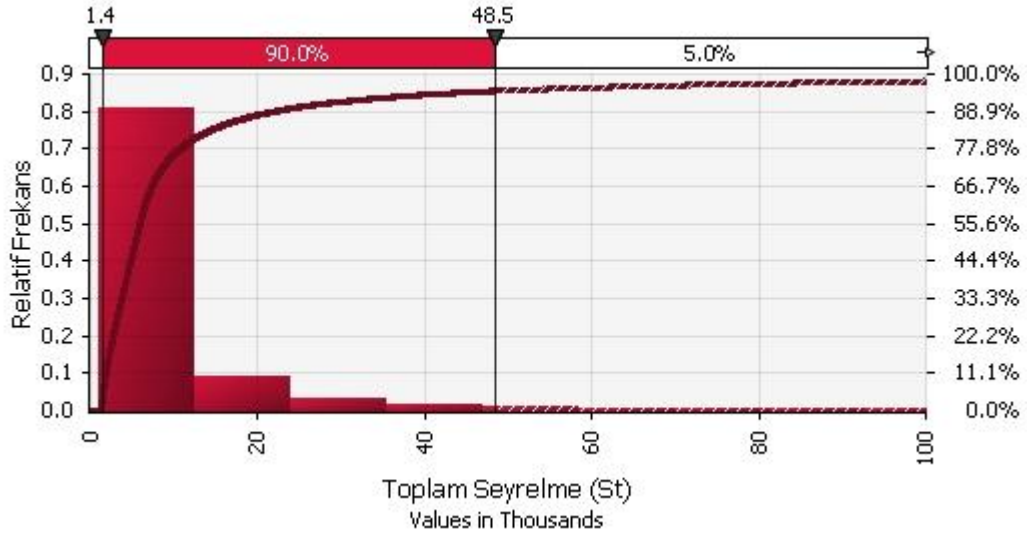


Şekil 4.146. İlkbahar mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı

İlkbahar mevsiminde yoğunluk tabakalaşmasının etkisiyle batmış tarla olarak tutsaklanan atıksu bulutu yatay hareketini daha düşük akıntı hızları eşliğinde gerçekleştirecektir. Bu sebeple ikinci seyrelme bu mevsimde sonbahar ve kış mevsimlerinden daha yüksek değerler almaktadır. Belirsizlik analizi sonucunda ikinci seyrelmenin bu mevsimde %90 ihtimalle 2,5-6,0 değerleri arasında değişeceği ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.146).



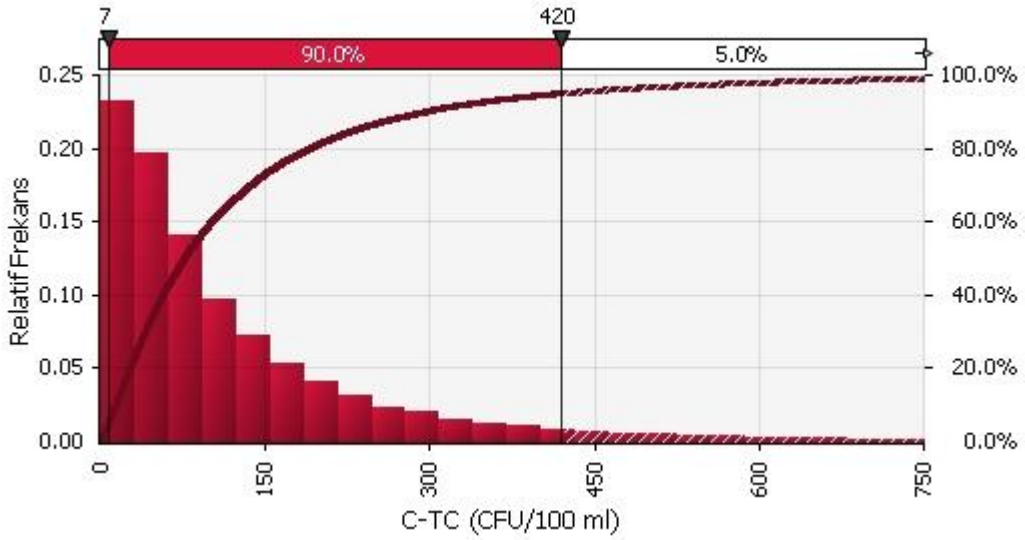
Şekil 4.147. İlkbahar mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı



Şekil 4.148. İlkbahar mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı

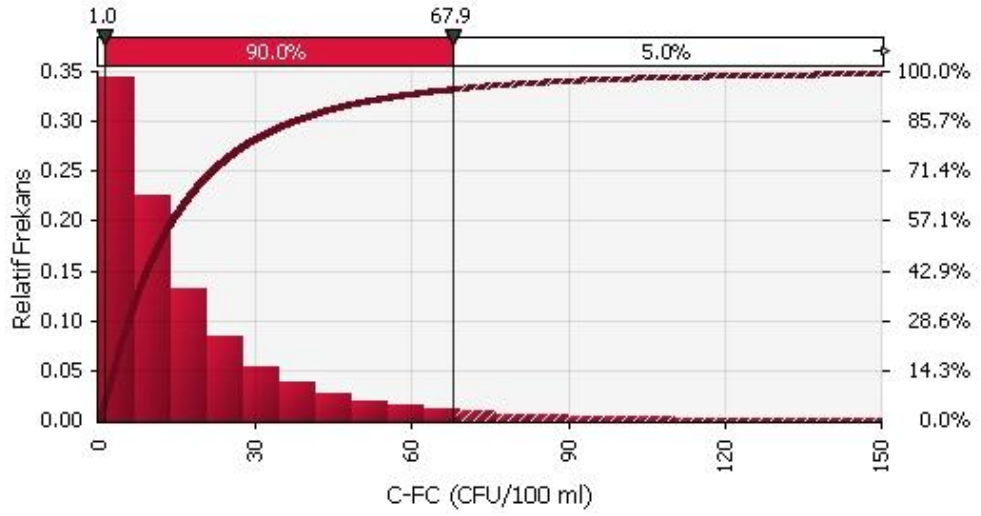
Atıksu bulutunun deniz yüzeyinin ortalama 27 m kadar altında kalması sebebiyle düşük bakteriyel inaktivasyon hızları üçüncü seyrelme değerinin düşmesi yönünde, buna karşın deniz yüzeyindeki akıntı hızlarına oranla çok daha düşük mertebelerde olan akıntı hızları ise üçüncü seyrelmenin artması yönünde etki göstermektedirler. Bu koşullar altında, ilkbahar mevsiminde üçüncü seyrelmenin % 90 olasılıkla 1-19,5 aralığında değişeceği tespit edilmiştir. Ancak Şekil 4.147 incelendiğinde, üçüncü seyrelmenin 1-4 değerleri arasında olma olasılığının % 50 civarında olduğu gözlenmektedir.

İlkbahar mevsiminde, sonbahar ve kış mevsimlerine göre daha düşük olan birinci ve üçüncü seyrelmelerden ötürü toplam seyrelme değeri de söz konusu mevsimlere kıyasla daha düşük olmaktadır. İlkbahar mevsiminde toplam seyrelmenin %90 olasılıkla 1.400-48.500 değerleri arasında değişmesi beklenirken üçüncü seyrelmeye benzer bir şekilde toplam seyrelmenin yaklaşık %75 olasılıkla 1.400-12.000 aralığında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.148). Toplam seyrelmenin 12.000-48.500 aralığında olma olasılığı sadece %15'tir. Bu durum düşük bakteriyel inaktivasyon hızlarına bağlanmaktadır.



Şekil 4.149. İlkbahar mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

Şekil 4.149'dan da görülebileceği üzere ilkbahar mevsiminde deşarj noktasına yaklaşık 2500 m mesafede toplam koliform bakteri konsantrasyonu % 95 olasılıkla 420 CFU/100 ml değerinden küçük olmaktadır. Bu değer sonbahar ve kış mevsimlerinde olduğu gibi Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY 2008) rekreasyon amacıyla kullanılan kıyı suları için TC limiti olan 1000 CFU/100 ml değerinin altında kalmaktadır. Benzer şekilde fekal koliform bakteri sayısı da %95 ihtimalle 68 değerinin altında (Şekil 4.150) olup bu değer de yine aynı yönetmelikte FC limiti olan 200 CFU/100 ml değerinin altında olmaktadır. İlkbahar mevsiminde gerçekleşen atıksu tutsaklanması sebebi ile deşarj edilen atıksular tutsaklanma derinliğinde yatay hareketine devam edecek olup, deniz batimetrisine bağlı olarak atıksu bulutu hareketi kıyıya ulaşmadan sonlanabilecektir.



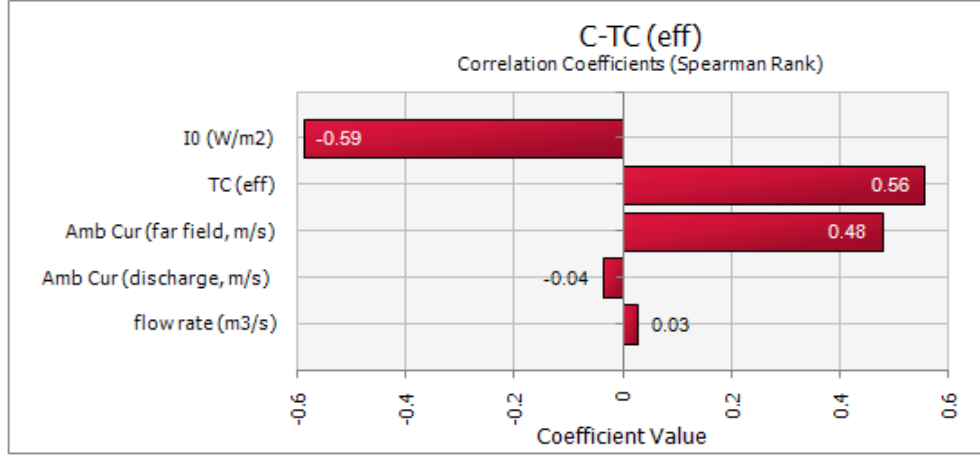
Şekil 4.150. İlkbahar mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

4.7.3.3. İlkbahar mevsimi hassasiyet analizi

İlkbahar mevsiminde deniz ortamında bulunabilecek TC konsantrasyonlarının belirsizlik analizine ek olarak, TC konsantrasyonu üzerine etkisi olan parametrelerin etki derecelerini belirlemek üzere hassasiyet analizi yapılmıştır. Hassasiyet analizinde daha önceki mevsimlerde olduğu gibi Spearman korelasyonu yöntemi kullanılarak parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonu incelenmiştir. Çizelge 4.96’da belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi, Şekil 4.151’de ise TC parametresi üzerinde etkili olan parametrelerin sıralamalı korelasyonları verilmektedir.

Çizelge 4.96. Belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi

Parametre	C-TC	ST	S3	S2	S1	Ze
I_0 (W/m^2)	-0,589	0,761	0,863	n/a	n/a	n/a
C_0 TC	0,556	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Akıntı Hızı (uzak alan) (m/s)	0,477	-0,568	-0,396	-1	n/a	n/a
Akıntı Hızı (deşarj derinliği) (m/s)	-0,035	0,044	-0,014	n/a	0,680	-0,621
Debi (m^3/s)	0,028	-0,040	0,023	n/a	-0,698	0,753



Şekil 4.151. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu

İlkbahar mevsiminde deniz ortamındaki TC konsantrasyonları üzerindeki en etkin parametrenin deniz yüzeyindeki ışık şiddeti ve başlangıç TC konsantrasyonu olduğu görülmektedir (Şekil 4.151). Bu mevsimde atıksuyun yüzey altında tutsaklanmasından ötürü düşük bakteriyel inaktivasyon hızları söz konusudur. Ancak tutsaklanma derinliğindeki akıntı hızlarının oldukça düşük mertebelerde olması sebebiyle düşük bakteriyel inaktivasyon hızlarına rağmen üçüncü seyrelme değerleri sonbahar ve kış mevsimleriyle kıyaslanabilecek düzeylere çıkmaktadır. Bu dönemde birinci seyrelme prosesinde hem debi, hem de deşarj seviyesindeki akıntı hızı olmak üzere iki parametre etkili olmaktadır. İkinci seyrelme prosesinde kış ve sonbahar mevsimlerinde olduğu gibi, atıksuyun yatay düzlemde hareketini sağlayan akıntı hızı, etkin olan tek parametre olarak belirlenmiştir. Üçüncü seyrelme normal şartlarda sadece bakteriyel inaktivasyon hızı ile atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızının fonksiyonu olarak gerçekleşirken, ilkbahar mevsiminde deşarj seviyesindeki akıntı hızının ve atıksu debisinin de üçüncü seyrelmeyi etkileyen parametreler arasında olduğu görülmektedir (Çizelge 4.96). Bunun nedeni, tutsaklanma derinliğini temsil eden (Z_e) parametresinin birinci seyrelmeyi etkileyen debi ve deşarj seviyesindeki akıntı hızı parametrelerinden etkilenmesidir. Dolayısıyla değişen tutsaklanma derinliklerinde akıntı hızı ve ışık şiddeti parametrelerinin de değişmesi dolaylı olarak üçüncü seyrelmeyi etkilemektedir. Hassasiyet analizi sonucunda, deniz ortamındaki koliform konsantrasyonları için en yüksek korelasyon deniz yüzeyindeki ışık şiddeti, en düşük korelasyon ise deşarj seviyesindeki akıntı hızı için elde edilmiştir.

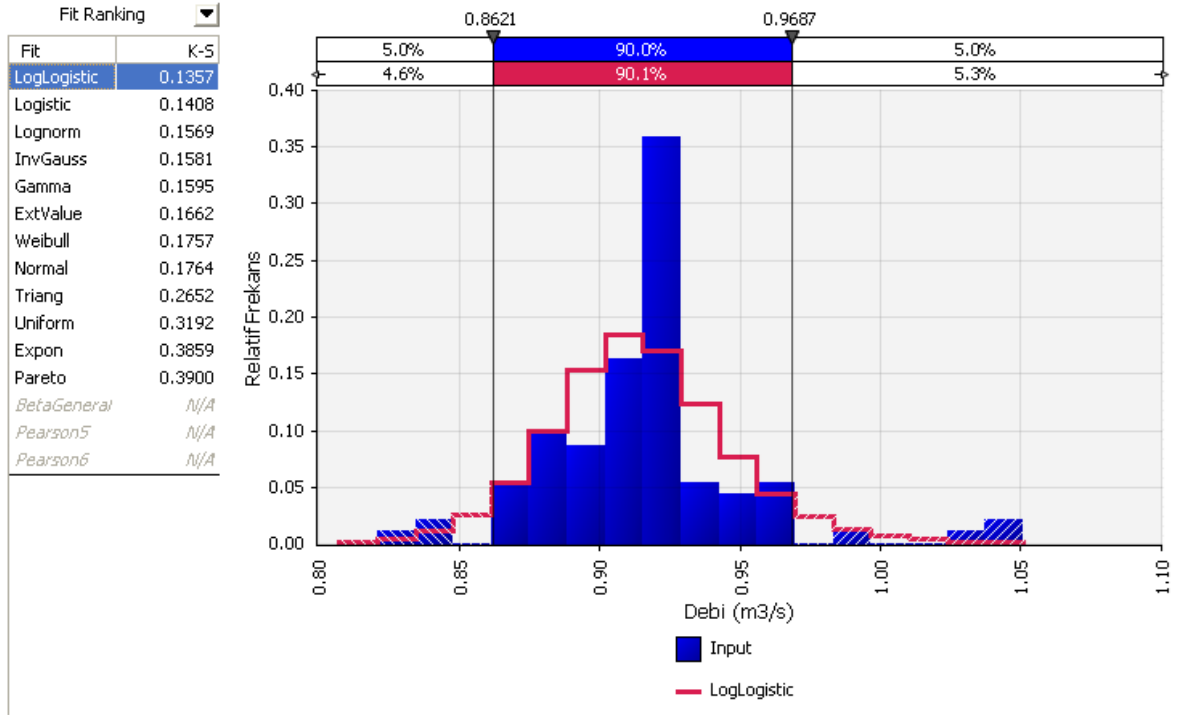
4.7.4. Yaz mevsimi

4.7.4.1. Belirsizlik parametreleri

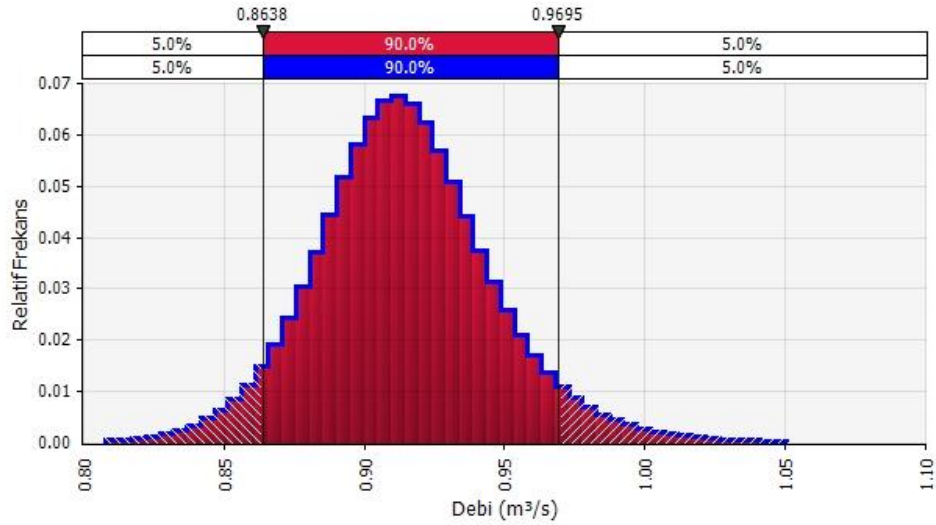
Yaz mevsiminde gerçekleştirilen saha çalışmaları kapsamında Secchi derinliği ortalama 18 m olarak elde edilirken, düşeyde yoğunluk gradiyenti $0,0386 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{m}$ olarak bulunmuştur. Söz konusu düşey yoğunluk gradiyenti varlığında batmış tarlanın üst sınırının deniz yüzeyinin ortalama 38 m altında kaldığı sonucuna varılmaktadır. Sonuç olarak, atıksu bulutu yaz mevsiminde Secchi derinliği altında kalmakta ve k_d parametresi belirsizlik dışında tutularak, T_{90} süresi için laboratuvar ortamında deneysel olarak elde edilen 37 sa değeri kullanılmıştır. Yaz mevsiminde de tabakalaşma mevcut olduğu için birinci seyrelme analizinde Roberts (1989a, 1989b, 1989c) tarafından geliştirilen birinci seyrelme modeli kullanılmıştır.

i. Deşarj debisi

Haziran, Temmuz ve Haziran 2009 tarihlerinde deşarj edilen günlük atıksu debileri ASAT'tan alınarak istatistiksel dağılımı belirlenmiştir. Yaz mevsimine ait ham verinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için yapılan testler sonucunda en uygun dağılım, loglojistik dağılım olarak bulunmuştur. Deşarj debisi parametresine ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.152'de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan deşarj debisi değerlerine ait istatistiksel dağılım ise Şekil 4.153'de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda loglojistik dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen deşarj debisi değerleri % 90 olasılıkla $0,863-0,969 \text{ m}^3/\text{s}$ aralığında değişmektedir.



Şekil 4.152. Deşarj debisi yaz veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı

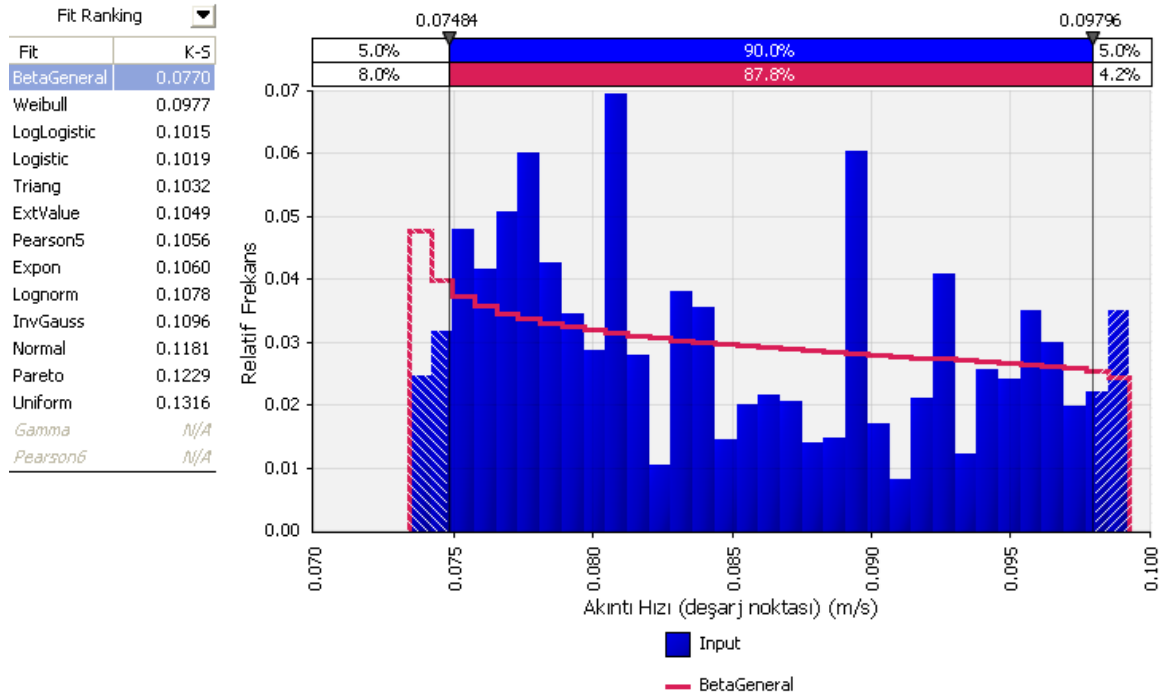


Şekil 4.153. Loglojistik dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan deşarj debisi değerleri

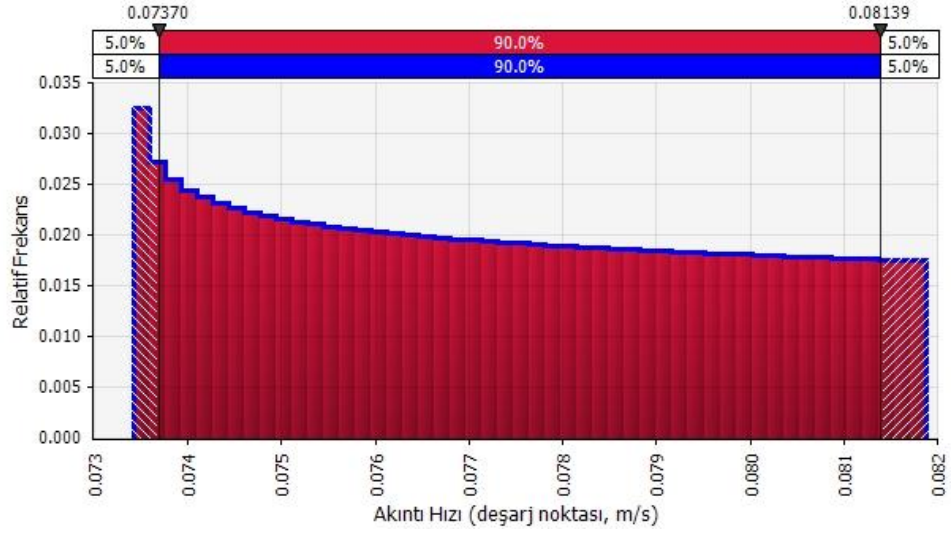
ii. Akıntı hızı (deşarj seviyesi)

Yaz mevsiminde de deniz ortamında yoğunluk tabakalaşmasının etkin olduğu saptanmıştır. Birinci seyrelmenin tahmini ve belirsizlik analizi için kullanılan Roberts modeli (1989a, 1989b, 1989c) için gerekli olan deşarj seviyesindeki akıntı hızları deniz

araştırmaları sırasında yapılan akıntı ölçümlerinden elde edilmiştir. Yaz mevsiminde, deşarj seviyesindeki akıntı hızı verilerinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, beta dağılım olarak bulunmuştur. Deşarj seviyesindeki akıntı hızlarına ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.154’de, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan akıntı hızı değerlerinin istatistiksel dağılımını ise Şekil 4.155’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda beta dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen deşarj seviyesindeki akıntı hızı değerleri % 90 olasılıkla 0,073-0,081 m/s aralığında değişmektedir.



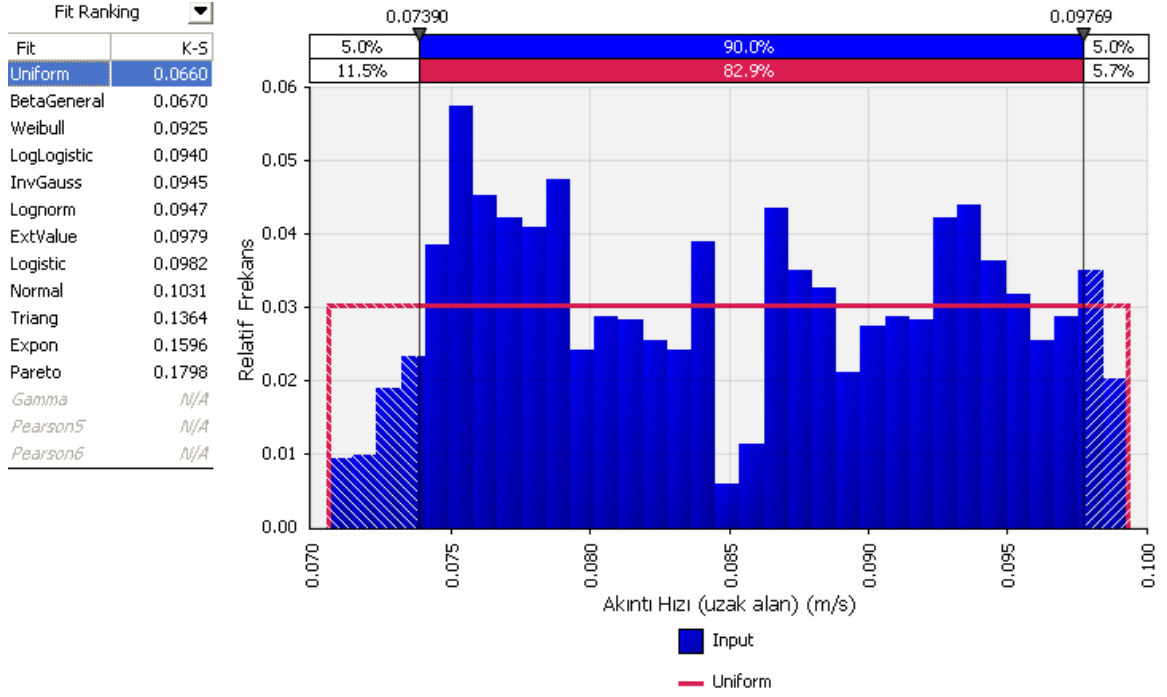
Şekil 4.154. Deşarj seviyesindeki akıntı hızları yaz veri setinin histogramı, K-S test sonuçları ve belirlenen istatistiksel dağılımını



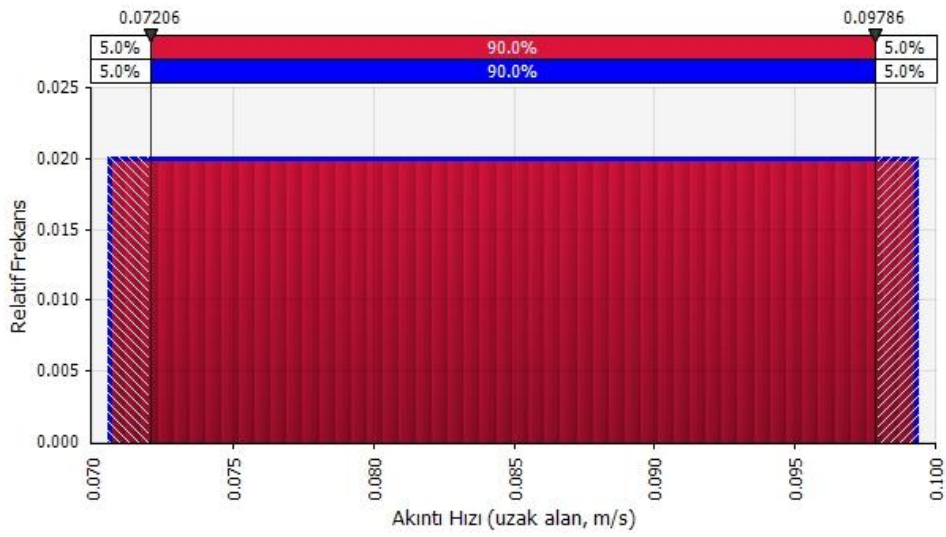
Şekil 4.155. Beta dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (deşarj seviyesi) değerleri

iii. Akıntı hızı (atıksu bulutu seviyesi)

Birinci seyrelmenin sonunda batmış tarla olarak tutsaklanan atıksuların yatay hareketi tutsaklanma seviyesinde devam etmektedir. Bu sebeple ikinci ve üçüncü seyrelmenin tahmini ve belirsizlik analizi için batmış tarla seviyesindeki akıntı hızlarının kullanılması gerekmektedir. Yaz mevsiminde, atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızı verisinin istatistiksel dağılımının belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmış ve test sonucunda bu veriye en uygun dağılım, üniform dağılım olarak bulunmuştur. Atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızlarına ait ham verinin histogramı, K-S test sonuçları ve söz konusu ham veriyi temsil eden istatistiksel dağılım Şekil 4.156’da, bu dağılımdan elde edilerek belirsizlik analizinde kullanılan akıntı hızı değerlerinin istatistiksel dağılımı ise Şekil 4.157’de verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucunda üniform dağılıma göre belirsizlik analizine dahil edilen atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızı değerleri % 90 olasılıkla 0,072-0,097 m/s aralığında değişmektedir.



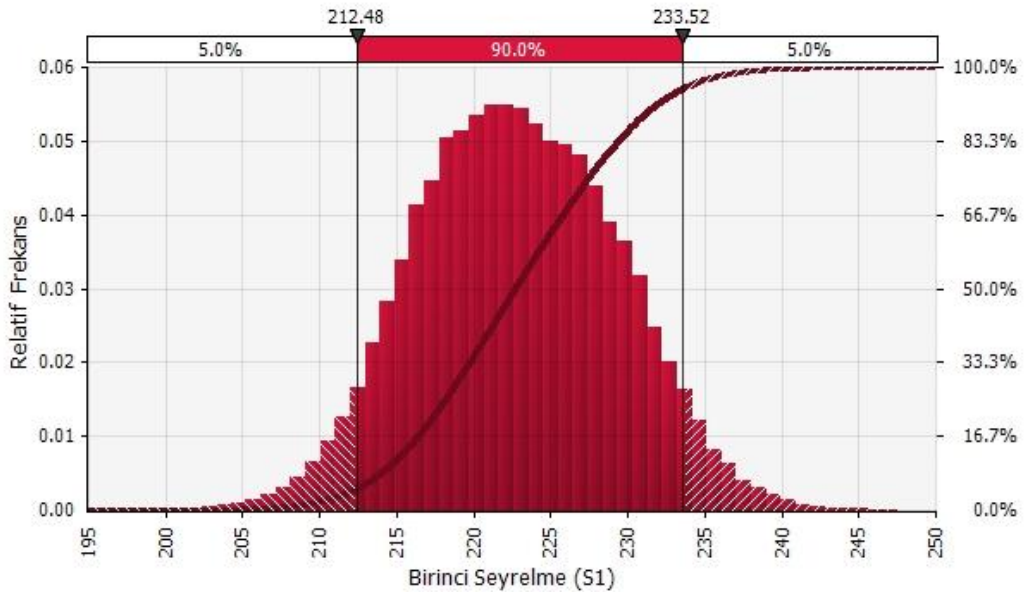
Şekil 4.156. Atıksu bulutu seviyesindeki akıntı hızları yaz veri setinin histogramı ve belirlenen istatistiksel dağılımı



Şekil 4.157. Üniform dağılımdan elde edilerek girdi olarak kullanılan akıntı hızı (atıksu bulutu seviyesi) değerleri

4.7.4.2. Yaz mevsimi belirsizlik analizi

Yaz mevsimi için deşarj noktasına 2500 m uzaklık için belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizlik analizi sonucu birinci seyrelme (S1), atıksu tarlasının üst yüzeyinin difüzör ekseninden yüksekliği (Ze), ikinci seyrelme (S2), üçüncü seyrelme (S3), toplam seyrelme (St), toplam seyrelme sonucu kıyı bölgesine ulaşması muhtemel toplam koliform (C-TC) ve fekal koliform (C-FC) olasılık dağılımları elde edilmiştir. Şekiller 4.158-4.164'de sırasıyla S1, Ze, S2, S3, St, C-TC ve C-FC parametrelerinin olasılık dağılımları verilmektedir.

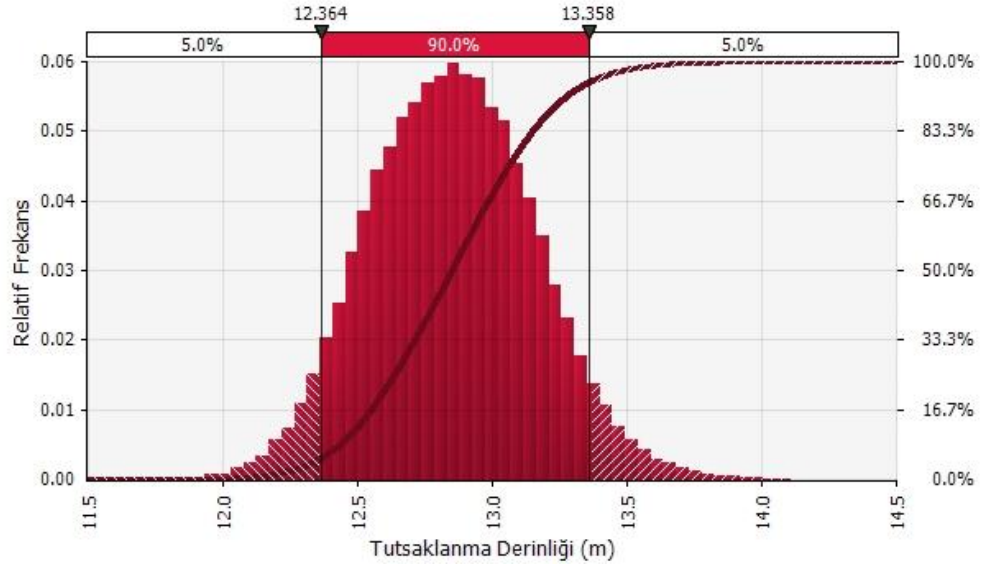


Şekil 4.158. Yaz mevsimi için birinci seyrelmenin olasılık dağılımı

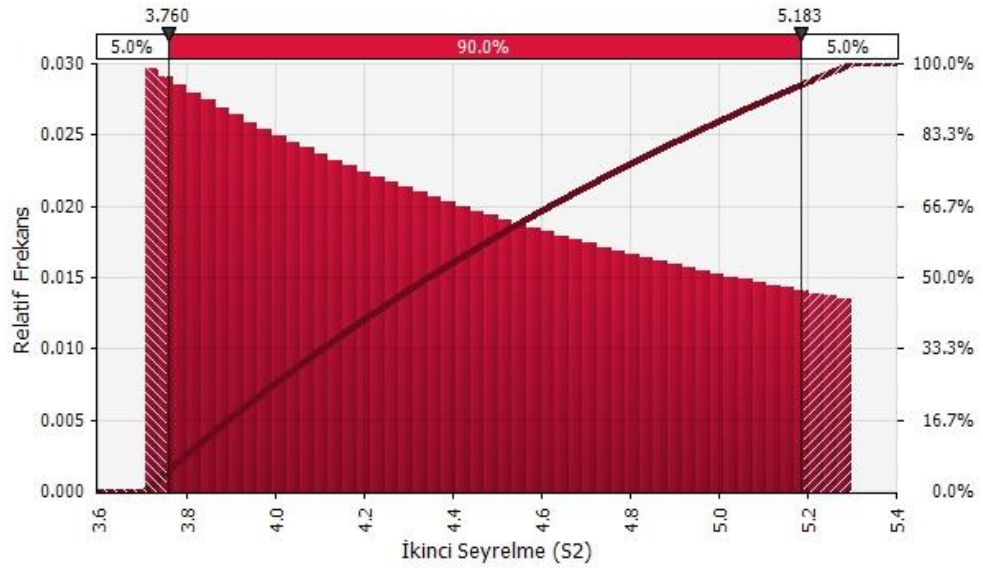
Yaz mevsiminde rastlanan yoğunluk tabakalaşması nedeniyle batmış tarla olarak tutsaklanan atıksuların sonbahar ve kış mevsimlerine kıyasla daha düşük birinci seyrelmelere uğradıkları tespit edilmiştir. Buna ilaveten, tutsaklanma derinliğinin ilkbahar mevsimindekine göre daha da derinde olması sebebiyle en düşük birinci seyrelme değerlerine yaz mevsiminde rastlanmıştır. Belirsizlik analizi sonucunda yaz mevsiminde birinci seyrelmenin %90 ihtimalle 212,5-233,5 değerleri arasında olacağı sonucuna varılmaktadır.

Şekil 4.159'da Ze değerinin olasılık dağılımı verilmektedir. Şekilden görülebileceği üzere oldukça güçlü bir yoğunluk tabakalaşması sebebiyle atıksu bulutu deşarj noktasından ancak 12 m kadar yükselebilmektedir. Belirsizlik analizi sonucunda atıksu

tarlasının üst sınırı %95 olasılıkla deşarj noktasından itibaren 13,3 m'den daha aşağıda olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu da atıksu tarlasının üst sınırının deniz seviyesinin yaklaşık 37 m altında olacağı sonucunu doğurmaktadır.

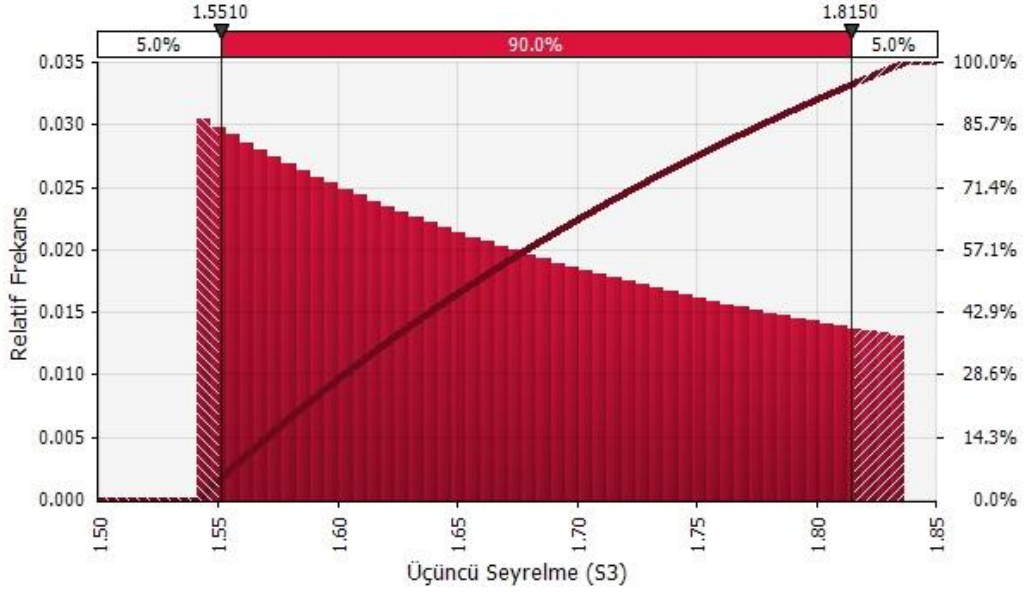


Şekil 4.159. Yaz mevsimi için Ze değerinin olasılık dağılımı



Şekil 4.160. Yaz mevsimi için ikinci seyrelmenin olasılık dağılımı

Yaz mevsiminde yoğunluk tabakalaşmasının etkisiyle batmış tarla olarak tutsaklanan atıksu bulutu yatay hareketini derinlerde yüzeye göre oldukça düşük olan akıntı hızları eşliğinde gerçekleştirecektir. Bu sebeple ikinci seyrelme bu mevsimde sonbahar ve kış mevsimlerinden daha yüksek değerler almaktadır. Belirsizlik analizi sonucunda ikinci seyrelmenin bu mevsimde %90 ihtimalle 3,7-5,2 değerleri arasında değişeceği ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.160).

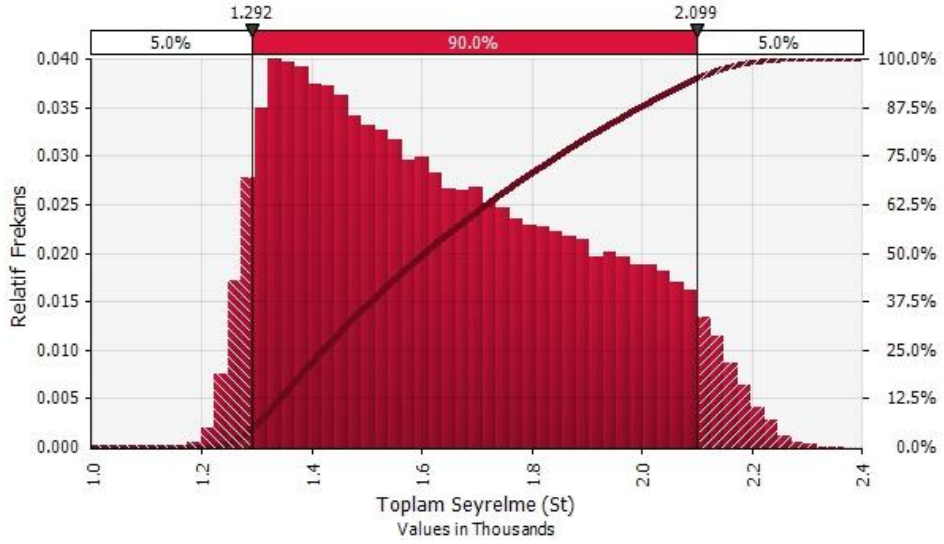


Şekil 4.161. Yaz mevsimi için üçüncü seyrelmenin olasılık dağılımı

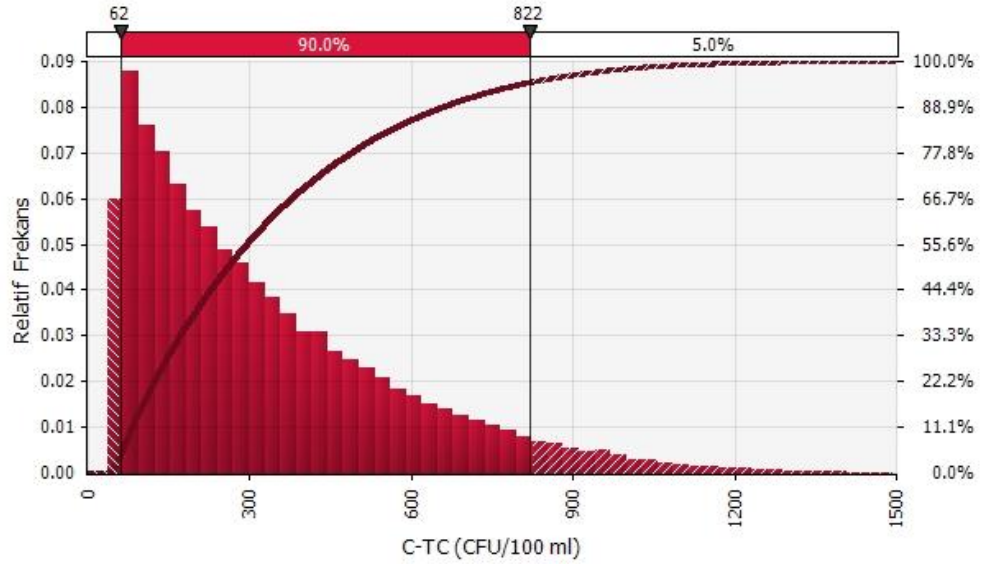
Atıksu bulutunun deniz yüzeyinin ortalama 37 m kadar altında kalması ve bu mevsimde Secchi derinliğinin de ortalama 18 m civarında olması sebebiyle bakteriyel inaktivasyon prosesi ışıksız bölgede gerçekleşmekte ve bu nedenle de oldukça düşük bir aralık içinde değişmektedir. Belirsizlik analizi sonucunda bu mevsimde üçüncü seyrelmenin % 90 olasılıkla 1,5-1,8 değerleri arasında kalacağı tespit edilmiştir (Şekil 4.161).

Yaz mevsiminde ilkbahar mevsimine benzer olarak düşük birinci ve üçüncü seyrelme değerlerinden ötürü toplam seyrelme değeri de sonbahar ve kış mevsimlerine oranla daha düşük olmaktadır. Yaz mevsiminde toplam seyrelmenin %95 olasılıkla 2.099 değerinden daha düşük olacağı beklenmektedir. Düşük toplam seyrelme değeri neticesinde, yaz mevsiminde batmış tarla derinliğinde nispeten yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanması beklenmektedir. Ancak yaz mevsimine has güçlü

yoğunluk tabakalaşması etkisiyle atıksuyun deniz yüzeyine çıkması beklenmemekte, dolayısıyla söz konusu yüksek bakteri konsantrasyonunun rekreasyon faaliyetlerinin yapıldığı üst bölgeler için bir tehdit oluşturmayacağı düşünülmektedir.

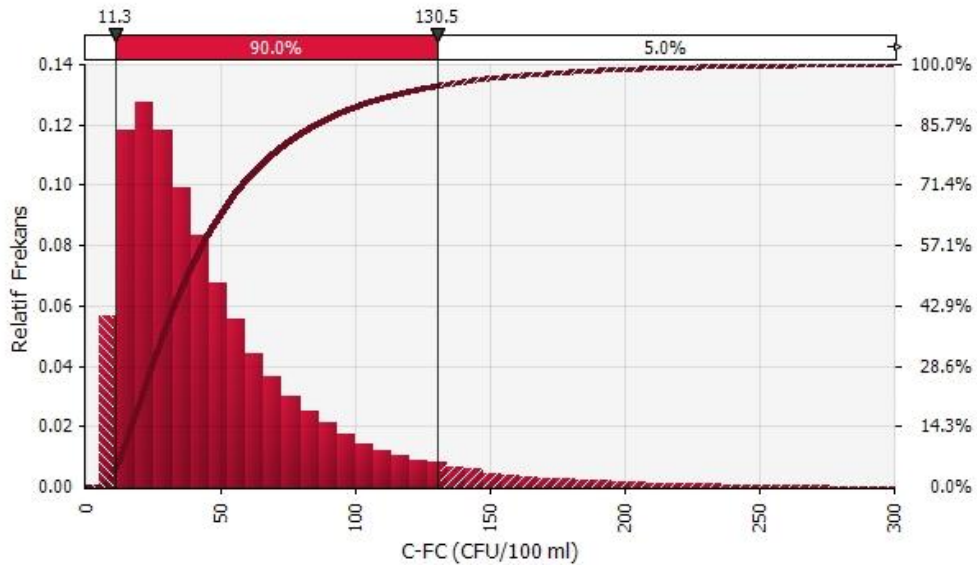


Şekil 4.162. Yaz mevsimi için toplam seyrelmenin olasılık dağılımı



Şekil 4.163. Yaz mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek TC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

Yaz mevsiminde deşarj noktasına yaklaşık 2500 m uzaklıktaki toplam koliform bakteri konsantrasyonu % 95 olasılıkla 822 CFU/100 ml değerinden küçük olmaktadır. Bu değer de Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY 2008) rekreasyon amacıyla kullanılan kıyı suları için TC limiti olan 1000 CFU/100 ml değerinin altında kalmaktadır (Şekil 1.163). Benzer şekilde fekal koliform bakteri sayısı da %95 ihtimalle 130 değerinin altında (Şekil 1.164) olup bu değer de yine aynı yönetmelikte FC limiti olan 200 CFU/100 ml değerinin altında olmaktadır.



Şekil 4.164. Yaz mevsimi için 2500 metre uzaklıkta bulunabilecek FC bakteri sayılarının olasılık dağılımı

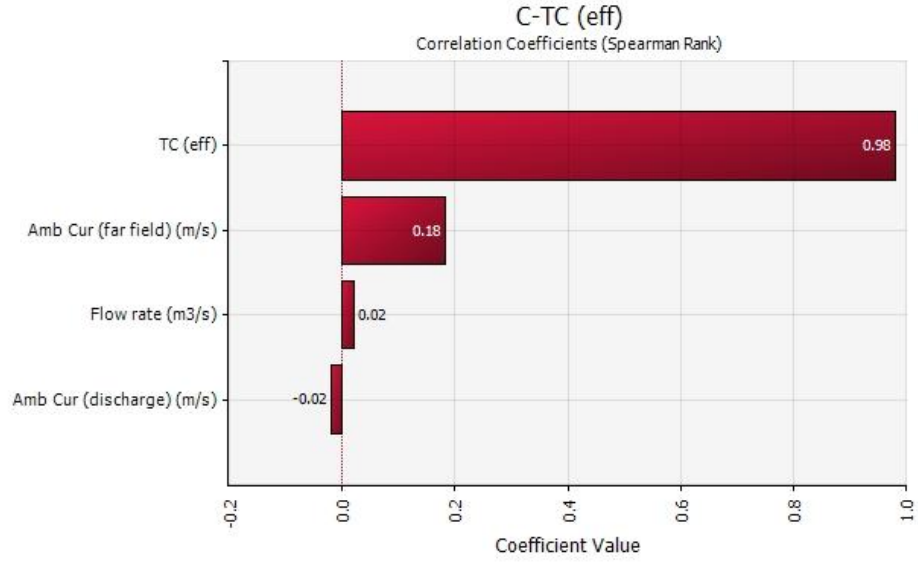
4.7.4.3. Yaz mevsimi hassasiyet analizi

Yaz mevsiminde deniz ortamında bulunabilecek TC konsantrasyonlarının belirsizlik analizine ek olarak, TC konsantrasyonu üzerine etkisi olan parametrelerin etki derecelerini belirlemek üzere hassasiyet analizi yapılmıştır. Hassasiyet analizinde daha önceki mevsimlerde olduğu gibi Spearman korelasyonu yöntemi kullanılarak parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonu incelenmiştir. Çizelge 4.97’de belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi, Şekil 4.165’de ise TC parametresi üzerinde etkili olan parametrelerin sıralamalı korelasyonları verilmektedir.

Çizelge 4.97. Belirsizlik analizinde kullanılan parametrelerin korelasyon matrisi

Parametre	C-TC	ST	S3	S2	S1	Ze
TC ₀	0.981	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Akıntı Hızı (uzak alan, m/s)	0.184	-0.983	-1	-1	n/a	n/a
Debi (m ³ /s)	0.021	-0.116	n/a	n/a	-0.623	0.693
Akıntı Hızı (deşarj derinliği, m/s)	-0.019	0.132	n/a	n/a	0.757	-0.691

Yaz mevsimindedeşarj edilen atıksudaki koliform konsantrasyonu ve birinci seyrelmeyi etkileyen parametrelerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu mevsimde atıksuyun karanlık ortamda tutsaklanmasından ötürü bakteriyel inaktivasyon hızı deterministik olarak kullanılmış ve belirsizlik analizine dahil edilmemiştir. Karanlık ortamda oldukça yavaş ilerleyen bakteriyel inaktivasyon prosesi sonucunda da üçüncü seyrelme değerlerinin ihmal edilebilecek düzeylerde olduğu analizler sonucunda tespit edilmiştir. Bu dönemde birinci seyrelme prosesinde hem debi, hem dedeşarj seviyesindeki akıntı hızı olmak üzere iki parametre etkili olmaktadır. Bu iki parametreden,deşarj seviyesindeki akıntı hızının deniz ortamındaki koliform konsantrasyonu ile korelasyonu daha yüksektir. İkinci seyrelme prosesinde tüm mevsimlerde olduğu gibi, atıksuyun yatay düzlemde hareketini sağlayan akıntı hızı, etkin olan tek parametre olarak belirlenmiştir. Üçüncü seyrelme prosesinde de k_d değerinin belirsizlik analizi dışında bırakılmasına bağlı olarak, yatay düzlemdeki hareketi sağlayan akıntı hızı etkin olan tek parametredir. Tutsaklanma derinliğini temsil eden (Ze) parametresi de birinci seyrelmeyi etkileyen debi vedeşarj seviyesindeki akıntı hızı parametrelerinden etkilenmektedir. Bu parametrenin debi vedeşarj debisi vedeşarj seviyesindeki akıntı hızı ile korelasyonu eşittir. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonlarının tahmini açısından en yüksek korelasyon atıksu içindeki başlangıç toplam koliform konsantrasyonu, en düşük korelasyon isedeşarj seviyesindeki akıntı hızı için elde edilmiştir. Deniz ortamındaki koliform konsantrasyonlarının tahmini açısından en yüksek korelasyon atıksu içindeki koliform konsantrasyonu, en düşük korelasyon isedeşarj debisi için elde edilmiştir.

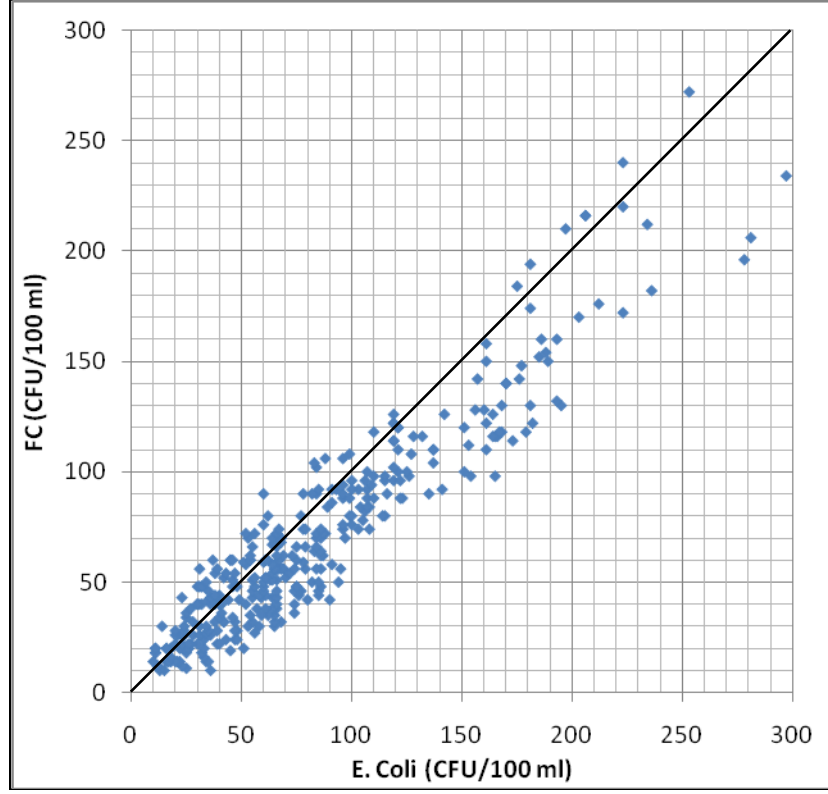


Şekil 4.165. Deniz ortamındaki toplam koliform konsantrasyonunun belirsiz parametrelerle sıralamalı korelasyonu

4.8. Risk Analizi

Tez çalışması kapsamında yapılan risk analizi için hedef organizma Enteropatojenik *E. coli* (EPEC) olarak seçilmiş ve *E. coli*'nin bu virotipi için beta dağılım parametreleri (α , β) literatürden elde edilmiştir. Bu kapsamda Enteropatojenik *E. coli* (EPEC) virotipi için beta dağılım parametreleri α ve β sırasıyla 0,221 ve $3,11 \times 10^6$ olarak alınmıştır (Strachan vd 2005).

Hurma Atıksu Arıtma Tesisi çıkışı suyundaki *E. coli* bakteri konsantrasyonları çalışma kapsamında izlenmediği için çıkış suyundaki *E. coli* bakteri konsantrasyonlarının elde edilmesi için laboratuvar ortamında yapılan T_{90} deneylerinden faydalanılmıştır. T_{90} deneylerinde her bir numune için numunedeki TC, FC ve *E. coli* sayıları her bir deney seti için analiz edilmiştir. Aynı numunedeki FC ile *E.coli* arasında bir korelasyon aranmıştır. Bu amaçla yaklaşık 360 adet numunenin FC ve *E. coli* sonuçları incelenmiş ve çıkış suyundaki FC ile *E. coli* sayıları arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.166'da FC ile *E. coli* arasındaki korelasyon matrisi verilmektedir. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu FC sayıları, elde edilen korelasyon katsayısı ile çarpılarak giriş ve çıkış suyu *E. coli* konsantrasyonları elde edilmiş ve risk analizi kapsamında kullanılmıştır.

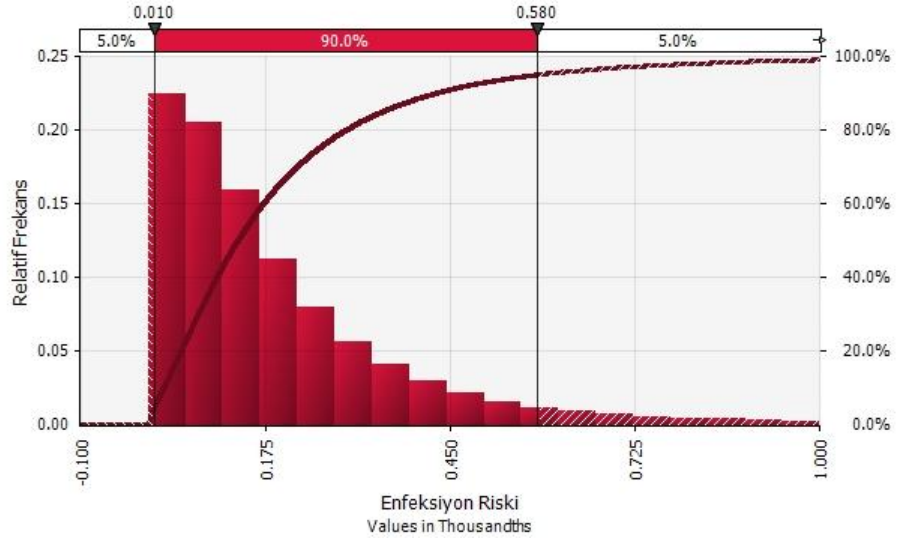


Şekil 4.166. Laboratuvar deneyleri sırasında aynı numunelerden elde edilen FC ve *E.coli* bakteri sayılarının korelasyonu

Belirsizlik analizi bölüm 3.10'da belirtilen hedef bölge için tekrarlanmış ve seyrelmeler sonucu deniz ortamında kalması beklenen *E. coli* bakterilerinin olasılık dağılımları elde edilmiştir. Bu olasılık dağılımları Beta-Poisson modelinde girdi olarak kullanılmış ve bu şekilde inceleme bölgesinde Enteropatojenik *E.coli* açısından halk sağlığı riskleri hesaplanmıştır. Risk analizi dört mevsim için ve her mevsimde iki farklı koşulu temsil etmek üzere yapılmıştır. Bu koşullardan birincisi atıksuların Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'ndeki mevcut standart arıtım sonrası deşarj edilmesi durumu, diğeri ise atıksu arıtma tesisinin herhangi bir sebeple devre dışı kalması sonucu atıksuyun arıtılmadan deşarj edilmesi durumudur. Her iki durumda da toplam seyrelme sonucunda deniz ortamında kalan *E. coli* bakterilerinin halk sağlığı açısından oluşturacağı riskler araştırılmıştır.

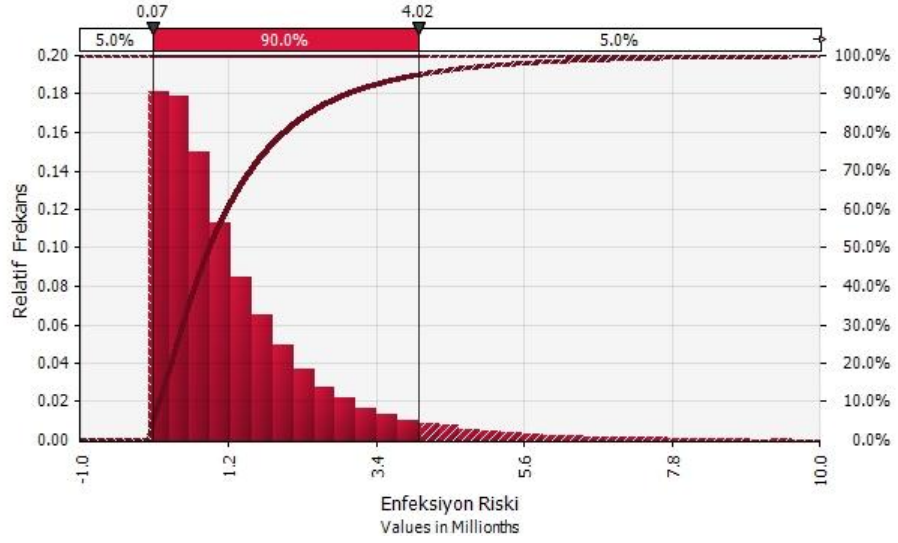
4.8.1. Sonbahar mevsimi

Sonbahar mevsiminde, deniz ortamının tam karışım durumunda olması ve dolayısıyla toplam seyrelmenin oldukça yüksek değerler alması sonucunda enfeksiyon riskleri bütün mevsimler arasında en düşük değerleri almaktadır. Şekiller 4.167 ve 4.168'de arıtılmadan deşarj ve standart arıtım sonrası deşarj halleri için Sıçan Adası civarında deşarj kaynaklı Enteropatojenik *E.coli*'lerin sebep olduğu enfeksiyon riskinin olasılık dağılımları verilmektedir.



Şekil 4.167. Sonbahar mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı

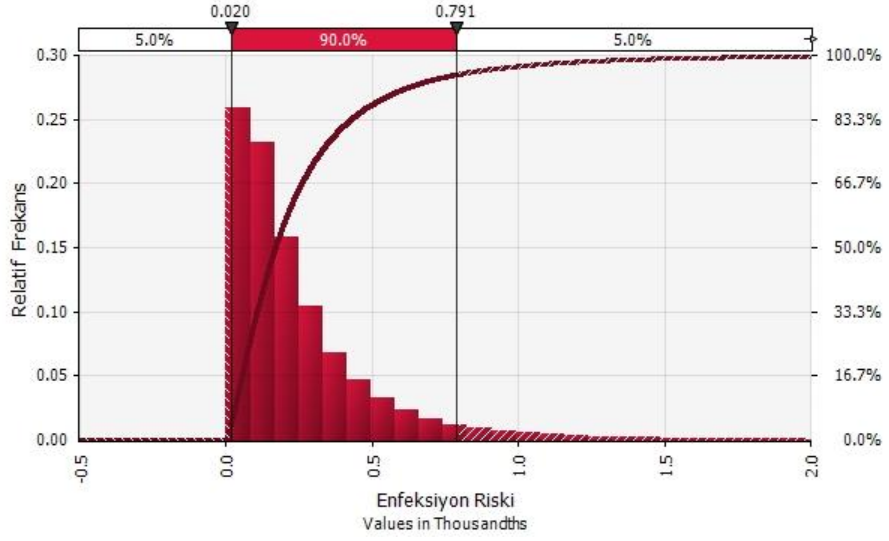
Sonbahar mevsiminde, arıtılmadan deşarj yapılması durumunda maksimum enfeksiyon riski binde birden daha küçük iken (0,58/1000), standart arıtım uygulandıktan sonra deşarj yapılması durumunda bu risk milyonda dörtten daha düşük değerler almaktadır. Standart arıtımın sürekliliği sağlandığında halk sağlığı açısından enfeksiyon riskinin oldukça düşük mertebelerde olduğu değerlendirilmektedir.



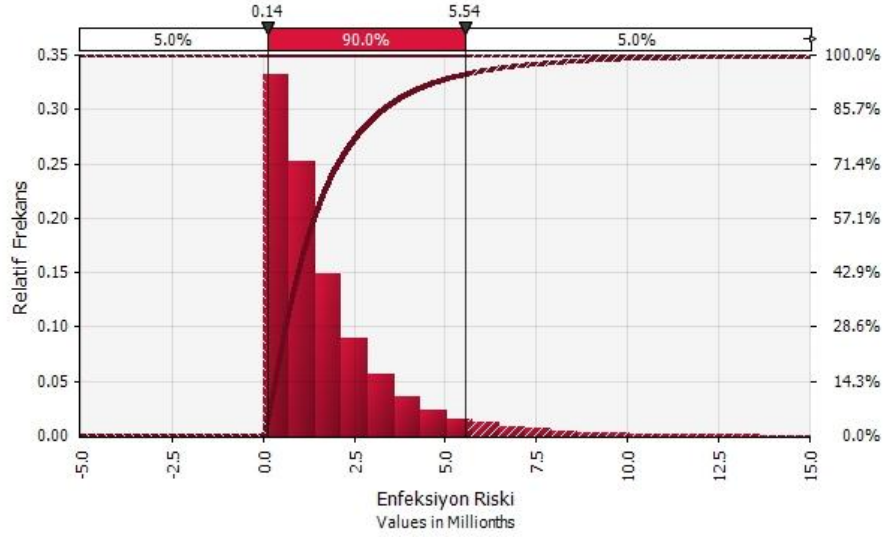
Şekil 4.168. Sonbahar mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarj durumunda Sığan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı

4.8.2. Kış mevsimi

Kış mevsiminde deniz ortamının tam karışım durumunda olduğu tespit edilmiş ve toplam seyrelmenin sonbahar mevsimindeki düzeyde olmasa da oldukça yüksek değerler aldığı sonucuna varılmıştır. Bu durumda kış mevsiminde enfeksiyon riskleri sonbahar mevsimindeki duruma benzerlik göstermektedir. Şekiller 4.169 ve 4.170’de arıtılmadan deşarj ve standart arıtım sonrası deşarj halleri için Sığan Adası civarında deşarj kaynaklı Enteropatojenik *E.coli*’lerin sebep olduğu enfeksiyon riskinin olasılık dağılımları verilmektedir.



Şekil 4.169. Kış mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı

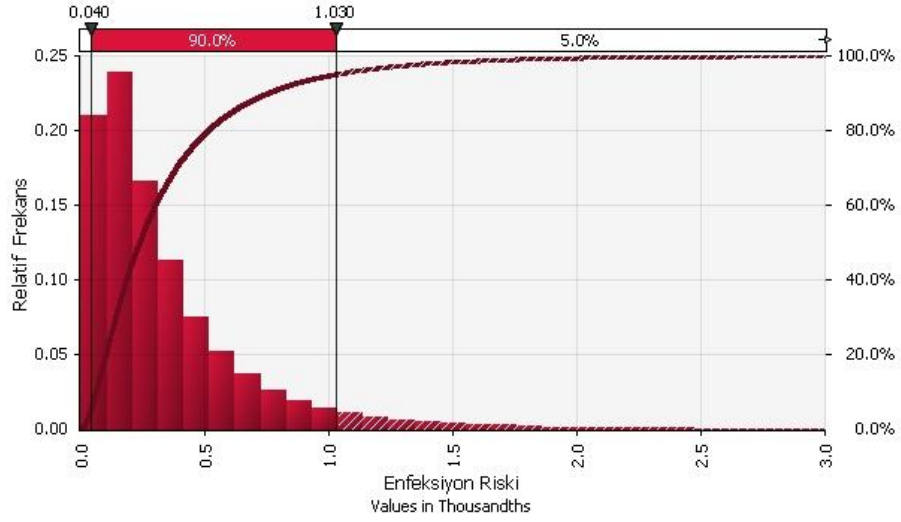


Şekil 4.170. Kış mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı

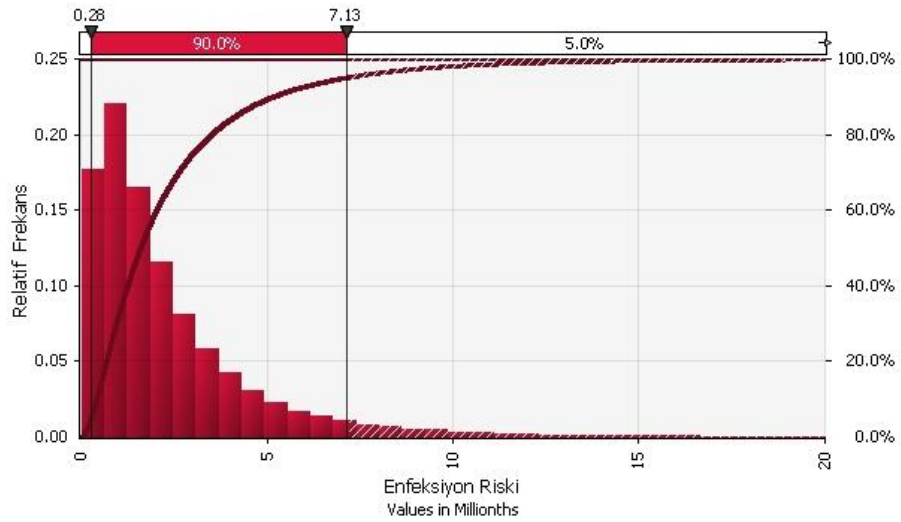
Kış mevsiminde arıtılmadan deşarj yapılması durumunda maksimum enfeksiyon riski binde birden daha küçük (0,79/1000) olarak belirlenmiştir. Standart arıtım uygulandıktan sonra deşarj yapılması durumunda bu risk milyonda birden daha düşük değerler almaktadır. Rekreatyonel faaliyetlerin kış mevsiminde oldukça seyrek yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda halk sağlığı açısından enfeksiyon riskinin kış mevsiminde de oldukça düşük mertebelerde olduğu sonucuna varılmaktadır.

4.8.3. İlkbahar mevsimi

İlkbahar mevsiminde, deniz ortamında derinlik boyunca yoğunluk değişiminin etkisi belirlenmiştir. Bu durumda atıksu bulutunun deniz yüzeyi altında tutsaklanması sonucu daha düşük seyrelme değerleri söz konusudur. Tabakalaşmadan ötürü atıksu bulutunun yüzeye çıkmayacağı düşünülse de risk analizi açısından seçilen Sıçan Adası bölgesinin batimetrik özelliklerinden ötürü atıksu bulutunun adadan yansıyarak deniz yüzeyine çıkması durumu en riskli durum olarak belirlenmiştir. Böyle bir durumda bölgede söz konusu olabilecek halk sağlığı riski değerlendirilerek, risk analizi bu koşulu temsil etmek üzere gerçekleştirilmiştir. Şekiller 4.171 ve 4.172 artırılmadan deşarj ve standart arıtım sonrası deşarj halleri için Sıçan Adası bölgesinde atıksu deşarjı kaynaklı Enteropatojenik *E.coli*'lerin sebep olduğu enfeksiyon riskinin olasılık dağılımları verilmektedir.



Şekil 4.171. İlkbahar mevsiminde atıksuların arıtılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı



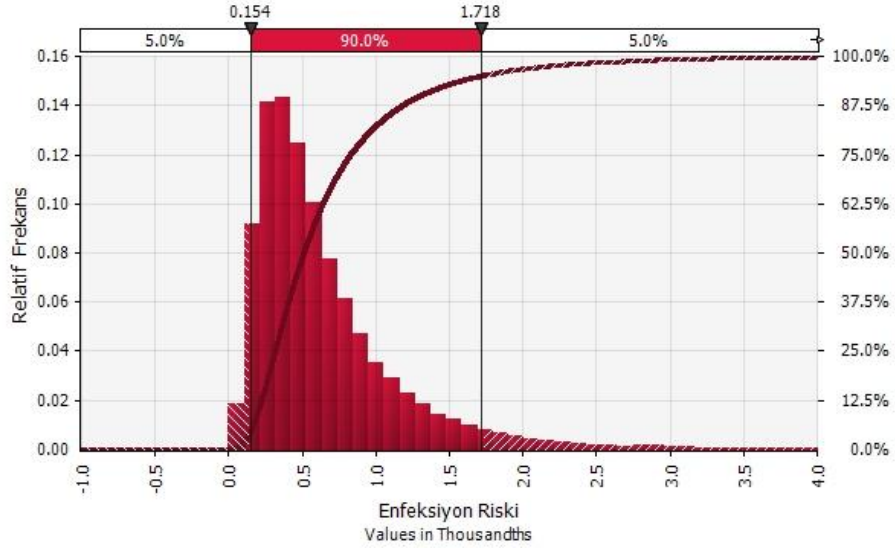
Şekil 4.172. İlkbahar mevsiminde atıksuların standart arıtılması sonrası deşarj durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riskinin olasılık dağılımı

İlkbahar mevsiminde tabakalaşma durumunun hakim olduğu ve atıksuyun normal şartlarda deniz yüzeyine kadar çıkmadığı hem modelleme çalışmalarıyla hem de arazide yapılan örnekleme çalışmalarıyla belirlenmiştir. Ancak seçilen inceleme bölgesi ada oluşumundan ötürü batimetrik olarak farklılık göstermekte ve bu bölgede batimetride ani değişiklikler gözlenmekte ve derinlik 7 m gibi değerlere kadar düşebilmektedir. Böyle bir durumda atıksu bulutunun hakim akıntılar altında adaya doğru yönelmesi ve burada akümüle olması durumunda akıntı çevrimleri ve türbülans etkisiyle deniz yüzeyine çıkmasının olası olduğu düşünülmektedir. Atıksunun deniz yüzeyine çıktığı varsayımıyla yapılan risk analizi sonucunda, arıtım yapılmadan deşarj durumunda maksimum enfeksiyon riski yaklaşık binde bir, standart arıtım sonrası deşarj durumunda ise bu riskin milyonda yedi civarında olduğu sonucuna varılmıştır.

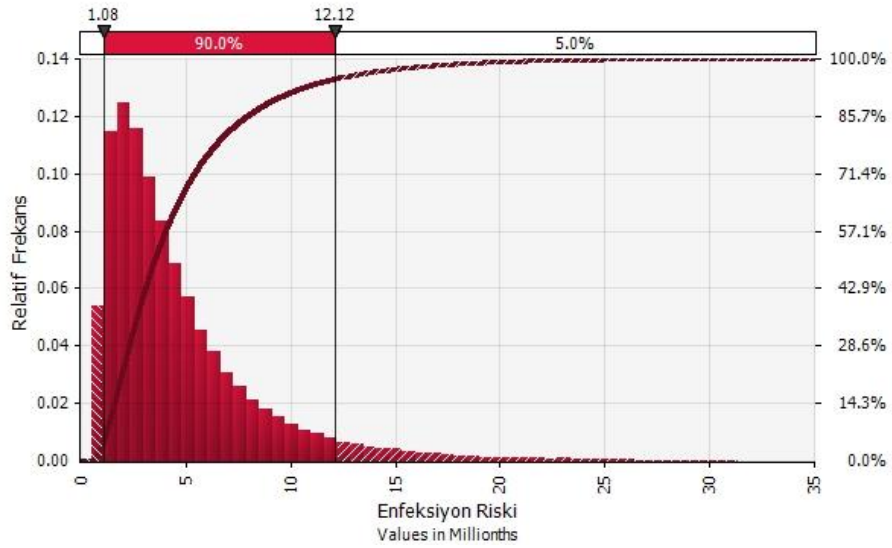
4.8.4. Yaz mevsimi

Yaz mevsiminde, ilkbahar mevsiminden çok daha güçlü olan bir yoğunluk tabakalaşması durumunun varlığı belirlenmiştir. Belirsizlik analizi sonucunda yaz mevsiminde atıksu bulutunun üst sınırının % 90 olasılıkla deniz yüzeyinin 35-36,5 m altında olduğu değerlendirilmiştir. Bu durumda toplam seyrelmenin en düşük olduğu mevsim yaz mevsimi olarak öne çıkmaktadır. Yaz mevsiminde atıksu bulutunun tabakalaşmadan ötürü deniz yüzeyine çıkmayacağı değerlendirilmektedir. Ancak özellikle yaz mevsiminde inceleme bölgesinde rekreasyonel faaliyetlerin önemli ölçüde

arttığı ve bölge batimetrisinin etkisiyle atıksu bulutunun adadan yansıyarak yüzeye çıkma olasılığı göz önünde bulundurulduğunda halk sağlığı açısından en riskli durumun yaz mevsiminde ortaya çıkabileceği sonucuna varılmaktadır. Yapılan risk analizi sonuçları Şekiller 4.173 ve 4.174’de sunulmaktadır.



Şekil 4.173. Yaz mevsiminde atıksuların artırılmadan deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riski



Şekil 4.174. Yaz mevsiminde atıksuların standart artırılması sonrası deşarjı durumunda Sıçan Adası civarında enfeksiyon riski

Yaz mevsimi arazi örnekleme çalışmaları sırasında bakteriyolojik kirliliğe yüzeyin yaklaşık 30 m altından itibaren rastlanmış, buna ilaveten yapılan modelleme çalışması sonucu elde edilen verilerde bu durumu desteklemiştir. Özellikle rekreasyonel faaliyetlerin çok yoğun olduğu yaz mevsiminde atıksuyun söz konusu bölgede yüzeye çıkması diğer mevsimlere göre çok daha önemli olduğu değerlendirilmektedir. Yaz mevsiminde tutsaklanma derinliğinin diğer mevsimlere göre çok daha düşük olması birinci seyrelmenin değerini önemli oranda düşürmekte, bu da deniz ortamında daha fazla konsantrasyonlarda bakteri kalması anlamına gelmektedir. Bu şartlar altında yaz mevsiminde arıtma yapılmadan deşarj durumu en kötü hal senaryosu olarak değerlendirilmektedir. Bu şartlar göz önüne alınarak yapılan risk analizi sonucunda maksimum enfeksiyon riskinin arıtım yapılmadan deşarj halinde binde iki civarında olduğu, standart arıtım durumunda ise bu değerın milyonda oniki değerinden daha düşük olduğu sonucu elde edilmiştir. Çizelgeler 4.98 ve 4.99’da arıtma durumuna göre mevsimler için ayrı ayrı hesaplanan enfeksiyon risklerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri ile % 5, % 95 güven aralıkları için değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.98. Arıtma yapılmadan deşarj durumunda inceleme bölgesindeki enfeksiyon riskleri

Mevsim	Min	Ort	Maks	Güven aralığı	
				5%	95%
Sonbahar	8,05E-08	1,94E-04	2,78E-03	1,00E-05	0,58E-03
Kış	8,48E-08	2,59E-04	4,50E-03	1,98E-05	0,79E-03
İlkbahar	2,28E-06	3,47E-04	5,17E-03	4,00E-05	1,03E-03
Yaz	5,34E-07	6,68E-04	5,18E-03	1,54E-04	1,72E-03

Çizelge 4.99. Arıtım sonrası deşarj durumunda inceleme bölgesindeki enfeksiyon riskleri

Mevsim	Min	Ort	Maks	Güven aralığı	
				5%	95%
Sonbahar	7,72E-10	1,32E-06	1,55E-05	7,01E-08	4,02E-06
Kış	1,46E-09	1,80E-06	3,27E-05	1,42E-07	5,54E-06
İlkbahar	2,17E-08	2,38E-06	3,08E-05	2,84E-07	7,13E-06
Yaz	4,85E-07	4,63E-06	3,14E-05	1,08E-06	12,1E-06

Bütün mevsimler birlikte değerlendirildiğinde Enteropatojenik *E.coli* açısından en yüksek halk sağlığı riskinin bölgedeki rekreasyonel faaliyetlerin en yoğun olduğu yaz mevsiminde ortaya çıkabileceği görülmektedir. Yaz mevsiminde, atıksuların arıtılmadan değarjı ve yüzeye ulaşması durumunda enfeksiyon riski %95 olasılıkla yaklaşık 0,002 değerinden daha düşük olarak ortaya çıkmaktadır. Atıksuyun standart arıtım sonucu değarjı durumunda bu risk oldukça düşük seviyelere inmekle birlikte, %95 olasılıkla $12,12 \times 10^{-6}$ değerinden daha düşük olduğu sonucuna varılmaktadır.

5. SONUÇ

Tez çalışması kapsamında derin deniz deşarj sistemleri ile deniz ortamına bırakılan atıksulardan kaynaklanan bakteri konsantrasyonlarına yönelik seyrelme proseslerinin tahmin edilmesindeki belirsizlikler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen temel sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Çalışma bölgesinde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişiminin belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmalarda sonbahar ve kış mevsimlerinde derinlik boyunca homojen sıcaklık ve tuzluluk değerleri ile tam karışım olduğu gözlenmiştir. İlkbahar mevsiminde deniz yüzeyindeki ani tuzluluk değişimine bağlı olarak ilk 10 m’de yüksek yoğunluk gradyanı, 10 m’den daha derinlerde ise düşük yoğunluk gradyanı ile karakterize olan nonlinear bir yoğunluk tabakalaşması gözlenmiştir. Yaz mevsiminde ise derinlik boyunca belirgin sıcaklık ve yoğunluk değişimleri dikkati çekmektedir. Arazide ölçülen Secchi disk derinlikleri de mevsimlere göre büyük değişimler sergilemekte olup kış mevsiminde 5 m ile en düşük değerin alırken ilkbahar mevsiminde ise 20 m’yi aşan derinliklere ulaşmıştır.
2. Bakteriyel inaktivasyon hızının laboratuvar ortamında belirlenmesi çalışmaları kapsamında karanlık ortamdaki deneylerde kış dönemi koşullarını yansıtan deneysel konfigürasyonlarda T_{90} değeri 88 ile 119 saat arasında değişirken, yaz dönemi koşullarında ise 17 ile 60 saat arasında değişmektedir. Laboratuvar denemeleri sonuçlarına göre, düşük tuzluluk ve sıcaklık değerlerinde T_{90} süresi belirgin bir düzeyde artış göstermektedir. Laboratuvar ortamında güneş simülatörü kullanılarak gerçekleştirilen ışıklı ortam deneylerinde, 100-800 W/m^2 arasında değişen ışık şiddetleri için T_{90} süreleri belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda 800 W/m^2 olan maksimum deneysel ışık şiddetinde T_{90} değerinin 20 dk’ya kadar düştüğü gözlenirken 100 W/m^2 olan minimum ışık şiddetinde ise bu değer 72 dk civarında elde edilmiştir. Karanlık ve ışıklı ortam deney sonuçları kıyaslandığında, bakteriyel inaktivasyon prosesinin çok düşük ışık şiddetleri altında dahi karanlık ortamdakinden çok daha yüksek hızlarda gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca ışık dalga boylarının T_{90} süresi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı deney

sonuçlarına göre doğal güneş spektrumunun en düşük yoğunlukta ışıma şiddetine sahip bölgesi olan UVB bölgesinin bakteriyel inaktivasyonda en önemli ışık dalga boyu aralığı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte görünür ışığın mavi bandı olarak bilinen 390-480 nm aralığının dışında kalan görünür ışık dalga boylarının (480-700 nm) inaktivasyon proseslerindeki etkisinin de oldukça düşük mertebelerde olduğu belirlenmiştir.

3. Antalya Körfezi'ne deşarj edilen atıksu karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla Ağustos 2008 – Ağustos 2009 dönemi içinde Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nin giriş ve çıkış suyundan haftalık periyotlarla alınan numunelerde, tesis girişindeki toplam koliform konsantrasyonu 10^7 CFU/100 ml, fekal koliform konsantrasyonu ise 10^6 - 10^7 CFU/100 ml olarak belirlenmiştir. Tesis çıkışındaki toplam koliform konsantrasyonu 10^4 - 10^5 CFU/100 ml, fekal koliform konsantrasyonu ise 10^3 - 10^4 CFU/100 ml olarak gözlenmiştir. Deşarj edilen atıksu debisinin yıl içinde 59.000-122.000 m³/gün aralığında değiştiği görülmektedir.
4. Sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen bakteriyolojik su kalite izleme çalışmalarında, deniz deşarj hattı üzeri ve çevresindeki noktalardan alınan deniz suyu numunelerinde sadece S1 nolu yakın bölge istasyonunda diğer istasyonlara ve derinliklere göre çok daha yüksek sayıda koliform bakteri belirlenmiştir. Kış mevsimi çalışmalarında, tüm istasyonlarda yüksek sayıda toplam ve fekal koliform bakterisine rastlanmış olup bakteriyolojik kirliliğin istasyonlar genelinde yüzeyden 5 metre derinlikten itibaren artış gösterdiği belirlenmiştir. İlkbahar mevsimi çalışmalarında bu dönemde Secchi disk derinliğinin yaklaşık 20 metre ölçülmüş olmasına da bağlı olarak hem deniz yüzeyi, hem de derinliklerinde tespit edilen toplam ve fekal koliform bakterilerinin düşük sayıda bulunmasında derinlere kadar nüfuz eden güneş ışınlarının etkili olduğu düşünülmektedir. Yaz mevsimi çalışmalarında ise deniz yüzeyi ve 30 metre derinliklere kadar koliform bakteri gözlenmemiş olup 30 ila 50 metreler arasında bakteriyel kirliliğin yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde deniz ortamında derinlik boyunca gözlenen yoğunluk tabakalaşması atıksuların tutsaklanmasına neden olmaktadır.

5. Derinlik boyunca akıntı hız ve yönlerinin tespit edilmesi çalışmaları kapsamında yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, sonbahar mevsiminde hakim rüzgar yönünün güney yönü olduğu tespit edilmiştir. Difüzörün bulunduğu su derinliklerinde akıntılarının genellikle güneyden kuzeye doğru olduğu ve derinlik boyunca yaklaşık olarak *yüzeyde 17 cm/s akıntı hızlarından, tabanda 3 cm/s akıntı hızlarına* azalma olduğu görülmüştür. Kış dönemi ölçümlerinde, rüzgarların en sık estiği yön Güney Doğu (GD)-Güney (G) yön aralığı olup, difüzör etrafında *yüzey tabakası hızları 25-20 cm/s'den* yüzeyden 20 m aşağıda 3 cm/s'ye azalmaktadır. İlkbahar mevsimi ölçümleri sırasında rüzgarların en sık estiği yön Güney Doğu (GD)-Güney (G) yön aralığı olup, difüzör etrafında *yüzey tabakası hızları ortalama 25 cm/s'den,* yüzeyden 20 m aşağıda 5 cm/s'ye azalmaktadır. Yaz mevsimi ölçümleri sırasında rüzgarların en sık estiği yön Doğu (D)-Güney (G) yön aralığı olup, *difüzör etrafında yüzey tabakası hızları ortalama 25 cm/s'den,* yüzeyden 20 m aşağıda 3 cm/s'ye azalmaktadır (Muhammetoğlu vd 2011).
6. Seyrelme tahminlerinin elde edilmesi amacı ile HİDROTAM-3 modeli ile çalışma bölgesi için hidrodinamik model uygulaması gerçekleştirilmiştir. Seyrelme tahminlerinin elde edilmesi aşamasında Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından desteklenmekte olan Visual Plumes yazılımından yararlanılmıştır. Tüm mevsimlere yönelik akıntı ve seyrelme tahminleri incelendiğinde, tez çalışması kapsamında tanımlanan yöntemlerin başarı ile uygulandığı sonucuna varılabilmektedir. Genel olarak deniz ortamında atıksu bulutunun tutsaklandığı derinlikler ve atıksu bulutu içinde kalan yüksek bakteri yoğunluğu içeren bölgeler model tahminleri ve ölçüm sonuçları açısından büyük uyum göstermektedir. Bu duruma ek olarak bakteriyolojik izleme dönemlerindeki etkin rüzgar hızları ve yönleri de dikkate alınarak oluşturulan model uygulamaları ile dört farklı mevsime ait alıcı ortam koşullarındaki bakteriyolojik kirlilik düzeyleri büyük bir doğrulukla tahmin edilmiştir. Benzer şekilde deşarj etkisinden uzakta kalan ve düşük düzeyde bakteriyolojik kirlilik izlenen örnekleme noktalarında da ölçüm ve tahminler açısından benzerlikler elde edilmiştir. Ayrıca çalışma bölgesinde oluşabilecek ekstrem rüzgar koşullarında ve atıksu arıtma tesisinin çalışma koşullarındaki değişiklikler altında deşarj kaynaklı bakteriyolojik

kirliliğin ne seviyelerde olacağını tahmini açısından HİDROTAM-3 ve Visual Plumes modellerinin kullanımıyla yönetim senaryoları uygulamaları yapılmıştır. Özellikle uzak alan seyrelmesi açısından oldukça önemli bir parametre olan akıntı hızının ekstrem rüzgarlar altında ne şekilde değişeceğini ve kirliliğin kritik bölgelere bu şekilde taşınıp taşınmayacağı araştırılmıştır. Buna ilaveten atıksu arıtma tesisi çıkış suyu bakteri konsantrasyonundaki değişikliklerin rekreasyonel açıdan önemli bölgelerde bakteriyolojik kirliliğe sebep olup olmayacağı da bu yönetim senaryoları yardımıyla irdelenmiştir. Yönetim senaryoları sonucunda, arıtma tesisindeki mevcut arıtım düzeyinde yapılan arıtma sonrası deşarj durumunda rekreasyonel sahalarda bakteri konsantrasyonunun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (SKKY 2008) belirtilen limitlerin altında kalacağı, ancak tesiste herhangi bir aksama sebebiyle ön arıtım sonrası deşarj durumunda bu limitlerin önemli ölçüde aşılabacağı sonucuna varılmaktadır.

7. Belirsizlik analizi çalışmaları, deniz deşarj sistemi ile alıcı ortama bırakılan atıksuların dört farklı mevsim koşullarında, seyrelme proseslerine etki eden parametrelerin tek tek irdelenmesi ile deşarj noktasına yaklaşık 2500 m mesafede olan Topçam sahili hedef alınarak yürütülmüştür. Sonbahar mevsiminde toplam ve fekal koliform bakteri konsantrasyonları %95 olasılıkla 308 ve 45 CFU/100 ml değerlerinin altında olmaktadır. Sonbahar mevsiminde başlangıç TC konsantrasyonunun ve k_d değerinin seyrelme prosesleri açısından en etkili parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. Kış mevsiminde toplam ve fekal koliform bakteri konsantrasyonu % 95 olasılıkla 426 ve 70 CFU/100 ml değerlerinin altındadır. Kış mevsiminde k_d ve akıntı hızı en etkili parametrelerdir. İlkbahar mevsiminde toplam ve fekal koliform bakteri konsantrasyonu %95 olasılıkla 420 ve 68 CFU/100 ml değerlerinin altındadır. İlkbahar mevsiminde deniz yüzeyindeki ışık şiddeti ve başlangıç TC konsantrasyonunun deniz ortamındaki TC konsantrasyonları üzerinde daha fazla önem kazandığı görülmektedir. Yaz mevsiminde toplam seyrelmenin %95 olasılıkla 2099 değerinden daha düşük olacağı beklenmektedir. Toplam seyrelme değerinin düşük olması neticesinde, yaz mevsiminde batmış tarla derinliğinde nispeten yüksek bakteri konsantrasyonlarına rastlanması beklenmektedir. Ancak yaz mevsimine özgü güçlü yoğunluk tabakalaşması etkisiyle

atıksuyun deniz yüzeyine çıkması beklenmemekte, dolayısıyla söz konusu yüksek bakteri konsantrasyonunun rekreasyon faaliyetlerin yapıldığı üst bölgeler için bir tehdit oluşturmayacağı düşünülmektedir. Yaz mevsiminde toplam ve fekal koliform bakteri konsantrasyonu %95 olasılıkla 822 ve 130 CFU/100 ml değerlerinin altındadır. İlkbahar ve yaz dönemlerinde birinci seyrelme prosesinde debi ve deşarj seviyesindeki akıntı hızı en etkin parametreler olarak öne çıkmaktadır.

8. Deniz deşarjından kaynaklanan bakterilerin halk sağlığı açısından yaratacağı riskleri belirlemek üzere atıksu arıtma tesisi çıkış sularında yaygın olarak bulunan ve indikatör bakteri özelliği ile patojen özelliğini birlikte barındıran *E.coli* için risk analizi gerçekleştirilmiştir. Risk analizi için hedef bölge, özellikle turizm sezonunda gezi teknelerinin rekreasyon amacıyla sıkça kullandığı Sıçan Adası bölgesi olarak seçilmiş olup söz konusu bölge deşarj noktasının yaklaşık 1500 m kuzey batısında bulunmaktadır. Bütün mevsimler birlikte değerlendirildiğinde Enteropatojenik *E.coli* açısından en yüksek halk sağlığı riskinin bölgedeki rekreasyonel faaliyetlerin en yoğun olduğu yaz mevsiminde ortaya çıktığı görülmektedir. Yaz mevsiminde, atıksuların arıtılmadan deşarjı ve hedef bölgede yüzeye çıkması durumunda enfeksiyon riski %95 olasılıkla yaklaşık 0,002 değerinden daha düşük olarak ortaya çıkmaktadır. Atıksuyun standart arıtım sonucu deşarjı durumunda bu risk oldukça düşük seviyelere inmekle birlikte, %95 olasılıkla $12,12 \times 10^{-6}$ değerinden daha düşük olduğu sonucuna varılmaktadır.
9. Ülkemizde deniz deşarjları konusundaki genel ilkeler, kriterler ve diğer standartlar “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği” (SKKY 2008) kapsamında tanımlanmaktadır. Ancak bu yönetmelikte, hem kavramsal, hem de teknik bazı eksikliklerin bulunduğu düşünülmektedir. Özellikle “derin deniz deşarjı” terimine yönetmelikte yer verilmesine rağmen, bu terimin bilimsel tanımı yapılmamıştır. Belirli debi değerinin üzerindeki debiler için boru boyu/deşarj derinliği kriteri yönetmelikte tanımlanmış olsa da ani derinleşmenin oldukça sık rastlandığı ülkemiz kıyıları için bu kriterlerin pratikte uygulanabilirliği sınırlıdır. Bu nedenle öncelikli olarak “derin deniz deşarjı” teriminin mevzuatta açık bir şekilde tanımlanması ve belirtilen kriterlerin arıtma alternatifleri ile birlikte belirlenmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

10. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usüller Tebliği'nde de belirtildiği gibi, (ANONİM VIII), atıksular deşarj edildikten sonra deniz yüzeyi altında belirli bir derinlikte tutsaklanarak batmış atıksu bulutu şeklinde hareketine devam edebilirler. Böyle bir durumda söz konusu derinlikte geçerli olan T_{90} değerinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY 2008) tanımlanan T_{90} değerlerinin çok çok üzerinde olacağı tez çalışması kapsamında ortaya konmuştur. Bu sebeple batmış atıksu bulutu oluşumunun söz konusu olduğu deniz ortamlarında yönetmelikte belirtilen T_{90} değerlerinin kullanımı ile projelendirilen deşarj sistemleri önemli bakteriyolojik kirliliğe sebep olma potansiyeli taşımaktadır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için tasarım öncesi gerekli olan deniz araştırmaları yönetmelikte daha spesifik olarak belirtilmeli ve atıksuyun tutsaklanmasına yol açan yoğunluk tabakalaşmasının varlığı mevsimsel olarak mutlaka araştırılmalıdır. Yoğunluk tabakalaşmasının mevcut olduğu durumlar için yönetmelikte tutsaklanmanın gerçekleştiği derinliğe uygun bir T_{90} değeri tanımlanmalı veya koruma bölgesindeki bakteri sayıları tahmini yapılırken üçüncü seyrelmenin ihmal edilmesi sağlanmalıdır.

Antalya bölgesi içindeki yoğun turizm faaliyetleri yüksek kalitede deniz suyu kalitesi gerektirmektedir. Özellikle rekreasyonel faaliyetler açısından bakteriyolojik su kalitesi öne çıkmakta, deniz ortamındaki bakteri konsantrasyonları için risk analizi değerlendirmeleri önem kazanmaktadır. Tez çalışması kapsamında, belirli bakteri konsantrasyon seviyelerine ilişkin sağlık riskleri için değerlendirme yapılarak, atıksu deşarjlarına bağlı olarak deniz suyu kalitesinde oluşabilecek olumsuz etkilerin azaltılması için alternatif yönetim senaryoları incelenmiş ve belirli koliform bakteri seviyelerinde oluşabilecek sağlık riskleri analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, planlamacılar ve deniz deşarj sistemi tasarımcıları tarafından kullanılabilir. Bu şekilde, hedef olarak seçilen bölgelerde daha gerçekçi bakteri konsantrasyon tahminleri yapılabilecektir. Bakteri konsantrasyonlarının tahmin edilmesi, deniz suyu kalitesinin rekreasyonel faaliyetler gibi kullanımlar için bakteriyolojik açıdan standartları karşıladığının belirlenmesi açısından önemlidir. Tutsaklanmış atıksu deşarjlarının davranışı ve deniz yüzeyi altında bakteriyel yokolma prosesi ile ilgili olarak literatürde sınırlı bilgiye rastlanmaktadır. Belirsizlik analizi ile beraber yapılan modelleme çalışmaları, arazideki ve laboratuvarındaki ölçüm ve

çalışmalarla elde edilen çalışmaların sonuçları ile literatüre katkı sağlanması beklenmektedir.

İleriye yönelik çalışma önerileri ise aşağıda sunulmaktadır:

- Antalya bölgesinde gerçekleştirilen çalışmalar diğer denizlerimizde de gerçekleştirildiğinde Türkiye'ye yönelik bölgesel veriler tanımlanmış olacaktır.
- Deniz deşarjlarına yönelik seyrelme proseslerinin saha ölçütünde izlenmesi amacı ile iz maddelerin alıcı ortama deşarj edilmesi ve takibi ile farklı kalibrasyon çalışmalarının yapılabilmesi mümkündür.
- Belirsizlik ve sağlık riski analizlerinin yoğun rekreasyonel amaçlı kullanım alanlarında uygulanması ile risk azaltıcı önlemlere yönelik kararların alınması kolaylaştırılabilecektir.
- Farklı arıtım senaryolarının deşarj sistemleri ile birlikte değerlendirilmesi, arıtma kademelerinin belirlenmesinde fayda sağlayacaktır. Bu kapsamda yeni yapılacak deniz deşarjlarında senaryo analizlerinin yapılması önem kazanmaktadır.
- Deniz deşarjlarına bağlı olarak gerçekleşebilecek sağlık risklerinin incelenmesi amacı ile farklı indikatör ve patojen nitelikli mikroorganizmalar için risk değerlendirmesi yapılması önerilmektedir.
- Deniz deşarj tasarımlarında deniz ortamında yoğunluk tabakalaşmasının gözlenebileceği mevsimlerde atıksu deşarjlarının tutsaklanacağı derinliklerdeki T_{90} değerlerinin dikkate alınması yönünde mevzuatta düzenleme yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- AKAR P.J. and JIRKA G.H., 1991. CORMIX2: An expert system for hydrodynamic mixing zone analysis of conventional and toxic multiport diffuser discharges. EPA/600/3-91/073, ERL, Office of Research and Development, USEPA, Athens, GA 30613
- ALBAGIES, J., 1989. Marine Pollution: an introduction, in "Marine Pollution", Hemisphere Pub. Corp, USA
- ANG, A.H.-S. and TANG, W.H., 1984. Probability concepts in engineering planning and design. Volume II – decision, risk and reliability, John Wiley & Sons, Inc., New York
- ANONİM I, http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/denizcilik/moduller/fiziksel_osinografi.pdf
- ANONİM II, http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/contents.html
- ANONİM III, www.orlab.net/mikrobiyoloji/210011201.pdf
- ANONİM IV, 2009. Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü 2009 yılı faaliyet raporu
- ANONİM V, 2001. Hurma Biyolojik Arıtma Tesisi, Arıtma Projesi ve Deniz Deşarj Sistemi Hidrolik Modellemesi, Sistem Yapı-Zeybek İnşaat
- ANONİM VI, www.asat.gov.tr
- ANONİM VII, www.newport.com
- ANONİM VIII, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete 20.03.2010/27527
- ARAL, N., GÖNÜLLÜ, M. T., SARAL, A., 1995. Estimation of T_{90} and Bacterial Die - Off Rate Values in the Antalya Bay of Turkey. Environ. Sci. Health, A30(10):2255-2262
- AUER, M.T., and NIEHAUST, S.L., 1993. "Modeling Fecal Coliform Bacteria □I. Field and Laboratory Determination of Loss Kinetics." *Wat.Res.* Vol.27, No.4, pp 693-701.
- AYRES, P.A., 1977. Coliphages in sawage and the marine environment. In *Aquatic Microbiology*, Academic Press, 275-298

- BALAS L., 2001. Simulation of Pollutant Transport in Marmaris Bay, China Ocean Engineering, Nanjing Hydraulics Research Institute (NHRI), Cilt 15, No:4, pp.565-578.
- BALAS L., 2004. Modelling of Interaction Between Surface Waves and Mud Layer, Lecture Notes in Computer Science, Cilt 3037, pp.618-621.
- BALAS L., İNAN A., YILDIZ İ., 2006. Numerical Modelling of Coastal Currents, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3980, pp.547-555.
- BALAS L., ÖZHAN E., 2000. An Implicit Three Dimensional Numerical Model to Simulate Transport Processes in Coastal Water Bodies”. International Journal for Numerical Methods in Fluids, John Wiley and Sons Yayinevi, USA, Cilt 34, pp.307-339.
- BALAS L., ÖZHAN E., 2001. Applications of a 3-D Numerical Model to Circulations in Coastal Waters, Coastal Engineering Journal, Japan Society of Civil Engineers and Word Scientific Publications, Cilt 43, Sayı 2, pp. 99-120.
- BALAS L., ÖZHAN E., 2002. Three Dimensional Modelling of Stratified Coastal Waters, Estuarine, Coastal ve Shelf Science, Academic Press, UK, Cilt 56, pp75-87.
- BALAS L., ÖZHAN E., 2003. A Baroclinic Three Dimensional Numerical Model Applied to Coastal Lagoons, Lecture Notes in Computer Science, Cilt 2658, pp.205-212.
- BARCINA, I., GONZALEZ, J., IRIBERRI, J. and EGEEA, L. 1990. Survival strategy of Escherichia coli and Enterococcus faecalis in illuminated fresh and marine systems, Journal of Applied Microbiology, 68, 189-198.
- BAUMGARTNER, D.J., FRICK, W.E. , ROBERTS, P.J.W., 1994. Dilution Models For Effluent Discharges (Third Edition), Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.
- BELL, R.G., MUNRO, D., and POWELL, P. 1992. Modelling Microbial Concentrations from Multiple Outfalls Using Time-Varying Inputs and Decay Rates, Water Science & Technology, 25(9), pp. 181-189.
- BERKÜN, M., 2006. Atıksu Arıtma ve Deniz Deşarjı Yapıları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- BEVINGTON, P.R., ROBINSON, D.K., 1992. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. WCB/McGraw-Hill Boston USA, pp. 328.
- BITTON, G., 1999. Wastewater Microbiology. Department of Environmental Engineering Sciences, Willy-Less, Inc, 478 pp, USA.

- BLACK, R.E., LEVINE, M.M., CLEMENTS, M.L., HUGUES, T.P., BLASER, M.J. 1988. Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans, *J. Infec. Dis.*, 157, pp.472-479.
- BLENINGER, T., 2006. Coupled 3D hydrodynamics models for submarine outfalls: Environmental hydraulic design and control of multiport diffusers, *Doktora Tezi*, Institute of Hydromecanics, University of Karlsruhe
- BOGARDI, I., DUCKSTEIN, L., 1978. Input for a stochastic control model of P-loading, *Ecological Modelling*, No.4,173-195
- BOSCH, A., SANCHEZ, G., LE GUYADER, F., HAUGARREAU, L., PINTO, R. 2001. Human enteric viruses in Coquina clams associated with large hepatitis A outbreak, *Water Science & Technology*, 43, pp. 61-65.
- BROOKS, N., 1960. Dispersion in Hydraulic and Coastal Environments, W. M. Keck Lab. Of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Rep. KH-R-29
- BROWN, L.C. and BARNWELL, T.O., 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual, Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
- CAMPOS, C., 2008. New Perspectives on Microbiological Water Control for Wastewater Reuse, *Desalination*, 218, pp. 34-42
- CANTERAS, J.C., JUANES, J.A., PEREZ, L., KOEV, N.K., 1995. Modelling the Coliforms Inactivation Rates in the Cantabrian Sea (Bay of Biscan) From *in-situ* and Laboratory Determinations of T_{90} , *Wat. Sci. Tech*, 32, 2, 37-44.
- CARVALHO, J.L.B., ROBERTS, P.J.W., ROLDAO, J., 2002. Field Observations of Ipanema Beach Outfall, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(2), 151-160
- CARVALHO, J.L.B., FEITOSA, R.C., ROSMAN, P.C.C., ROBERTS, P.J.W., 2004. A Bacterial Decay Model for Coastal Outfall Plumes, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, 1524-1528
- CEDERWALL, K., 1968. Hydraulics of Marine Waste Water Disposal, Hydraulics Division Report No. 42, Chalmers Institute of Technology, Göteborg, Sweden
- CHAMBERLIN, C.E., MITCHELL, R., 1978. "A decay model for enteric bacteria in natural waters." P.325-348 In R. Mitchell (ed.). *Water Pollution Microbiology*. Vol.2. Wiley Interscience, New York.
- CHENG, R.Y. , CHOU, H.T., 2001. Outflow Distribution along Multiple-port Diffusers, *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*, 25(2): 94-101(2001).

- COLWELL, R.R., ORLOB, G.T., SCHUBEL, J.R., 1996. Mamala Bay Study Commission, Mamala Bay Study, Honolulu, HI.
- CULLEN, A.C., FREY, H.C., 1999. Probabilistic Techniques in Exposure Assessment, Plenum Publishing Corp., New York, USA, 335 pp.
- CURTIS, T.P., MARA, D.D., SILVA, S.A, 1992. Influence of pH, Oxygen, and Humic Substances on Ability of Sunlight to Damage FC in Waste Stabilization Pond Water, *Applied and Environmental Microbiology*. Vol.58, No.4, Apr. pp1335-1343.
- DARAKAS, E., KOUMOULIDOU, T., LAZARIDOU, D., 2009. Fecal Indicator Bacteria Declines via a Dilution of Wastewater in Seawater, *Desalination*, 248, 1008-1015.
- DAVIERO, G.J., ROBERTS, P.J.W., 2006. Marine Wastewater Discharges from Multiport Diffusers. III: Stratified Stationary Water, *Journal of Hydraulics Engineering*, 132(4), 404-410
- DAVIS, L.R., 1999. Fundamentals of Environmental Discharge Modeling, CRC-Press; ISBN-10: 0849396573, ss.165.
- DAVIES, P.A., 2003. Submarine Outfalls: Design and construction, *Submarine Outfalls: Design, Compliance and Environmental Monitoring*, 1-3.12.2003, CETESB, Sao Paulo, Brazil
- DAVIES-COLLEY, R.J., BELL, R.G., DONNISON, A.M., 1994. Sunlight Inactivation of Enterococci and Fecal Coliforms in Sewage Effluent Diluted in Seawater, *Applied and Environmental Microbiology*, ss. 2049-2058.
- DAVIES-COLLEY, R.J., DONNISON, A.M., SPEED, D.J., 1997. Sunlight Wavelengths Inactivating Faecal Indicator Microorganisms in Waste Stabilization Ponds, *Wat. Sci Tech.*, 35, 11-12, 219-225.
- DAVIES-COLLEY, R. J., DONNISON, A. M., SPEED, D. J., ROSS, C. M., NAGELS, J. W., 1999. Inactivation of faecal indicator microorganisms in waste stabilisation ponds: interaction of environmental factors with sunlight. *Water Res.* 33:1220–1230.
- DIAZ, S.B, MORROW, J.H., BOOTH, C.R., 2000. UV physics and optics, In, *The Effects of UV Radiation in the Marine Environment*, Cambridge University Press, Cambridge, 35-71
- DONEKER, R., JIRKA, G., 1990. Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Single Port Discharges (CORMIX1). EPA/600/3-90/012. US Environmental Protection Agency, Athens,GA, USA

- DUCKSTEIN, L., PLATE, E., 1987. Engineering Reliability and Risk in Water Resources, E.M. Nijhoff, Dordrecht, ss. 565, Netherlands
- DUFOUR, A.P., 1977. *Escherichia coli*: The Fecal Coliform, Bacterial Indicators/Health Hazards Associated with Water, ASTM Special Tech. Publ. American Soc. For Testing and Materials, 48-58
- DUTKA, B.J., KWAN, K.K., 1980. Bacterial Die-off and Stream Transport Studies, *Water Research*. Vol.14, ss. 909-915.
- ELTEM, R., 2001. Atıksular ve Arıtımı Ders Kitabı, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No: 172, 177 ss.
- EVISON, L.M., 1988. Comparative studies on the survival of indicator organisms and pathogens in fresh and sea water, *Water Sci. Technol.*, 20: 309-315.
- FALCONER, R., 1992. Flow and water quality modelling in coastal and inland waters, *Journal of Hydraulics Research*, 30(4), 437-452
- FISCHER, H.B., LIST, E.J., KOH, R.C.Y., IMBERGER, J., BROOKS, N. H., 1979. Mixing in inland and coastal waters. Academic Press. New York. ss.483.
- FLINT, K.P., 1987. "The Long-term Survivals of *Escherichia coli* in River Water." *J. Applied Bacteriology*. 63:261-270.
- FORSYTHE, S.J., 2000. The Microbiology of Safe Food, Blackwell Science Ltd., Blackwell Publishing Company, ss.412.
- FRICK, W.E., 2004. Visual Plumes mixing zone modeling software, *Environmental Modelling & Software*, 19:645-654.
- FRICK, W.E., ROBERTS, P.J.W., DAVIS, L.R., KEYES, J., BAUMGARTNER, D. J., GEORGE, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes), U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia
- FRICK, W.E., ROBERTS, P.J.W., DAVIS, L.R., KEYES, J., BAUMGARTNER, D.J., GEORGE, K.P., 2003. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition-Visual Plumes, Ecosystems Research Division, NERL, ORD, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-03/025, March 2003.
- FRIEDBERG, E.C., 2003. DNA Damage and Repair, *Nature*, 421: 436-439
- FRIEDBERG, E.C., WALKER, G.C., SIEDE, W., WOOD, R.D., SCHULTZ, R.A., ELLENBERGER, T., 2006. DNA repair and mutagenesis, ASM Press, ss. 1118, Washington,

- GABUTTI, G., DONNO, A., BAGARDO, F., MONTAGNA, M. T., 2000. Comparative Survival of Faecal and Human Contaminants and Use of *Staphylococcus aureus* as an Effective Indicator of Human Pollution, *Marine Pollution Bulletin*, 40(8):697-700.
- GAMESON, A.L.H., GOULD, D.J., 1975. Effects of Solar Radiation on the Mortality of Some Terrestrial Bacteria in Seawater, Discharge of Sewage From Sea Outfalls (Edited by Gameson A. L. H.), 209-219, Pergamon Press, Oxford.
- GAMESON, A.L.H., GOULD, D.J., 1985. Investigations of sewage discharges to some British Coastal waters, Chap.8., Bacterial Mortality, Part 2, Water Research Centre, Technical Report, TR 222.
- GAMESON, A.L.H., SAXON, J.R. 1967. Field studies on effect of daylight on mortality of coliform bacteria, *Water Research*. 1:279-295.
- GAMESON, A.L.H., 1984. Bacterial mortality. Part 1, p.1-34. In Investigations of sewage discharges to some British coastal waters. Water Research Centre Technical report TR 201
- GAMESON, A.L.H., 1986. Bacterial mortality, Part 3, In Investigations of Sewage Discharges to Some British Coastal Waters, Chapter 8, WRC Technical Report TR 239.
- GANOULIS, J., 1991. Water Resources Engineering Risk Assessment, NATO ASI Series, Vol. G29, Springer-Verlag, Heidelberg, ss. 552
- GANOULIS, J., 2004. Environmental Risk Assessment from Submarine Outfalls, International Conference on MWW and Marine Environment, Sept.27-Oct.2 2004 Catania/ITALY)
- GELDİAY, R., KOCATAŞ, A., 1998. Deniz Biyolojisine Giriş, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, 39-83
- GELDREICH, E., 1978. Bacterial populations and indicator concepts in feces, sewage, stormwater and solid wastes in indicators of viruses in water and food, Ann Arbor Science Pub., Ann Arbor, MI, USA
- GOODE, P.R., KELLOGG, W.K., QIU, J., YURCHYSHYN, V., HICKEY, J., CHU, M.C., KOLBE, E., BROWN, C.T., KOONIN, S.E., KELLOGG, W.K., 2001. Earthshine observations of the Earth's reflectance, Earthshine Observations of the Earth's Reflectance, *Geophysical Research Letters* 28(9):1671-1674
- GOODSELL, D.S., 2001. The Molecular Perspective: Ultraviolet Light and Pyrimidine Dimers, *The Oncologist*, 6(3):298-299

- GORDON, R.C., 1972. Winter survival of fecal indicator bacteria in a subarctic Alaskan river, *Environmental protection technology series*. No.EPA-R-2-72-013.U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- GRADY, C.P., DAIGGER, L.G., LIM, H.C., 1999. *Biological Wastewater Treatment* 2nd Ed., Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
- GRAHAM, J.J., SIEBURTH, J. MCN., 1973. Survival of *Salmonella Typhimurium* in Artificial and Coastal seawater. *Rev.Intern. Ocean.Med.* Vol.29, pp5-29.
- GRIFFIN, D.W., DONALDSON, K.A., PAUL, J.H. AND ROSE, J.B., 2003. Pathogenic human viruses in coastal waters, *Clin. Microbial. Rev.*, 16:129-143.
- GRIMES, D.J., 1991. Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A review. *Estuaries*, 14:345-360.
- GUILLAUD, J.F., DERRIEN, A., GOURMELON, M. POMMEPUY, M., 1997. T_{90} as a tool for engineers: interest and limits. *Water Sci Technol* 11:277–281.
- GUPTA I., DHAGE S., JACOB N., NAVADA S.V., KUMAR R. 2006. Calibration and validation of far field dilution models for Outfall Atworli, Mumbai, *Environmental Monitoring and Assessment*, 114:199–209.
- HAAS, C.N., 1983. Estimation of risk due to low doses of microorganisms: a comparison of alternative methodologies, *American Journal of Epidemiology*, 118(4):573-582
- HAAS, C.N., ROSE, J.B., GERBA, C., REGLI, S., 1993. Risk assesment of virus in drinking water, *Risk Analysis* 13 (5): 545-552,
- HAAS, C.N., THAYYAR-MADABUSI, A., ROSE, J.B., GERBA, C.P. 2000. Development of a dose-response relationship for *Escherichia coli* O157:H7, *International Journal of Food Microbiology* 1748:153-159.
- HENZE,M., VAN LOOSDRECHT, M.C.M., EKAMA, G.A.,BRDJANOVIC, D., 2008. *Biological Wastewater Treatment: Principles, Design and Modelling*, IWA Publishing, ISBN 13: 9781843391883, 526 ss.
- HIELM, S., BJORKROTH, J., HYYTIA, E., KORKEALA, H., 1998. Genomic analysis of *Clostridium botulinum* group II by pulsed-field gel electrophoresis. *Applied Environmental Microbiology*, 64:703–708.
- HOI, L., LARSEN, J.L., DALSGAARD, I., DALSGAARD, A., 1998. Occurrence of *Vibrio vulnificus* biotypes in Danish marine environments. *Applied Environmental Microbiology*, 64:7–13.
- HORIKAWA, K., 1988. *Nearshore Dynamics and coastal processes*, University of Tokyo Press, ss. 522, Tokyo

- HOWELL, J.M., COYNE, M. S. AND CORNELIUS, P. L., 1996. Effect of Sediment Particle Size and Temperature on Fecal Bacteria Mortality Rates and the Fecal Coliform/Fecal Streptococci Ratio, *J. Environ. Qual.* Vol.25, pp1216-1220.
- HUGHES, K.A., 2005. Effect of Antarctic Solar Radiation on Sewage Bacteria Viability. *Water Research*, 39:2237-2244.
- HUNT C.D., MANSFIELD A.D., MICKELSON M.J., ALBRO C.S., GEYER W.R., ROBERTS P.J.W., 2010. Plume tracking and dilution of effluent from the Boston sewage outfall, *Marine Environmental Research*, 70(2):150-161.
- JAGGER, J., 1985. *Solar-UV Actions on Living Cells*, Praeger, New York
- JIRKA H.G., DONEER R.L., HINTON W.S., 1996. User's Manual for CORMIX: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters, DeFrees Hydraulics Laboratory, Cornell University, Ithaca, NY.
- JIRKA, H.G., AKAR P., 1991. Hydrodynamic classification of submerged multiport diffuser discharges, *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(9):1095-1112
- JIRKA G. H., DONEKER R. L., HINTON S. W., 1996. CORMIX: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges Into Surface Waters.
- KAPUSCINSKI, R.B. and MITCHELL, R. 1983. Sunlight-induced mortality of viruses and E-coli in coastal water, *Environmental Sciences and Technology*, 17(1):1-5.
- KLOCK, J. W., 1971. Survival of Coliform Bacteria in Wastewater Treatment Lagoons *Journal WPCF*, Oct, 43(10):2071-2083.
- KOCATAŞ, A., 1986. *Oşeanoloji- Deniz Bilimlerine Giriş*, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, 66-135 ss.
- KONG, R.Y.C., LEE, S.K.Y., LAW, T.W.F., LAW, S.H.W., WU, R.S.S., 2002. Rapid detection of six types of bacterial pathogens in marine water by multiplex PCR, *Water Research*, 36:2802-2812.
- LARSEN, T., 2000. *Some Hydraulic and Environmental Aspects of Sea Outfalls*, Series Paper No.20, ISSN 0909-4296, Hydraulic & Coastal Engineering Group, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Water Research Centre Environment, Medmenham, United Kingdom
- LESSARD, E. J., SIEBURTH, J. M., 1983. Survival of Natural Sewage Populations of Enteric Bacteria in Diffusion and Batch Chambers in the Marine Environment, *Applied and Environmental Microbiology*, 45(3):950-959.

- LIU W.C., KUO J.T., YOUNG C.C., WU M.C., 2007. Evaluation of marine outfall with three-dimensional hydrodynamic and water quality modeling, *Environ Model Assess*, 12:201–211.
- LUDWIG, R.G., 1988. Environmental Impact Assessment, Siting and Design of Submarine Outfalls, An EIA Guidance Document, MARC & World Health Organisation
- MALACIC V., 2001. Numerical modelling of the initial spread of sewage from diffusers in the Bay of Piran (Northern Adriatic), *Ecological Modelling*, 138:173–191.
- MANCINI, J., 1978. Numerical Estimates of Coliform Mortality Under Various Conditions, *JWPCF*, November, 2477-2484
- MANLY, B.F.J., 1997. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology. 2nd edition, Chapman & Hall, ss.399.
- MAYO, A.W., 1989. Effect of Pond Depth on Bacterial Mortality Rate, *Journal of Environ.Engr.* 115(5):964-976.
- MAYO, A.W., 1995. Modeling Coliform Mortality in Waste Stabilization Ponds.” *Jour.Environ. Engr.*121(2):140-152.
- McCAMBRIDGE, J., McMEEKIN, T.A., 1981. Effect of Solar Radiation and Predacious Microorganisms on Survival of Fecal and Other Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 1083-1087
- McFETERS, G.A., BISSONNETTE, G.K., JEZESKI, J.J., THOMSON, C.A., STUART, D.G., 1974..Comparative Survival of Indicator Bacteria and Enteric Pathogens in Well Water, *Applied Microbiology*,27(5):823-829.
- McFETERS, G.A., STUART, D.G., 1972. Survival of coliform bacteria in natural waters: field and laboratory studies with membrane filter chambers, *Applied Environmental Microbiology*, 24:805-811.
- MEDCALF & EDDY, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse. Edited by Clark, B. and Morriss, J Third Edition, Mc Graw-Hill Publishing Company Ltd, 3rdEd, Singapore, 1334 pp.
- MEZRIOUI, N., OUFDOU, K., BALEUX, B., 1995. Dynamics of Non-01 Vibrio Cholerae and FC in Experimental Stabilization Ponds in the Arid Region of Marrakesh,Morocco, and the Effects of pH, Temperature, and Sunlight on their Experimental Survival, *Can.J. Microbiol.*, 41:489-498.
- MILLER B.M., PEIRSON W.L., WANG Y.C., COX R.J., 1996. An overview of numerical modeling of the Sydney deepwater outfall plumes, *Marine Pollution Bulletin*, 33(7-12), pp. 147-159.

- MOE, C.L., 2002. Waterborne transmission of infectious agents, In C.H. Hurst (ed.), Manual of Environmental Microbiology, 2nd. ed. ASM press, washington DC., pp. 184-204.
- MORE, S., DEMERS, S., VERNET, M., 2000. The Effects of UV Radiation in the Marine Environment, Cambridge University Press, Cambridge ; New York, 324 pp.
- MUHAMMETOĞLU, A., TOPKAYA, B. and MUHAMMETOĞLU, H., 2000. Water Quality and Oceanographic monitoring Around Antalya Sea Outfall, 1st International Conference on Marine Wastewater Discharges, pp. 307-320, Genova, Italy
- MUHAMMETOĞLU, A., BALAS, L., BALAS, C., KABDAŞLI, S., YALÇIN Ö.B., 2011, Derin Deniz Deşarjı ile Bırakılan Atıksuların Alıcı Ortamda Tutsaklanması Durumunda Bakteri Konsantrasyonunun Tahminindeki Belirsizliklerin İncelenmesi, TÜBİTAK 1001 Araştırma Projesi Final Raporu, Proje No: 107Y184
- MUHAMMETOĞLU, H., and GÜNBAK, A.R., 2000. Operational and Hydraulic Aspects of the Diffuser Section of Antalya Sea Outfall, 1st International Conference on Marine Wastewater Discharges, Genova, Italy, pp.273-280
- MUHAMMETOĞLU, H. TOPKAYA, B., MUHAMMETOĞLU, A., 1999. Antalya Deniz Deşarjı Çevresinde Deniz Suyu Kalitesinin İzlenmesi, Teknik Rapor, No: RU.99-02-05, Antalya
- MUHAMMETOĞLU, H. TOPKAYA, B., MUHAMMETOĞLU, A., 2001. Antalya Deniz Deşarjı Çevresinde Deniz Suyu Kalitesinin İzlenmesi, Teknik Rapor, No: RU.00-02-10, Antalya
- MUHAMMETOĞLU, H. TOPKAYA, B., MUHAMMETOĞLU, A., 2002. Antalya Deniz Deşarjı Çevresinde Deniz Suyu Kalitesinin İzlenmesi, Teknik Rapor, No: RU.00-02-15, Antalya
- MUHAMMETOĞLU, H. TOPKAYA, B., MUHAMMETOĞLU, A., 2003. Antalya Deniz Deşarjı Çevresinde Deniz Suyu Kalitesinin İzlenmesi, Teknik Rapor, No: RU.00-02-20, Antalya
- MUKHTASOR, SHARP, J.J, LYE, L.M., 1999. Uncertainty Analysis of Ocean Outfalls, Canadian Journal of Civil Engineering, 26:434-444.
- MUKHTASOR, LYE, L.M., SHARP, J.J, 2002. Methods of Compliance Evaluation for Ocean Outfall Design and Analysis, Environmental Management, 30(4):536-546

- NEMLİOĞLU, S., 2002. Marine Outfall Lifetime Improvement by Changing Port Type of Diffuser Pipe in the Black Sea”, *Fresenius Environmental Bulletin*”, 11(9b):647-651
- NOBLE, R.T., LEE, I.M., SCHIFF, K.C., 2004. Inactivation of indicator microorganisms from various sources of fecal contamination in seawater and freshwater, *Journal of Applied Microbiology*, 96:464-472
- OBIRI-DANSO, K., JONES, K., 2000. Intertidal sediments as reservoirs for hippurate negative campylobacters, salmonellae and faecal indicators in three EU recognised bathing waters in North West England. *Water Res.* 34(2):519-527.
- ODGAARD, J., 1976. Analytical Dilution Models “, *Coastal Pollution Control*, Vol.1, *WHO & DANIDA*, Zealand, Denmark, 51-70
- ÖNGEN, B., 2006. Türkiye’de ishal etkenleri, *ANKEM Dergisi* 20 (2):122-134.
- ÖZCAN, T., 2010. Antalya Körfezi’nde Bakteriyel İnaktivasyon Hızı ve T_{90} Süresinin Alansal Ve Zamansal Değişiminin İncelenmesi, (Yüksek lisans tezi), Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak 2010.
- ÖZTÜRK, İ., 1996. Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarj Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 238 ss.
- PARHAD, N. M., RAO, N.U., 1974. “Effect of pH on survival of *Escherichia coli*.” *Journal WPCF.*, 46(5):981-987.
- PEARSON, H. W., WARA, D. D, BARTONE, D. R., 1987. Guidelines for the minimum evaluation of waste stabilization ponds, *Water Res.*, 21:1067-1078
- PLATE, E., 1991. Probabilistic Modelling of Water Quality in Rivers, In *Water Resources Engineering Risk Assesment*, NATO ASI Series, G29:363-406
- POMMEPUY, M., HERVIO-HEATH, D., CAPRAIS, M. P., GOURMELON, M., 2006. Fecal Contamination in Coastal Areas: An Engineering Approach *Oceans and Health: Pathogens in the Marine Environment* Book chapter (p331-359)
- PRUSS, A., 1998. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Int. J. Epidemiol.*, 27:1-9.
- QLU B., NORIHISA, I.T.A., 1988. Baroclinic Instability of Buoyancy-Driven Coastal Density Currents, *Journal Of Geophysical Research*, 93(C5):5037-5050
- REED, R.H., 1996. Solar Inactivation of Faecal Bacteria in Water: The Critical Role Of Oxygen. *Applied Microbiology*, 24:276-280.

- RIDGE, M.M., 2002. Three Dimensional Simulation of Pollutant Dispersion in Coastal Waters. Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona, Barcelona, 301 pp.
- RILEY, J.P., SKIRROW, G., 1975. Chemical Oceanography, Vol. 1, 606 p., Academic Press, London
- ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W., and BAUMGARTNER D., 1989a. Ocean Outfalls I: Submerged Wastefield Formation, Journal of Hydraulic Engineering, 115(1):1-25
- ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W., and BAUMGARTNER D., 1989b. Ocean Outfalls II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield, Journal of Hydraulic Engineering, 115(1):26-48
- ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W., and BAUMGARTNER D., 1989c. Ocean Outfalls III: Effect of Diffuser design on Submerged Wastefield, Journal of Hydraulic Engineering, 115(1):49-70
- ROBERTS, P.J.W., 1999a. Modelling Mamala Bay Outfall Plume: I. Near Field, Journal of Hydraulic Engineering, 125(6):564-573
- ROBERTS, P.J.W., 1999b. Modelling Mamala Bay Outfall Plume: II. Far Field, Journal of Hydraulic Engineering, 125(6):574-683
- ROBERTS, P.J.W., TIAN, X., 2000. Three-dimensional imaging of stratified plume flows, In 5th International Conference on Plume Flows, Vancouver, British Columbia, July 10-13 2000
- ROBERTS, P.J.W., TIAN, X., 2004. New experimental techniques for validation of marine discharge models, Environmental Modelling & Software, 19:691-699
- ROY, C.R., GIES, H.P., TOMLINSON, D.W., 1994. Effects of ozone depletion on the ultraviolet radiation environment at the Australian stations in Antarctica. *Ultraviolet radiation in Antarctica: measurements and biological effects. Antarctic Research Series*, 62:1-15.
- SALAS, H.J., 1998. Submarine Outfalls General Overview, Basic Design Concepts and Data Requirements for Latin America and the Caribbean, Pan American Center For Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS).
- SAMSUNLU, A. 1995, Deniz Kirliliği ve Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- SARIKAYA, H.Z., SAATÇI A.M., 1995. Bacterial die-away rates in Red Sea waters. *Water Sci & Tech.*, 32(2):45 -52.
- SAVAGE, H. P., HANES, N.B., 1971. Toxicity of Seawater to Coliform Bacteria, *Journal WPCF*, 43(5):855-861.

- SCHREINER, S.P., KREBS, T.A., STREBEL, D.E., BRINDLEY, A., 2002. Testing the CORMIX model using thermal plume data from four Maryland power plants, *Environmental Modelling & Software*, 17:321-331.
- SCOTT, D. M., 2000. Fecal Coliform Decay in an Anaerobic Dairy Wastewater Environment. Thesis. Biological and Agricultural Engineering Department, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
- SINTON, L.W, DAVIES-COLLEY, R.J., BELL, R.G., 1994. Inactivation of Enterococci and Fecal Coliforms from Sewage and Meatworks Effluents in Seawater, *Applied and Environmental Microbiology*, 60:2040-2048.
- SINTON L.W., FINLAY, R.K., LYNCH, P.A., 1999. Sunlight Inactivation of Faecal Bacteriophages and Bacteria in Sewage-Polluted seawater, *Applied and Environmental Microbiology*, 3605-3613.
- SKKY (2008), Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete No:26786.
- SMITH, R., 1980. Buoyancy Effects upon Longitudinal Dispersion in Wide Well-Mixed Estuaries, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 296(1421):467-496.
- SMITH, R., 1996. Combined effects of buoyancy and tides upon longitudinal dispersion, In *Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics*, American Geophysical Union, Washington 319-329.
- SOLIC, M., KRSTULOVIC, N., 1992. Seperate and Combined Effects of Solar Radiation, Temperature, Salinity, and pH on the Survival of Faecal Coliforms in Seawater. *Marine Pollution Bulletin*. 24(8):411-416.
- SOLLER, J.A., MARY, E.S., BARTRABD, T., RAVENSCROFT, J.E., NICHOLAS, J.A. 2010. Estimated human health risks from exposure to recreational waters impacted by human and non-human sources of faecal contamination, *Water Research*, 44:4674-4691.
- STRACHAN, N.C., DOYLE, M.P., KASUGA, F., ROTARIU, O., OGDEN, I.D., 2005. Dose response modelling of *Escherichia coli* O157 incorporating data from foodborne and environmental outbreaks, *International Journal of Food Microbiology*, 103:35– 47.
- TEUNIS, P.F.M., 1997. Infectious gastro-enteritis: opportunities for dose response modelling, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, Netherlands, Report No: 284 550 003
- THOMANN, R., MUELLER, J., 1987. Principles of Surface Water Quality Modelling and Control, Harper and Row Publishers, New York, USA

- TIAN, X., ROBERTS, P.J.W., 2001. Application of three-dimensional imaging to plume flows, In XXIX IAHR Congress, Beijing, China, September 16-21, 2001.
- TIAN, X., ROBERTS, P.J.W., 2003. A 3D LIF system for turbulent buoyant jet flows, *Exp. Fluids*, 35:636-647.
- TIAN, X., ROBERTS, P.J.W., DAVIERO, G.J., 2004a. Marine wastewater discharges from multiport diffusers. II: Unstratified flowing water, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(12):1147-1155.
- TIAN, X., ROBERTS, P.J.W., DAVIERO, G.J., 2004b. Marine wastewater discharges from multiport diffusers. I: Unstratified stationary water, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(12):1137-1146.
- TIAN, X., ROBERTS, P.J.W., DAVIERO, G.J., 2006. Marine wastewater discharges from multiport diffusers. IV: Stratified flowing water, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(4):411-419.
- US-EPA 1985. Water Quality Assessment: A Screening Guide for Toxic and Conventional Pollutants in Surface and Ground Water-Part II, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
- US-EPA 1986. Ambient water quality criteria for bacteria, Report No: EPA440/5-84-002. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USLU, O. ve TÜRKMAN, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1, Ankara, 364 ss.
- VASCONCELOS, G.J., SWARTZ, R. G., 1976. Survival of Bacteria in Seawater Using a Diffusion Chamber Apparatus In Situ. *Applied and Environmental Microbiology*, 31(6):913-920.
- WADE, T.J., CALDERON, R.L., SAMS, E., BEACH, M., BRENNER, K.P., WILLIAMS, A.H., DUFOUR, A.P., 2006. Rapidly measured indicators of recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness, *Environ. Health. Perspect*, 114:24-28.
- WHITEHEAD R.F., MORA, S.J., DEMERS, S., 2000. Enhanced UV radiation – a new problem for the marine environment, In, *The Effects of UV Radiation in the Marine Environment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1-34.
- WHITELAM, G.C., CODD, G.A., 1986. Damaging Effects of Light on Microorganism, *Spec. Pub. Soc. Gen. Microbiology*, 17:129-169.
- WHO, 1982. Waste discharges into the marine environment; principles and guides for the Mediterranean Action Plan, Pergamon Press, Oxford, UK.

- WHO, 2003. Guidelines for Safe Recreational-Water Environments, vol. 1, Coastal and Fresh Waters, World Health Organization, Geneva, Switzerland
- WOOD, I., BELL, R. and WILKINSON, D., 1993. Ocean Disposal of Wastewater, Adv. Series on Ocean Engineering, Vol 8, World Scientific Pub., Singapore
- WOODALL, C.J., 2009. Waterborne diseases – What are the primary killers?, *Desalination*, 248:616-621.
- YALÇIN, Ö.B, 2004. Antalya Deniz Deşarjından Kaynaklanan Kirleticilerin Zamana ve Alana Bağlı Matematiksel Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 118ss.
- YALÇIN, Ö.B., MUHAMMETOĞLU, A., 2004. Variations of Bacterial Inactivation of the Discharged Wastewater Around Antalya Sea Outfall, *Fresenius Environmental Bulletin*
- YALÇIN, Ö.B., MUHAMMETOĞLU, A., 2010, Uncertainty and Sensitivity Analysis of Dilution Processes for Marine Discharges, ICBE 2010, 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, 2-4 Nov. 2010, Cairo, Egypt.
- YALÇIN, Ö.B., MUHAMMETOĞLU, A., 2011. Modelling Inactivation Rates of Indicator Microorganisms from Laboratory Determinations of T_{90} for Different Salinity and Temperature Levels, *Desalination and Water Treatment*, 26:45-52.
- YANG, L., CHANG, W., HUANG, M.L., 2000. Natural Disinfection of Wastewater in Marine Outfall Fields, *Water Research*, 34(3):743-750.
- YEGNAN, A., WILLIAMSON, D.G., GRAETTINGER, A.J., 2002. Uncertainty Analysis in air Dispersion Modeling, *Environmental Modelling & Software*, 17:639-649.
- YİĞİT, A., ATMACA, İ., 2010. Güneş Enerjisi, Alfa Akademi, Bursa, 216 ss.
- YÜKSELEN, M.A., KERÇ, A., SAATÇI, A.M., 1995. Effect of Solar Intensity on Bacterial Die-off, *MEDCOAST 95*, Spain, pp. 1579-1585.
- YÜKSELEN, M.A., ÇALLI, B., GÖKYAY, O., SAATÇI, A., 2003. Inactivation of Coliform Bacteria in Black Sea Waters Due to Solar Radiation, *Environment International*, 29:45– 50.
- ZMIROU, D. PENA, L., LEDRANS, M., LETERTRE, A., 2003. Risks associated with the microbiological quality of bodies of fresh and marine water used for recreational purposes: summary estimates based on published epidemiological studies, *Arch. Environ. Health*, 58:703-711.

ÖZGEÇMİŞ

Özgür Bülent YALÇIN, 1976 yılında Erzurum'da doğdu. 1997 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2004 yılında, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamlayarak 2005 yılında aynı anabilim dalında doktora öğrenimine başladı. Ağustos 2002 tarihinden Aralık 2010 tarihine kadar Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptıktan sonra Konyaaltı Belediyesi'ne naklen atanmış olup, halen bu görevini sürdürmektedir.