

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT KÖRFEZİ’NDE ÇOK-ORTAMLI POLİSİKLİK AROMATİK
HİDROKARBON KİRLİLİĞİNİN GÖZLEM VE MODELLEME
ÇALIŞMALARI İLE İNCELENMESİ**

SÜHEYL ÇAVUŞOĞLU

KOCAELİ 2022

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT KÖRFEZİ’NDE ÇOK-ORTAMLI POLİSİKLİK AROMATİK
HİDROKARBON KİRLİLİĞİNİN GÖZLEM VE MODELLEME
ÇALIŞMALARI İLE İNCELENMESİ**

SÜHEYL ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Aykan KARADEMİR Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniv.

Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğim ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdığımı,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlerde uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler TÜBİTAK tarafından 118Y155 no'lu proje kapsamında maddi destek alınarak gerçekleştirılmıştır.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Süheyl ÇAVUŞOĞLU

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğim beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarında (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmamasına İlişkin Yönerge*" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
Süheyl ÇAVUŞOĞLU

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Marmara Bölgesi’nde bulunan İzmit Körfezi’nde, çevresinde uzun yillardır faaliyet gösteren fabrikalar, limanlar ve artan nüfus, trafik yoğunluğu sebebiyle sağlık sorunları teşkil edebilecek boyutta bir kirlilik meydana gelmiştir. Bu kirliliğin önüne geçebilmek veya kirliliği azaltmaya yönelik planlar tasarlayabilmek için körfezdeki kirlilik tüm boyutları ile ele alınmalıdır. Kirlilik kaynaklarının ve bu kaynakların oluşturduğu kirlilik konsantrasyonlarının saptanabilmesi ve sonrasında temizlenmesi yönünde planlamalar oluşturulabilmesi amacıyla TÜBİTAK tarafından desteklenen, 118Y155 numaralı, “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti Modeli Geliştirilmesi” başlıklı bir proje gerçekleştirılmıştır. Bu tez çalışmasında da “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti Modeli Geliştirilmesi” başlıklı proje çerçevesinde, İzmit Körfezi’nde çok-ortamlı polisiklik aromatik hidrokarbon kirliliği, gerçekleştirilen saha çalışmaları, gözlemler ve model uygulamaları ile incelenmiştir.

Bilimsel metodoloji ve perspektif ile gerceği arama, karşılaşılan sorulara mühendis bakış açısından çözümler üretme ve üzerinde çalıştığım konular hakkındaki bilgi ve becerilerini esirgememe konularındaki emeklerinden dolayı, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana yol gösteren danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Recep Kaya GÖKTAS'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Sayın Hocam'a, içerisinde yer aldığı süre zarfında pek çok şey tecrübe ettiğim ve öğrendiğim, yürütücülüğünü yaptığı 118Y155 numaralı projede yer almama fırsat verdiği için de teşekkür ederim.

118Y155 numaralı projedeki, ihtiyacım olduğunda sorularımı cevapsız bırakmayan hocalarım; Prof.Dr. Aykan KARADEMİR, Prof.Dr. Beyhan PEKEY, Prof.Dr. Halim Aytekin ERGÜL, Doç.Dr. Mihriban CİVAN ve Dr.Öğr.Üyesi Aşkın BİRGÜL'e teşekkürlerimi sunarım. Projedeki saha çalışmaları, laboratuvar analizleri ve modelleme konularında destekleri olan Arş.Gör. Serdar AKSAN, Arş.Gör. Sümeyye Hasanoğlu, İpek TEZYAPAR, Tuğba AYAZ ve Tolga MARMARA'ya teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde, 118Y155 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a, hava kalitesi örneklemeleri için İzmit'teki binalarını kullandığımız Kocaeli Ticaret Odası'na ve deniz örneklemelerinin bir kısmında kullandığımız teknenin kaptanlığını yapan Hasan AVCI'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanında olan, eğitim ve öğretimim için maddi, manevi her türlü fedakarlığı gösteren, her zaman iyiliği, güzelliği ve insani değerleri öğütleyen, annem Meryeme ÇAVUŞOĞLU ve babam İlhan ÇAVUŞOĞLU'na, her alanda desteklerini ve sevgilerini hissettiğim kardeşlerim Sümeyra ÇAVUŞOĞLU VARDAR, Ahmet Hasan ÇAVUŞOĞLU ve Eslem Hacer ÇAVUŞOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmamın başlangıcından bitime kadar her anında benimle birlikte olan ve karşılaşduğum zorlukların üstesinden gelmemde bana destek ve motivasyon kaynağı olan Kübra ÖZGÜN'e ve burada tek tek isimlerini yazarak bitiremeyeceğim kuzenlerim, arkadaşlarım ve yakınlarına destekleri için teşekkür ederim.

Haziran-2022

Süheyl ÇAVUŞOĞLU

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRI MÜLKİYET HAKLARI.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	4
2.2. İzmit Körfezi	8
2.3. Çok-Ortamlı Kirleticili Akibet ve Taşınım Modelleri	10
2.3.1. Fugasite Tabanlı Modeller	12
2.3.2. QWASI Modelleri	14
2.3.3. Belirsizlik Analizi	14
3. MALZEME VE YÖNTEM	16
3.1. Saha Çalışmaları ve Örneklemeler	16
3.1.1. Atmosferik PAH Örneklemeleri.....	16
3.1.2. Deniz Suyu ve Sediment Örneklemeleri.....	21
3.1.3. Dere Örneklemeleri.....	28
3.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler	37
3.2.1. Fiziksel Analizler	38
3.2.2. Kimyasal Analizler.....	38
3.3. Körfez Akibet Modelinin Oluşturulması.....	38
3.3.1. Modelin Yapısı	38
3.3.2. Model Denklemleri	39
3.3.3. Bilgisayar Kodu.....	45
3.4. Belirsizlik Analizi	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları	50
4.1.1. Fiziksel Analiz Sonuçları.....	50
4.1.2. Kimyasal Analiz Sonuçları	56
4.2. Model Girdilerinin Oluşturulması	89
4.2.1. Kimyasal Parametreler	89
4.2.2. Çevresel Parametreler	91
4.3. Model Doğrulama Verileri	107
4.3.1. Deniz Suyu Konsantrasyon Verileri.....	107
4.3.2. Sediment Konsantrasyon Verileri	111
4.4. Model Simülasyonları.....	111
4.4.1. Kararlı Durum Simülasyonları	112
4.4.2. Dinamik Simülasyonlar	123
4.4.3. Monte Carlo Simülasyonları.....	129
4.5. Model Uygulamaları	136
4.5.1. İzmit Körfezi’nde PAH Yüklemelerinin Tahmini	137

4.5.2. İzmit Körfezi’nde PAH Kirliliği Remediasyonu İçin Sediment Örtüsü Yönteminin Etkinliğinin İncelenmesi	142
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	149
KAYNAKLAR.....	152
EKLER.....	164
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	180
ÖZGEÇMİŞ	181

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İzmit Körfezi Doğu-Merkez-Batı basenleri.....	9
Şekil 3.1. Atmosferik PAH örneklemeye istasyonu	17
Şekil 3.2. Atmosferik PAH izleme istasyonunun konumu	17
Şekil 3.3. PUF örnekleyici.....	18
Şekil 3.4. Islak-Kuru Çökelme Örnekleyicisi (IKÇÖ)	20
Şekil 3.5. Islak-kuru çökelme örnekleyicisinin (IKÇÖ) şematik gösterimi	21
Şekil 3.6. Deniz örneklemeye noktaları.....	22
Şekil 3.7. Zodiac bot ile deniz örneklemeleri.....	24
Şekil 3.8. Balıkçı teknesi ile deniz örneklemeleri.....	24
Şekil 3.9. Doğu alt-bölgesi için örneklemeye noktasında deniz suyu yoğunluğu (σstp) profili (29 Ağustos 2019)	25
Şekil 3.10. Merkez alt-bölgesi için örneklemeye noktasında deniz suyu yoğunluğu (σstp) profili (30 Ağustos 2019)	25
Şekil 3.11. Merkez alt-bölgesinde örneklemeye noktasında deniz suyu yoğunluğu (σstp) profili (21 Kasım 2019).....	26
Şekil 3.12. Batı alt-bölgesi (sol panel) ve Doğu alt-bölgesi (sağ panel) deniz suyu yoğunluğu (σstp) profilleri (Şubat 2020)	26
Şekil 3.13. Batı alt-bölgesi (sol panel) ve Doğu alt-bölgesi (sağ panel) deniz suyu yoğunluğu (σstp) profilleri (Temmuz 2020).....	27
Şekil 3.14. Keşif çalışması sırasında ziyaret edilen dere örneklemeleri için potansiyel noktalar	29
Şekil 3.15. Dere örneklemeye noktaları.....	29
Şekil 3.16. Kazıklı Dere örneklemeye noktasında debi ölçümü denemesi (Yaz Dönemi – 27 Ağustos 2019)	31
Şekil 3.17. Hamam Dere örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 27 Ağustos 2019).....	31
Şekil 3.18. Çınarlı Dere örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 28 Ağustos 2019).....	32
Şekil 3.19. Dil deresi örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 28 Ağustos 2019).....	32
Şekil 3.20. Doğu Kanalı (Kumla Deresi) örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 28 Ağustos 2019).....	32
Şekil 3.21. Kiraz Deresi örneklemeye noktasında debi ölçümü (Yaz Dönemi – 27 Ağustos 2019).....	33
Şekil 3.22. Kazıklı Dere örneklemeye noktası (Sonbahar Dönemi – 28 Kasım 2019).....	34
Şekil 3.23. Hamam Dere örneklemeye noktası (Sonbahar Dönemi - 28 Kasım 2019)	34
Şekil 3.24. İzmit Körfezi'nin ve dere örneklemeye noktalarının havza alanları.....	36
Şekil 3.25. Körfez basenlerinin su toplama havzaları.....	36
Şekil 3.26. Körfez akibet modelinin yapısı	39
Şekil 4.1. Havada çözümmüş ve partikül fazdaki PAHların yaz ve kış konsantrasyonları (ng/m ³)	60
Şekil 4.2. IKÇÖ cihazı ile elde edilen örneklerdeki PAH miktarları (ng/m ² /saat)	69

Şekil 4.3. Yaz döneme ait çökelme akıları ($\text{ng}/\text{m}^2/\text{saat}$)	70
Şekil 4.4. Kış döneme ait çökelme akıları ($\text{ng}/\text{m}^2/\text{saat}$)	70
Şekil 4.5. Toplam çökelme akıları ($\text{ng}/\text{m}^2/\text{saat}$)	71
Şekil 4.6. Doğu, merkez ve batı basenlerinde çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (ng/L).....	76
Şekil 4.7. Doğu, merkez ve batı basenlerinde partikül fazda PAH konsantrasyonları (ng/mg).....	78
Şekil 4.8. Tüm örnekleme dönemlerinde dere sularında ölçülmüş çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (ng/L).....	87
Şekil 4.9. Tüm örnekleme dönemlerinde dere sularında ölçülmüş partikül fazda PAH konsantrasyonları (ng/mg).....	88
Şekil 4.10. İzmit Körfezi’nde su dolaşımının şematik gösterimi	96
Şekil 4.11. Merkez baseni atmosferik çökelti girdileri (mol/saat)	98
Şekil 4.12. Doğu baseni atmosferik çökelti girdileri (mol/saat)	98
Şekil 4.13. Merkez baseni hava-deniz difüzyif girdiler (mol/saat)	100
Şekil 4.14. Doğu baseni hava-deniz difüzyif girdiler (mol/saat)	100
Şekil 4.15. İzmit Körfezi’ne PAH yüklerinin dağılımı (%)	104
Şekil 4.16. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum)	114
Şekil 4.17. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum)	114
Şekil 4.18. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum)	116
Şekil 4.19. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum)	116
Şekil 4.20. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum)	118
Şekil 4.21. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum)	118
Şekil 4.22. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum)	120
Şekil 4.23. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum)	120
Şekil 4.24. Model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni Sedimentleri) (Kararlı Durum).....	122
Şekil 4.25. Model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni Sedimentleri) (Kararlı Durum)	122
Şekil 4.26. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Üst Deniz Kompartmanı)	124

Şekil 4.27. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Merkez Basen – Alt Deniz Kompartmanı)	124
Şekil 4.28. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Doğu Basen – Üst Deniz Kompartmanı)	125
Şekil 4.29. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Doğu Basen – Alt Deniz Kompartmanı)	125
Şekil 4.30. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Merkez Basen - Sediment Kompartmanı)	127
Şekil 4.31. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Doğu Basen – Sediment Kompartmanı)	128
Şekil 4.32. Dinamik simülasyon sonuçlarına göre Benzo(a)piren sediment konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	128
Şekil 4.33. Monte Carlo simülasyonları sonucu elde edilen model girdi ve çıktı parametre setleri arasında Spearman sıralama korelasyon katsayılarının karesi (Merkez Basen) (Benzo(a)piren).....	134
Şekil 4.34. Monte Carlo simülasyonları sonucu elde edilen model girdi ve çıktı parametre setleri arasında Spearman sıralama korelasyon katsayılarının karesi (Doğu Basen) (Benzo(a)piren).....	135
Şekil 4.35. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) benzo(a)piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	138
Şekil 4.36. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) krisen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	139
Şekil 4.37. Sediment örtüsü uygulamasının yapılmadığı simülasyon sonuçları (Senaryo 0)	144
Şekil 4.38. Doğu baseni sığ kıyı bölgelerine sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 1)	145
Şekil 4.39. Doğu basenine önemli oranda sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 2)	146
Şekil 4.40. Doğu baseninin tamamına sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 3)	147
Şekil 4.41. Doğu baseninin tamamına ve merkez baseninin sığ kıyı bölgelerine sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 4)	148
Şekil A.1. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Asenaftilen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	165
Şekil A.2. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Asenaften sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	166
Şekil A.3. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Floren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	167
Şekil A.4. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Fenantren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	168

Şekil A.5. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Antrasen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	169
Şekil A.6. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Floranten sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	170
Şekil A.7. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	171
Şekil A.8. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(a)antrasen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	172
Şekil A.9. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Krisen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	173
Şekil A.10. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(b)floranten sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	174
Şekil A.11. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(k)floranten sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	175
Şekil A.12. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(a)piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	176
Şekil A.13. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Indeno(1,2,3-c,d)piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	177
Şekil A.14. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Dibenzo(a,h)antrasen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	178
Şekil A.15. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(g,h,i)perilen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi	179

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. 16 öncelikli PAH bileşiğinin kimyasal formülü ve yapısı.....	5
Tablo 2.2. Seçilen PAH bileşiklerinin 25°C'deki fiziksel-kimyasal özellikleri	6
Tablo 3.1. Deniz suyu örnekleme derinlikleri.....	27
Tablo 3.2. Dere örnekleme noktalarının koordinatları	30
Tablo 3.3. Dere örneklemeleri ve tarihleri	30
Tablo 3.4. Dere örneklemelerinde ölçülen debiler (m ³ /s).....	30
Tablo 3.5. Dere örnekleme noktalarının ve İzmit Körfezi alt havzalarının alanları	37
Tablo 3.6. Ölçülen ve tahmin edilen debiler (m ³ /s)	37
Tablo 3.7. Model bilgisayar programı geliştirilirken değiştirilen veya eklenen metotlar	46
Tablo 3.8. Modelde hesaplanacak Z değerleri	47
Tablo 4.1. Havada toplam partikül madde (PM) konsantrasyonları.....	50
Tablo 4.2. Deniz suyu örnekleme noktalarında askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları (mg/L)	51
Tablo 4.3. Dere örnekleme noktalarında askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları (mg/L)	53
Tablo 4.4. Deniz suyu örnekleme noktalarında askıda katı maddelerin toplam organik madde (TOM) içerikleri (%).....	54
Tablo 4.5. Dere örnekleme noktalarında askıda katı maddelerin toplam organik madde (TOM) içerikleri (%)	55
Tablo 4.6. Deniz yüzey sedimenti örneklerinin toplam organik karbon (TOK) içerikleri (%)	56
Tablo 4.7. Havada çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (ng/m ³)	58
Tablo 4.8. Havada partikül fazda PAH konsantrasyonları (ng/m ³)	59
Tablo 4.9. PUF örneklerinde LOD değerleri (ng/ml)	60
Tablo 4.10. Çözünmüş ve partikül fazdaki PAHların yaz ve kış dönemlerinde ölçülmüş konsantrasyonları (ng/m ³).....	61
Tablo 4.11. Yağmur örneklerinde çözünmüş fazda tespit edilen PAH miktarları (ng/m ² /saat)	63
Tablo 4.12. Yağmur örneklerinde partikül fazda tespit edilen PAH miktarları (ng/m ² /saat)	64
Tablo 4.13. Kuru hazneden alınan örnekler kullanılarak hesaplanan PAH çökelme akıları (ng/m ² /saat).....	65
Tablo 4.14. Kuru haznede yağmur başlangıcında biriken sudaki PAH miktarları (ng/m ² /saat)	66
Tablo 4.15. IKÇÖ cihazı örneklerinde LOD değerleri (ng/ml).....	67
Tablo 4.16. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/L).....	71
Tablo 4.17. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/mg)	72
Tablo 4.18. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım 2019) (ng/L).....	72
Tablo 4.19. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım 2019) (ng/mg)	73

Tablo 4.20. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/L)	73
Tablo 4.21. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/mg).....	74
Tablo 4.22. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/L)	74
Tablo 4.23. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/mg)	75
Tablo 4.24. Dere ve deniz suyu örneklerinde LOD değerleri (ng/ml).....	75
Tablo 4.25. Deniz yüzey sedimentlerinde PAH konsantrasyonları (ng/g)	81
Tablo 4.26. Bazı PAHlar için eşik etki sınırı (TEL) ve olası etki sınırı (PEL) değerleri	82
Tablo 4.27. Yüzey sedimenti örneklerinde LOD değerleri (ng/ml).....	82
Tablo 4.28. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/L)	83
Tablo 4.29. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/mg)	83
Tablo 4.30. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım/Aralık 2019) (ng/L)	84
Tablo 4.31. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım/Aralık 2019) (ng/mg)	84
Tablo 4.32. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/L)	85
Tablo 4.33. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/mg).....	85
Tablo 4.34. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/L)	86
Tablo 4.35. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/mg)	86
Tablo 4.36. Kimyasal veri tabanında bulunan model parametrelerinin listesi	89
Tablo 4.37. Model simülasyonlarında kullanılan kimyasal parametre değerleri.....	90
Tablo 4.38. Çevresel veri tabanında bulunan sabit model parametrelerinin listesi	91
Tablo 4.39. Model simülasyonlarında kullanılan sabit çevresel parametre değerleri.....	92
Tablo 4.40. Çevresel veri tabanında bulunan mevsimsel değişiklik gösterebilen model parametrelerinin listesi	92
Tablo 4.41. Model simülasyonlarında kullanılan mevsimsel çevresel parametre değerleri.....	93
Tablo 4.42. Basenler arası su akış parametreleri.....	94
Tablo 4.43. Merkez baseninde kompartmanlar arası su akış parametreleri	95
Tablo 4.44. Doğu baseninde kompartmanlar arası su akış parametreleri	95
Tablo 4.45. Merkez Baseni Atmosferik Çökelti Girdileri (mol/saat)	97

Tablo 4.46. Doğu Baseni Atmosferik Çökelti Girdileri (mol/saat).....	97
Tablo 4.47. Merkez Baseni Hava-Deniz Difüzif Girdi (mol/saat).....	99
Tablo 4.48. Doğu Baseni Hava-Deniz Difüzif Girdi (mol/saat)	99
Tablo 4.49. Karasal (sel, erozyon) girdiler (mol/saat) (Yıllık ortalamalar).....	101
Tablo 4.50. Karasal (sel, erozyon) girdiler (mol/saat) (Kış ortalamaları).....	102
Tablo 4.51. Karasal (sel, erozyon) girdiler (mol/saat) (Yaz ortalamaları).....	103
Tablo 4.52. Batı baseninden merkez basenine giren PAH yükleri (mol/saat)	105
Tablo 4.53. Doğu Baseni Üst Deniz Kompartmanına Toplam Girdiler (mol/saat)	106
Tablo 4.54. Merkez Baseni Üst Deniz Kompartmanına Toplam Girdiler (mol/saat)	106
Tablo 4.55. Merkez Baseni Alt Deniz Kompartmanına Toplam Girdiler (mol/saat)	107
Tablo 4.56. Merkez baseni çözünmüş fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/L).....	108
Tablo 4.57. Doğu baseni çözünmüş fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/L).....	108
Tablo 4.58. Merkez baseni partikül fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/mg).....	109
Tablo 4.59. Doğu baseni partikül fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/mg).....	109
Tablo 4.60. Merkez Baseni Toplam (Bulk) PAH konsantrasyonları (mg/m ³)	110
Tablo 4.61. Doğu Baseni Toplam (Bulk) PAH konsantrasyonları (mg/m ³)	110
Tablo 4.62. Merkez ve doğu baseni sediment örneklerindeki PAH konsantrasyonları (ng/g)	111
Tablo 4.63. Merkez baseni, çözünmüş faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	113
Tablo 4.64. Doğu baseni, çözünmüş faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	115
Tablo 4.65. Merkez baseni, partikül faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	117
Tablo 4.66. Doğu baseni, partikül faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	119
Tablo 4.67. Sediment kompartmanları için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	121
Tablo 4.68. Belirsiz parametreler ve k değerleri	130
Tablo 4.69. Belirsiz parametrelerin %95 güvenilirlik alt ve üst sınır değerleri (Merkez Baseni)	131
Tablo 4.70. Belirsiz parametrelerin %95 güvenilirlik alt ve üst sınır değerleri (Doğu Baseni).....	132

Tablo 4.71. Monte Carlo simülasyonları sonucunda elde edilen model çıktılarının %95 güvenilirlik alt ve üst sınır değerleri (Benzo(a)piren)	133
Tablo 4.72. Model uygulama senaryoları ve çalışma dosyaları	136
Tablo 4.73. Benzo(a)piren ve krisen sediment konsantrasyonları için uzun yıllar gözlem verilerine (Şekil 4.35 - Şekil 4.36) ait istatistikler ve proje kapsamındaki çalışmalar ve hesaplanan atmosferik ve karasal girdiler ile çalıştırılan akibet modelince hesaplanan sediment konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	140
Tablo 4.74. Model simülasyonları sonucu tahmin edilen benzo(a)piren ve krisen yüklemeleri	141
Tablo 4.75. Sediment örtüsü uygulama senaryoları.....	143

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Toplam yüzey alanı (m^2)
D	: D değeri, (mol/saPa)
f	: Fugasite, (Pa)
g	: Gram
K	: Kelvin
K_{AW}	: Hava-su paylaşım katsayısı
K_{OW}	: Oktanol-su paylaşım katsayısı
L	: Litre
m	: Metre
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
ng	: Nanogram
O	: Oksijen
P_L	: Buhar basıncı
Q	: Debi, (m^3/sa)
S_{WL}	: Suda Çözünürlük
Z	: Fugasite Kapasitesi, (mol/ m^3Pa)
μg	: Microgram (Mikrogram)
σ	: Sigma

Kısaltmalar

A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
AKM	: Askıda Katı Madde
BETR	: Berkeley-Trent
CCME	: Canadian Council of Ministers of the Environment (Kanada Çevre Bakanlar Konseyi)
COVID	: Coronavirus Disease (Koronavirüs Hastalığı)
DNA	: Deoksiribo nükleik asit
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
EU-DEM	: The Digital Elevation Model over Europe (Avrupa Üzerinden Dijital Yükseklik Modeli)
GC-MS	: Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi)
IKÇÖ	: Islak Kuru Çökelme Örnekleyici
KOTO	: Kocaeli Ticaret Odası
LOD	: Limit of Detection (Tespit Sınır Değeri)
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PEL	: Probable Effect Level (Olası Etki Seviyesi)
PM	: Partikül Madde
PPT	: Parts Per Thousand (Binde Bir Parça)
PUF	: PolyUrethane Foam (Poliüretan Köpük)
QWASI	: Quantitative Water Air Sediment Interaction (Kantitatif Su Hava Sediment Etkileşimi)
SEKA	: Türkiye Selüloz ve Kağıt Fabrikaları A.Ş.

STP	: Salinity - Temperature - Pressure (Tuzluluk - Sıcaklık - Basınç)
TEL	: Threshold Effect Level (Eşik Etkisi Seviyesi)
TOK	: Toplam Organik Karbon
TOM	: Toplam Organik Madde
TSP	: Total Suspended Matter (Toplam Partikül Madde)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

İZMİT KÖRFEZİ’NDE ÇOK-ORTAMLı POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBON KİRLİLİĞİNİN GÖZLEM VE MODELLEME ÇALIŞMALARI İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı, İzmit Körfezi’nde çok ortamlı polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) kirliliğinin, gözlem ve modelleme çalışmaları ile incelenmesidir. Bu tez çalışması, TÜBİTAK destekli, 118Y155 numaralı ve “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti Modeli Geliştirilmesi” başlıklı projenin bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, PAHların fiziksel-kimyasal özellikleri ve İzmit Körfezi’nin çevresel özellikleri (oşinografik, meteorolojik, fiziksel vb.) literatür taramaları ile belirlenmiştir. İzmit Körfezi’ndeki polisiklik aromatik hidrokarbon kirliliğinin bütüncül analizi için, İzmit Körfezi’ne ait farklı çevresel ortamlarda saha çalışmaları gerçekleştirilmiş ve örneklemeler yapılmıştır. Toplanan örnekler, fiziksel ve kimyasal analizlere tabi tutularak örneklemeye yapılan ortamlardaki PAH konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler ile PAH sınıfı kirleticilerin, İzmit Körfezi’ne ait çevresel ortamlardaki miktar ve konsantrasyonları ile ortamlar arası taşınım ve akbet süreçleri, “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti Modeli Geliştirilmesi” başlıklı proje kapsamında geliştirilen çok-ortamlı akbet modeli ile açıklanmıştır. Laboratuvar analizleri sonucunda belirlenen PAH konsantrasyonları, modelde girdi ve doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. Son olarak, geliştirilen model ve elde edilen veriler kullanılarak, İzmit Körfezi için farklı kirlilik simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok-Ortamlı Kirletici Akbet ve Taşınım Modelleri, İzmit Körfezi, Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, QWASI.

INVESTIGATION OF MULTIMEDIA POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON POLLUTION IN IZMIT BAY BY OBSERVATION AND MODELING STUDIES

ABSTRACT

The objective of this thesis is to investigate the multi-media polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution in Izmit Bay by observation and modeling studies. This thesis was carried out as a part of the TUBITAK-supported project numbered 118Y155 and titled "Development of a Multi-Media Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Fate Model for Izmit Bay". Within the scope of the study, the physical-chemical properties of PAHs and the environmental characteristics of the Izmit Bay (oceanographic, meteorological, physical, etc.) were determined by literature reviews. For a comprehensive analysis of the polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in Izmit Bay, field studies and sampling were carried out in different environmental media of Izmit Bay. The collected samples were subjected to physical, and chemical analysis in order to determine the PAH concentrations in the sampled media. With these data, inter-media transport and fate processes of PAH class of pollutants in the Izmit Bay environmental were explained with the multi-media fate model developed within the scope of the project titled "Development of a Multi-Media Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Fate Model for Izmit Bay". PAH concentrations determined as a result of laboratory analysis were used as input and validation data in the model. Finally, using the developed model and the data obtained, different pollution simulations were conducted for Izmit Bay.

Keywords: Multimedia Pollutant Fate and Transport Models, Izmit Bay, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, QWASI.

1. GİRİŞ

İnsanlık (*homo sapiens*), dünya sahnesine çıkışından günümüze kadar diğer canlı türlerinden farklı olarak, çevresini gözlemlemiş ve doğanın işleyiş şekline ilgi göstermiştir. Etrafindaki canlıları, doğayı, gökyüzünü izleyerek bunları anlamlandırmaya çalışmış ve şahit olunan olaylara farklı açıklamalar getirmiştir. Doğanın ve evrenin gizeminden etkilenmiş, açıklanamayan olgulara doğaüstü anımlar yüklemiştir. Binlerce yıl boyunca süren bu kültür, nesiller boyu sözlü olarak aktarılmış ve oluşturulan hikayeler zenginleştirilmiştir. Yazının icadı ile birlikte, aktarılan bilgiler netlik kazanmış ve insanlığın bilgi birikimi kümülatif olarak artış göstermiştir. İnsanlık, doğanın işleyişi hakkındaki bilgi birikimini, gündelik işlerini kolaylaştmak için kullanmaya başladığında ise medeniyetler geliştirmiştir ve bulundukları bölgelere hakim olmaya başlamıştır.

İnsanlığın çevreye olan etkisi, tarihinin büyük bir bölümünde, yerel olarak hissedilmiş ve bulundukları bölgeden pek de uzak noktalara tesir etmemiştir. Ancak, 1700'lü yillardan sonra bilim ve teknolojideki gelişmeler sonucu, Endüstri Devrimi ile birlikte sanayileşme ve üretim artmış, insanların birbirleri ve doğa ile olan etkileşimleri küresel boyutlara ulaşmaya başlamıştır. İnsanlık tarafından, hayatları kolaylaştmak ve refah seviyelerini yükseltmek için geliştirilen teknolojinin, çevreye olumsuz etkileri olmaya başlamıştır. Gelişen teknoloji sonucu artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtlar tarafından karşılaşmaya başlanmış ve fosil yakıtların kullanımıyla da atmosfere zararlı gazlar salınmaya başlamıştır. Bilim ve teknolojideki devrimsel yeniliklerin, medeniyetin gelişimindeki katkısı, dünya tarihi boyunca görülmemiş bir boyutta olduğu için çevreye olan zararlı etkiler ilk zamanlarda fark edilmemiş veya göz ardı edilmiştir. Yirminci yüzyılın ilk yarısından itibaren, hava kirliliği kaynaklı ciddi sağlık sorunları görülene dek bu konu pek fazla dikkate alınmamıştır. Aynı zamanda kimya alanındaki gelişmeler ile daha önce dünya üzerinde görülmemiş, çeşitli kimyasallar üretilmiştir. Hayatın farklı alanlarında işleri kolaylaştırın bu kimyasallardan bazılarının toksik etkileri, keşiflerinden uzun yıllar sonra anlaşılmaya başlanmıştır.

Günümüzde her ne kadar çevre kirliliği konusunda bilinç kazanılmış ve bazı devletler tarafından bu kirliliği azaltmaya yönelik çalışmalar yapılıyor olsa da özellikle gelişmekte olan ülkeler, maddi yükümlülükler gereği bu tehlikeleri görmezden gelmekte yeteri

kadar çalışma yapmamaktadır. Dünyanın doğal dengesinin bozulmaması, sağlık sorunları yaşanmaması için çevre kirliliği dikkate alınmalı ve bu kirliliği azaltmaya yönelik girişimler hızlandırılmalıdır.

Çevresinde irili ufaklı pek çok sanayi kuruluşu barındıran, yoğun nüfusa ve gemi/araç trafiğine sahip olan İzmit Körfezi de bu kirlilikten payını almıştır (Altıok ve diğ., 2020; Ergül ve Karademir, 2020; Tolun ve diğ., 2012). Türkiye'de, Marmara Bölgesi'nde bulunan İzmit Körfezi, yeteri kadar arıtlımadır evsel ve endüstriyel atık su deşarjları, kontrollsüz emisyonlar ve limanlarında bulunan gemiler tarafından bırakılan atıklar sebebiyle (Pekey ve diğ., 2005), sağlık sorunları oluşturabilecek düzeyde kirletilmiş durumdadır. Bu kirliliğin önüne geçebilmek ve mevcut kirliliği azaltabilmek için çalışmalar yapılmalıdır. Kirliliği azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmadan önce de körfezdeki kirliliğin boyutları tespit edilmelidir. Bu tespit çalışmalarının, İzmit Körfezi'ndeki kirliliğin bütüncül bir analizini sunabilmesi için farklı çevresel ortamların eş zamanlı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının yapılabilmesini sağlayan, TÜBİTAK destekli, 118Y155 numaralı ve “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akıbeti Modeli Geliştirilmesi” başlıklı projede de kanserojen özellikle bir kimyasal kirletici olan Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH), İzmit Körfezi’ndeki konsantrasyonlarını belirleyebilmek amacıyla farklı ortamlarda örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve bu kirleticilerin körfez sularında ve sedimentlerindeki akıbet ve taşımını açıklayacak bir çok-ortamlı akıbet modeli geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında İzmit Körfezi’nde çok-ortamlı PAH kirliliğinin gözlem ve modelleme çalışmaları ile incelenmesine dair gerçekleştirilen çalışmalar sunulmaktadır.

Bölüm 2’de çalışma kapsamında ele alınan polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve çalışma alanı olarak belirlenmiş İzmit Körfezi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu bölümde ayrıca, çok-ortamlı kirletici akıbet ve taşım modelleri ve bu modeller kapsamında fugasite tabanlı modeller ile QWASI modelleri incelenmiştir.

Bölüm 3’té İzmit Körfezi’ndeki mevcut kirliliği saptamak ve veri üretmek amacıyla körfezin doğu, merkez ve batı alt-bölgelerinde deniz suyu ve sediment örneklemeleri, körfez kenarında seçilen bir noktaya kurulan örnekleme istasyonu ile de atmosferik

örnekleme çalışmaları anlatılmış, toplanan örneklerde gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal analizlere yer verilmiştir. Ayrıca, İzmit Körfezi'ne özgü akıbet modeli oluşturmak için model yapısının kurulması ve bilgisayar program kodunun yazılmasına ilişkin yapılan çalışmalar da bu bölümde yer almaktadır.

Bölüm 4'te körfeze ait çevresel ortamlardan alınan numunelere uygulanan fiziksel ve kimyasal analizlerin sonuçları verilmiş ve bu sonuçların körfezde yapılmış önceki çalışmalarla kıyaslaması yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca İzmit Körfezi'ne özgü Seviye III ve Seviye IV fugasite modellerini oluşturmak için çevresel ve kimyasal parametrelerinin model girdisi olarak ne şekilde kullanıldığı detaylı olarak anlatılmaktadır. Model girdilerinin hazırlanmasının ardından körfez için gerçekleştirilen kararlı durum, dinamik ve Monte Carlo simülasyonları anlatılmış, fiziksel ve kimyasal analizler sonucu elde edilen sonuçlar ile model sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bölümde son olarak, İzmit Körfezi merkez basenine doğrudan deşarjla giren Krisen konsantrasyonlarının tahmin edilmesi amacıyla gerçekleştirilen kararlı durum simülasyonları, körfezde PAH kirliliğinin remediasyonu için mevcut kirli sedimentlerin bir kısmının temiz sedimentler ile kaplanmasıının gelecekteki benzo(a)piren konsantrasyonlarını nasıl etkileyeceğini incelemek üzere gerçekleştirilen dinamik model simülasyonları, belirsizlik ve duyarlılık analizi amacıyla benzo(a)piren'in körfezdeki akıbetinin kararlı durum simülasyonu üzerinde gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonları verilmiştir.

Bölüm 5'te ise sonuçların özeti ve öneriler verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHlar), iki ya da daha fazla benzen halkasından oluşan organik kimyasal bileşiklerdir (Çetindamar ve diğ., 2014; Hasanoğlu, 2019; Srogi, 2007). Bitki örtüsü ve fosil yakıtlar gibi organik materyallerin tam yanmaması sonucu oluşmaktadır. Doğal yollarla ya da antropojenik aktiviteler sonucu çevreye yayılabilmezdirlər. Doğal yollarla çevreye salınımıları, volkanik patlamalar, biyojenik emisyonlar ve orman yangınları sonucu olmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için fosil yakıtların kullanımında, tam yanmanın gerçekleşmemesi, petrol türevi ürünlerin kullanılması, ihmaller ve kazalar sonucunda petrol döküntüleri gibi olaylar antropojenik kaynaklı PAH salınımılarına sebep olmaktadır (Chen ve diğ., 2020; Demir ve Demirbağ, 1999; Lee ve diğ., 2001; Smith ve Harrison, 1996; Yang ve diğ., 1998).

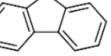
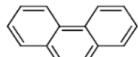
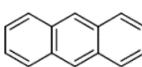
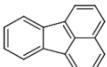
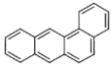
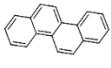
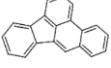
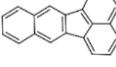
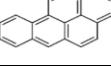
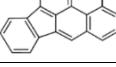
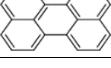
PAHların doğada 100'den fazla bileşiği bulunmaktadır bunlardan 16 tanesi (Naftalin, Asenaftilen, Asenaften, Floren, Fenantren, Antrasen, Floranten, Piren, Benzo(a)antrasen, Krisen, Benzo(b)floranten, Benzo(k)floranten, Benzo(a)piren, İndeno(1,2,3-cd)piren Dibenzo(a,h)antrasen, Benzo(g,h,i)perilen) A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency-EPA) tarafından öncelikli kirletici olarak kabul edilmektedir (Tablo 2.1) (Dat ve Chang, 2017; Xu ve diğ., 2020).

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar eksik yanma tepkimeleri sonucu açığa çıktıktır için genellikle saf halde bulunmazlar. Saf halde bulunduklarında ise renksiz veya farklı renklerde (sarı, yeşil, beyaz) bulunabilir ve hoş kokulu olabilirler (Alver ve diğ., 2012).

PAH bileşiklerinin oluşturduğu kaynaktan çıktıktan sonraki taşınımı, kalıcılıkları ve toksisiteleri fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, çevresel ortamların özellikleri de PAH'ların çevredeki yayılımlarını etkilemektedir (Merhaby ve diğ., 2019). PAHların çevresel taşınımını ve farklı ortamlar arası dağılımını belirleyen temel fiziksel ve kimyasal özellikler; buhar basıncı (P_L), suda çözünürlük (SWL), hava-su paylaşım katsayısı (K_{AW}) ve oktanol-su paylaşım katsayıdır (K_{ow}). Bu fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenirken termodinamik olarak tutarlılık göstermelerine

dikkat edilmelidir (Beyer ve diğ., 2002). Tablo 2.2'de 16 PAH için literatürden derlenen fiziksel-kimyasal özellikler verilmiştir.

Tablo 2.1. 16 öncelikli PAH bileşiğinin kimyasal formülü ve yapısı

PAH	Kısaltma	Kimyasal Formül	Yapısı
Naftalin	NaP	C ₁₀ H ₈	
Asenaftilen	AcNP	C ₁₂ H ₈	
Asenaften	AcN	C ₁₂ H ₁₀	
Floren	Fl	C ₁₃ H ₁₀	
Fenantren	PhA	C ₁₄ H ₁₀	
Antrasen	AN	C ₁₄ H ₁₀	
Floranten	FlA	C ₁₆ H ₁₀	
Piren	Py	C ₁₆ H ₁₀	
Benzo(a)antrasen	BaA	C ₁₈ H ₁₂	
Krisen	Chy	C ₁₈ H ₁₂	
Benzo(b)floranten	BbFlA	C ₂₀ H ₁₂	
Benzo(k)floranten	BkFlA	C ₂₀ H ₁₂	
Benzo(a)piren	BaP	C ₂₀ H ₁₂	
İndeno(1,2,3-cd)piren	IP	C ₂₂ H ₁₂	
Dibenzo(a,h)antrasen	dBahA	C ₂₂ H ₁₄	
Benzo(g,h,i)perilen	BghiP	C ₂₂ H ₁₂	

Tablo 2.2. Seçilen PAH bileşiklerinin 25°C'deki fiziksel-kimyasal özellikleri

PAH	Moleküler ağırlık ^a (g/mol)	$\log(S_{WL})^a$ (log mol/m ³)	$\log(K_{AW})^a$	$\log(K_{ow})^a$	$\log P_L$ (Sıvı buhar basıncı) ^a (log Pa)
Naftalin	128,17	-0,09	-1,73	3,40	1,58
Asenaftilen	152,19	-0,57	-2,41	3,85	0,41
Asenaften	154,21	-0,91	-2,24	3,95	0,24
Floren	166,22	-1,22	-2,44	4,11	-0,27
Fenantren	178,23	-1,62	-2,76	4,47	-0,99
Antrasen	178,23	-1,94	-2,69	4,57	-1,23
Floranten	202,25	-2,29	-3,27	4,97	-2,17
Piren	202,25	-2,51	-3,27	5,01	-2,38
Benzo(a)antrasen	228,29	-3,22	-3,59	5,83	-3,42
Krisen	228,29	-3,44	-3,82	5,67	-3,87
Benzo(b)floranten	252,31	-3,80	-4,58	5,86	-4,98
Benzo(k)floranten	252,31	-3,52 ^d	-4,72 ^d	6,11 ^d	-4,84 ^d
Benzo(a)piren	252,31	-4,18 ^d	-4,30 ^d	6,67 ^d	-5,09 ^d
İndeno(1,2,3-cd)piren	276,33	-4,88	-4,70	6,57	-6,18
Dibenzo(a,h)antrasen	278,36 ^e	-5,05 ^e	-5,24 ^e	6,75 ^e	-6,13 ^c
Benzo(g,h,i)perilen	276,33	-4,96	-4,77	6,63	-6,34

a: (Ma ve dig., 2010)

b: (Mackay ve dig., 2006)

c: (Odabasi ve dig., 2006)

d: (Rodgers ve dig., 2021)

e: (US EPA, 2012)

Düşük moleküler ağırlığa sahip olan PAHların (halka sayısı dörtten küçük olan) sudaki çözünürlükleri ve buhar basınçları, daha yüksek moleküler ağırlığa sahip olan PAH'lara oranla daha fazladır. Moleküler ağırlık arttıkça PAHların Kow değerleri ve dolayısı ile hidrofobiklikleri artmaktadır (Chen, 2020). Bu nedenle, yüksek moleküler ağırlığa sahip PAHların büyük bir kısmı suda çözünmüş halde bulunmak yerine partiküllere tutunmuş

halde bulunmaktadır (Binici, 2008; Köseler, 2008). PAHlar; atmosferde, toprakta, sucul ortamlarda, sedimentte ve canlı dokularında bulunabilirler (Maletić ve diğ., 2019; Meng ve diğ., 2019; Srogi, 2007). Her ne kadar bulundukları ortama göre fotodegradasyona, oksidasyona ve biyodegradasyona uğrayarak bozunabilseler (Binici, 2008) de kaynaklarından çıktıktan sonra uzun mesafelerce taşınabilmektedirler. Bu yüzden PAHlara sadece kaynaklarının etrafında değil, kaynaklardan uzak bölgelerde de rastlanabilmektedir (Ma ve diğ., 2019; Ravindra ve diğ., 2008).

Atmosfere salınan PAHlar, atmosferik çökelme ile toprağa, sucul ortama ve bitki örtüsüne transfer olabilirler. Atmosferik çökelme, kuru ve yaş çökelme olarak ikiye ayrılabilir. Kuru çökelme, atmosferdeki partiküllere tutunmuş halde bulunan PAHların yerçekimi etkisiyle, yaşı çökelme ise atmosferde partikül fazdaki PAHların yağışlar ile yeryüzüne inmesidir. Yağmur damlalarında çözünmüş halde bulunan PAH bileşikleri de yağışlar ile karasal ve sucul ortamlara transfer olabilmektedirler. Atmosferden yüzey sularına taşınan PAHlar, buharlaşma yolu ile tekrar atmosfere geri dönebilir, su ortamındaki partiküllere tutunarak sedimentlere çökelebilir ya da suda yaşayan canlılarda birikime (biyobirikim) uğrayabilirler. Toprağa çökelen PAHlar da buharlaşabilir ya da bitki bünyesine alınabilir (Bandowe ve Meusel, 2017).

Çevremizde oldukça yaygın halde bulunan ve canlılarda birikim gösteren bu organik kimyasal bileşiklerin, canlılara olan zararları uzun zamandır bilinmekte ve incelenmektedir. İlk kez, 1775 yılında İngiltere'de yaşayan ve bir doktor olan Percival Pott, Skrotum kanserinin baca temizleyicilerinde çok sık görüldüğünü fark etmiş ve bunu yaptıkları meslek ile ilişkilendirmiştir. Böylelikle kömür, katran ve ziftin zararları anlaşılmıştır (John ve John, 1957). Bunu takip eden yıllarda da benzer çalışma ortamlarında kanser vakalarına rastlanmış ancak 1920'lerden sonra kömür katranı karışımlarının, kanserojen bileşeninin PAHlar olduğu anlaşılmıştır (Dipple, 1985).

Günümüzde gelişen medeniyet ve teknolojiyle birlikte artan enerji ihtiyacının, fosil yakıtlarla karşılaşması sonucunda PAH emisyonları artmış ve canlıların bu kanserojen bileşiklere maruziyet ihtimali de yükselmiştir. Araç trafiğinin yoğun olduğu yol kenarlarında yetiştirilen bitkilerin (Kumar ve diğ., 2021), bu bitkileri yiyecek beslenen hayvanların; tütsüleme, kavurma, ızgara gibi yöntemler ile hazırlanan yemeklerin (Günç

Ergönül ve Kaya, 2015; Tongo ve dig., 2017) PAHlar ile etkileşimi sonucu, besin zincirinin son halkası denebilecek insanlar da zarar görmektedir (Maletić, 2019).

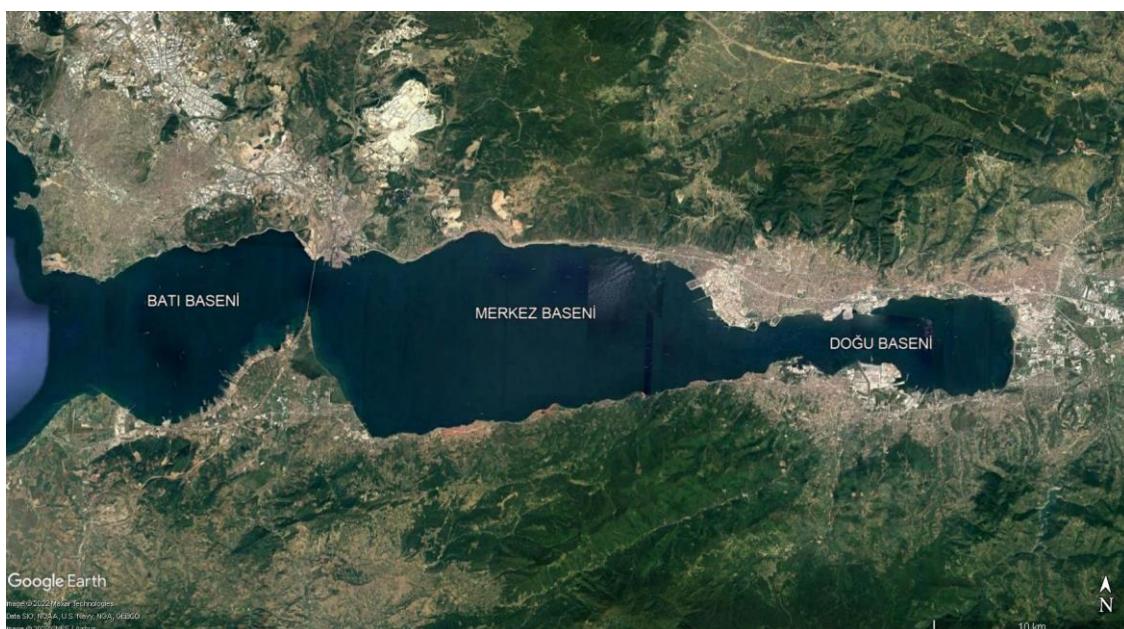
PAHlar, hidrofobik yapıda olmaları ve yağlarda kolayca çözünebilmeleri sebebiyle canlıların yağ dokularında birikmekte ve uzun süreler boyunca kalabilmektedir. Yağ dokularında birikmeye başlayan PAHlar bir süre sonra vücut tarafından atılmaya çalışmaktadır ancak bu süreçte gerçekleşen aktiviteler sonucu PAH bileşikleri, DNA'ya bağlanmakta ve kontrollsüz hücre çoğalmasına, dolayısıyla da tümör oluşumlarına ve kansere neden olmaktadır (Alver, 2012; Kılıç ve dig., 2017; Yan ve dig., 2019).

Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların sucul ve karasal sistemlerdeki dağılımının, farklı çevresel ortamlardaki konsantrasyonlarının ve potansiyel zararlarının belirlenmesi sonrasında atılacak bir diğer adım da bu kirleticilerin bulunduğu ortamdan uzaklaştırılması ve o ortamın iyileştirilmesi (remediasyon) olabilir. Remediasyon çalışmaları, temizlenecek ortamın bulunduğu konumda (*in-situ*) ya da temizlenecek ortamın bulunduğu konumdan farklı bir konumda (*ex-situ*) olacak şekilde gerçekleştirilebilir (Maletić ve dig., 2019). Bunu için fizikokimyasal remediasyon ve biyoremediasyon teknikleri geliştirilmiştir. Örneğin; sucul sistemlerde PAH giderimi için geleneksel yöntemler ve gelişmiş oksidasyon yöntemleri (Rubio-Clemente ve dig., 2014), sucul ve karasal sistemlerde PAH giderimi için membran filtrasyonu, toprak yıkama, adsorpsiyon, elektrokinetik, termal ve fotokatalitik (Patel ve dig., 2020) yöntemleri ve sedimentte PAH giderimi için çeşitli mikroorganizmalarla parçalama gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

2.2. İzmit Körfezi

İzmit Körfezi, Marmara Bölgesi’nde, Marmara Denizi’nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Kuzey enlemleri $40^{\circ}41'$ - $40^{\circ}47'$ ve doğu boylamları ise $29^{\circ}21'$ - $29^{\circ}57'$ dir (Tan ve Aslan, 2020). Yaklaşık olarak 50 km uzunluğa, 2 ile 10 km arasında değişen genişliğine ve yaklaşık 300 km^2 yüzey alanına sahiptir (Ergül, 2020). İzmit Körfezi’nin su hacmi ise toplamda 18 km^3 ’tür (Tolun ve dig., 2012). Doğu, merkez ve batı olmak üzere 3 ayrı basenden (Şekil 2.1) oluşmaktadır (Pekey, 2006). Doğu baseni Kocaeli’nin Gölcük ve Derince ilçeleri arasında yer almaktadır. En derin noktası 30 m olması sebebiyle İzmit Körfezi’nin en sıç bölümündür. Uzunluğu 15 km ve yüzey alanı da 44 km^2 dir (Hasanoğlu,

2019). Batı baseni 100 km^2 yüzey alanına, ortalama 50 m derinliğe sahiptir ve bu derinlik Marmara Denizi'ne doğru gidildikçe artmaktadır (Altıok ve dig., 2020). İzmit Körfezi'nin en derin ve en büyük baseni olan Merkez baseni ise 200 m derinlige, 170 km^2 yüzey alanına (Ergül ve Karademir, 2020), 20 km uzunluğa ve $12,420 \text{ km}^3$ 'luk su hacmine sahiptir (Algan ve dig., 1999).



Şekil 2.1. İzmit Körfezi Doğu-Merkez-Batı basenleri

İzmit Körfezi'nde, Marmara Denizi'ne benzer bir tabakalaşma mevcuttur. Karadeniz'den gelen az tuzlu su, Akdeniz'den gelen tuzlu su ve bu iki tabakayı ayıran ara tabaka olmak üzere toplamda 3 tabaka mevcuttur (Beşiktepe ve dig., 1994). Karadeniz suları, körfez sularının üst katmanını oluşturmaktadır ve 18-22 ppt arası tuzluluğa sahip olup mevsimsel olarak değişim gösteren 10-30 m kalınlığında bir tabakadır. Akdeniz suları, körfez sularının alt katmanını oluşturmaktadır ve ortalama 38 ppt tuzluluğa sahiptir. Karadeniz ve Akdeniz sularını ayıran ara tabaka ise 7-24 m arasında değişen bir kalınlığa sahiptir (Ergül, 2016; Tuğrul ve Morkoç, 1990).

Kanık, (2019) çalışmasında da bahsedildiği üzere İzmit Körfezi ve çevresi tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış ve coğrafi konumu münasebetiyle ilgi odağı olmuştur. Sahip olduğu yarı kapalı körfez özelliği ve dik yamaçları sayesinde güvenilir bir liman kenti olmuş, uzun süreler boyunca askeri üs olarak kullanılmıştır. Daha sonraları küresel ticaret ağının gelişimiyle, uğrak bir nokta olmuş ve ticaretteki önemi artmıştır.

Cumhuriyetin ilanı ile birlikte Türkiye'de sanayileşme konusunda atılımlar yapılmış ve 1936 yılında SEKA Kağıt fabrikasının kurulmasıyla İzmit'in nüfusu ve ekonomisindeki hareketlenmelerde artış görülmüştür (Demirarslan ve Demirarslan, 2016). Özellikle 1950'li yıllarda itibaren, yerli ve yabancı yatırımcılar tarafından birçok fabrika kurulmuş ve günümüzde Türkiye'de sanayinin kalbi olmuştur (Yıldız ve Döker, 2016).

Artan sanayi faaliyetleri ve İstanbul'a yakınlığı sebebiyle İzmit (Kocaeli), dışarıdan yoğun göç almış ve hızlı bir şekilde kalabalıklaşmıştır. Nüfus sayımlarına göre Kocaeli nüfusu, 1965 yılında 335.518 (URL-1) iken 2021 yılında 2.033.441'e (URL-2) ulaşmıştır.

İzmit Körfezi çevresinde, dar bir alanda nüfusun ve sanayinin bu denli artış göstermesi yoğun trafiğe (deniz ve kara) de neden olmuştur. Dolayısıyla körfez uzun yıllardan beri endüstriyel ve evsel emisyonların yanı sıra taşıt emisyonlarına da maruz kalmaktadır. Bu kirlilik, İzmit Körfezi ve çevresi için endişe uyandırmaktadır. Kirliliğin boyutlarını öğrenebilmek için Hasanoğlu, (2019)'un çalışmasında bahsedildiği gibi İzmit Körfezi'nde kirlilik tespiti çalışmaları yapılmış ve farklı ortamlardaki kimyasal kirleticiler ve konsantrasyonları belirlenmiştir.

2.3. Çok-Ortamlı Kirletici Akıbet ve Taşınım Modelleri

Kimyasal kirleticilerin farklı çevresel ortamlar içerisindeki (hava, su, toprak, bitki), bu ortamlar arasındaki ve farklı bölgeler arasındaki taşınımlarını belirlemek üzere kullanılan çok-ortamlı kütle dengesi modellerinin geliştirilme ve uygulama esaslarını sistemli bir şekilde ortaya koyan çalışmalar, Mackay ve Paterson tarafından seksenli yılların başında gerçekleştirılmıştır (Mackay, 1979; Mackay ve Paterson, 1981; Mackay ve Paterson, 1982). Kirletici kimyasalın özelliklerine odaklanan bu modeller, kimyasalın kaynaklarını, farklı çevresel ortamlar arasında transferini, transformasyon ve bozunumunu ve taşınımını, niceliksel olarak belirlemek için görece basit bir yöntem sunmactaydılar. Sonraki yıllarda bu tür modeller popülerleşerek çevre kirliliği çalışmalarında geniş yer buldular (Mackay, 2004).

Çok-ortamlı akıbet modelleri, çevresel ortamları (örn. hava, toprak, su, bitki) birer kompartman olarak kavramsallaştırırlar (Mackay, 2001). Modellenecek bölge de bir

kompartmentlar topluluğu olarak ifade edilir. Daha sonra farklı ortamlar arası kimyasal kirletici transferlerinin ve ortam-içi akibet süreçlerinin matematiksel ifadeleri kullanılarak her bir kompartment için bir kütle dengesi denklemi geliştirilir.

Çok-ortamlı kütle dengesi modellerinden farklı bir modelleme yaklaşımı, kimyasal taşınım modelleri olarak adlandırılabilir. Çok-ortamlı kütle dengesi modellerinde çevresel parametreler (örn. su ve hava dolaşım hızları) için ortalama değerler kullanılırken, kimyasal taşınım modellerinde bu parametreler de ayrıntılı olarak ifade edilir. Bu yüzden, kimyasal taşınım modelleri, modellenecek ortamda taşıyıcının (örn. su, hava) akışını hesaplayan diğer modellerle birlikte çözülürler. Taşıyıcı ortamın özelliklerinin ayrıntılı olarak modellenmesi, yüksek kapasitede hesaplama kaynaklarına ihtiyaç yanında, yüksek veri gereksinimi de yaratmaktadır. Kimyasal taşınım modelleri gerçek bir çevresel probleme uygulandıklarında çoğu zaman model kalibrasyonu için dahi yeterli veri seti bulunmamaktadır. Var olan veriler de her zaman için belirsizlik içermektedirler. Bu yüzden çevresel şartların ayrıntılı olarak modellendiği kimyasal taşınım modelleri, belirli bir bölgedeki kirletici akibetini açıklamada çok-ortamlı kütle dengesi modellerinden daha başarılı olamayabilmektedirler (Macleod ve dig., 2010). Özellikle kalıcı kimyasallar için, çok-ortamlı kütle dengesi modellerinin gözlem verileri ile yüksek derecede uyumlu sonuçlar verdiği gösteren çalışmalar mevcuttur (Cowansberry ve dig., 2009; Macdonald ve dig., 2000).

Kütle dengesi modellerinin farklı ve çok sayıda çevresel ortamda kirlilik analizi yeteneği ve kimyasalların ortamlar arası transfer ve ortam içi akibet süreçlerini kimyasalın karakteristik özelliklerine bağlı olarak, niceliksel olarak açıklama özelliği, bu tür modellerin dünya çapında iki farklı yaygın kullanımına yol açmıştır. İlk sınıf kullanım, bu modelleme metodolojisinin önemli bir parçası olan “birim dünya” kavramını temel alır. Standardize edilmiş çevresel özelliklere sahip çok-ortamlı “birim dünyalar” içerisinde farklı kimyasalların akibetinin modellenmesiyle farklı kimyasalların çevresel riskinin birbiri ile karşılaştırılması mümkün olur (Hughes ve dig., 2012; Mackay ve dig., 2003; Mackay, 2004). İkinci sınıf ise, çok-ortamlı kütle dengesi modellerinin belirli bir bölge için parametrize edilmesi ile, o bölgede kirlilik problemi yaratması muhtemel kimyasalların akibetinin analizi için kullanılmasıdır. Bu sınıfa giren uygulama örnekleri pek çok farklı coğrafi ölçüye kapsamaktadır. Örneğin göl (Gokgoz-Kilic ve Aral, 2008;

Mackay ve Diamond, 1989; Mackay ve Hickie, 2000; Xu ve diğ., 2013), havza (Coulibaly ve diğ., 2004; Coulibaly ve diğ., 2004; Hollander ve diğ., 2006; Luo ve diğ., 2007), ülke (Sweetman ve diğ., 2002; Woodfine ve diğ., 2002), kıta (Macleod ve diğ., 2001; Macleod ve diğ., 2002; Pennington ve diğ., 2005; Prevedouros ve diğ., 2004) ve hatta yerküre (Macleod ve diğ., 2011; Toose ve diğ., 2004; Wei ve diğ., 2008) ölçüğünde kirlilik analizi için çok-ortamlı akibet modelleri geliştirilmiştir.

Çok-ortamlı kütle dengesi modellerini ya da kimyasal taşınım modellerini içeren uygulamalar Türkiye'de henüz yaygın değildir. Buna neden olarak çevresel veri setlerinin yetersizliği gösterilebilir. Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki organik ya da inorganik kirliliği ortaya koymaya yönelik saha çalışmaları son yıllarda artış göstermesine rağmen, bu çalışmaların kirletici akibeti ve taşınımı modelleri ile desteklenmesi kısıtlı seviyede kalmıştır. Oysa, kimyasal kirliliğin bütüncül bir analizi için saha, laboratuvar ve modelleme çalışmalarının birlikte yürütülmesine ihtiyaç vardır. Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen, problem bölgesi ve kimyasal kirleticiye ait veriler, söz konusu bölge ve kirletici için geliştirilen modele girdi olurken, model çıktıları, ölçülmESİ zor ya da imkânsız olan çevresel verilerin elde edilmesinde kullanılabilir. Model sonuçları ile gözlem verilerinin karşılaştırılması, ilgili çevresel süreçlere dair bilimsel bilgideki yetersizlikleri ortaya çıkararak, gelecekteki saha ve laboratuvar çalışmalarına yol gösterir, modellerin iyileştirilmesini sağlar.

2.3.1. Fugasite Tabanlı Modeller

Kütle transfer süreçlerinin tanımlanması ve kütle korunumu denklemlerinin yazılması sıkılıkla “fugasite” yaklaşımını temel alarak yapılmaktadır. Fugasite, bir kimyasalın bulunduğu ortamdan “kaçma eğilimi” olarak tanımlanabilir ve birimi basınçtır (Pa). Belli bir kimyasalın belli bir ortamdaki fugasitesi (f), o kimyasalın o ortamdaki konsantrasyon değeri (C , mol m⁻³) ile doğru orantılıdır ve şu denklemle ifade edilebilir: $C = fZ$. Fugasite ve konsantrasyon arasındaki orantıya o kimyasalın o ortamdaki fugasite kapasitesi (Z) adı verilir ve birimi mol m⁻³ Pa⁻¹'dır. Çok ortamlı akibet modellerinde fugasite yaklaşımının kullanımı, ortamlar arası kimyasal taşınımının matematiksel ifadesini kolaylaştırdığı için tercih edilmektedir. Bu yaklaşım ile kütle dengesi denklemleri oluşturulurken kullanılan bir diğer kavram ise D değerleridir. D değerleri (mol Pa⁻¹ gün⁻¹), kimyasalın ortamlarındaki ve arasındaki taşınım ve dönüşüm süreçlerinin ifadesidirler. Her bir kompartman

için kimyasal girdilerinin (çevresel emisyonlar, diğer kompartmanlardan taşınım) ve çıktılarının (diğer kompartmanlara taşınım, bozunum, modellenen bölge dışına kayıplar) tanımlanmasıyla her bir kompartman için bir kütle dengesi denklemi oluşturulur. Bunun ardından, kütle dengesi denklemlerinin çözümü sonucu, modellenen her kompartman içerisinde kimyasal kirleticinin fugasitesinin (ve de konsantrasyonunun) zamana bağlı değişimi belirlenir. Çeşitli yaklaşımlarla model denklemlerinin basite indirgetilmesi (örn. kompartmanlar arası ani denge varsayıımı, kararlı durum varsayıımı) ya da karmaşıklaştırılması (örn. modellenen sistemin segmentlere ayrılması) mümkündür. Model denklemlerinin karmaşaklılığı 4 farklı seviyede incelenebilir. Bunlar basitten karmaşağa doğru Seviye I, Seviye II, Seviye III ve Seviye IV hesaplamalarıdır.

Seviye I hesaplamaları, ortamlar arası denge ve kararlı durum varsayımlarının olduğu, girdi ve kayıp süreçlerinin olmadığı kapalı sistemlerde; Seviye II hesaplamaları, ortamlar arası denge ve kararlı durum varsayımlarının olduğu, girdi ve kayıp süreçlerinin olduğu açık sistemlerde; Seviye III hesaplamaları, kararlı durum varsayıminin olduğu, ortamlar arası denge varsayıminin olmadığı, girdi ve kayıp süreçlerinin yaşadığı açık sistemlerde; Seviye IV hesaplamaları, ortamlar arası denge ve kararlı durum varsayımlarının olmadığı, girdi ve kayıp süreçlerinin olduğu açık sistemlerde kullanılabilir. Burada, ortamlar arası denge varsayımindan bahsedilirken, sistemde bulunan tüm ortamlardaki fugasitenin birbirine eşit olduğu, kararlı durum varsayımindan bahsedilirken de sistemdeki girdi ve çıktıların birbirine eşit olduğu durumları belirtilmektedir. Eldeki verilere ve model sonuçlarındaki ayrıntı ihtiyacına göre, 4 farklı seviyedeki hesaplamalar arasından seçim yapılabilir. Fugasite yaklaşımı ile çok-ortamlı akıbet modelleri geliştirilmesi yöntemine dair ayrıntılar Mackay'de (2001) bulunabilir.

Kimyasal akıbet ve taşınım modellerinin geliştirilmeye başlandığı sekisenli yillardan bu yana, fugasite tabanlı pek çok çok-ortamlı akıbet modeli geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Örneğin Mackay, (2001) çalışmasına dayanan Level I, Level II ve Level III Modelleri, Hughes ve dig., (2012); Mackay ve dig., (1996) çalışmalarında bahsedilen EQC (EQuilibrium Criterion) modeli, Campfens ve Mackay, (1997); Hill ve dig., (2012) çalışmalarındaki FoodWeb modeli, Liu ve dig., (2019); Mackay ve dig., (1983); Wang ve dig., (2020) çalışmalarındaki QWASI (Quantitative Water Air Sediment Interaction)

modeli, Clark ve diğ., (1990) çalışmasındaki FishModel gibi modeller fugasite tabanlı modellere örnek olarak gösterilebilir.

2.3.2. QWASI Modelleri

QWASI (Quantitative Water Air Sediment Interaction) modelleri çok-ortamlı kütle dengesi yaklaşımı ile kimyasal kirleticilerin göl sistemlerindeki akibetini açıklamak üzere geliştirilmiştir (Mackay, 1983). Bu tür modeller daha sonraları göl sistemlerinin yanında körfez sistemlerinde de hem organik hem inorganik kirleticilerin akibetini belirlemek için yaygın olarak kullanılmıştır (Gokgoz-Kilic, 2008; Greenfield ve Davis, 2005; Mackay, 1989; Mackay, 2000; Xu, 2013). Göl ve körfez sistemleri için geliştirilen bu modeller hava, su ve sediment olmak üzere üç kompartmandan oluşmaktadır. Bu üç kompartmanın temsil ettiği üç çevresel ortam arasındaki kütle transfer süreçleri tanımlanmakta ve her bir kompartman için kütle korunumu denklemleri oluşturulmaktadır. Kimyasal emisyon oranı, suda advektif akış, atmosferik çökelme ve atmosferdeki kirletici konsantrasyon verilerini kullanarak su ve sedimentteki organik kimyasalların konsantrasyonları tahmin edilebilir (Mackay ve diğ., 2014). QWASI modelleri ile kimyasal kirleticinin konsantrasyonunu hesaplayabilmek için o kimyasalın fiziksel-kimyasal özellikleri (moleküler ağırlık, erime noktası, buhar basıncı, yarılanma ömrü vb.) ile modellenenek bölgelin çevresel özelliklerine (yüzey alanı, hacim, aktif sediment derinliği vb.) de ihtiyaç vardır (Abbasi ve Mannaerts, 2020).

2.3.3. Belirsizlik Analizi

Çok-ortamlı akibet modellerinde belirsizlik analizi için en yaygın kullanılan yöntem Monte Carlo yaklaşımıdır (Macleod ve diğ., 2002). Monte Carlo yaklaşımı, model girdilerinin tekil değerler yerine istatistiksel dağılımları ile tanımlanmalarını ve daha sonra bu dağılımlar içerisinde örneklemeye yapılarak elde edilen parametre setleri ile çok sayıda model simülasyonu yapılmasını içerir. Monte Carlo simülasyonları sonucu ilgili model çıktıları da tekil değerler yerine üzerinde istatistiksel analiz yapılabilen (alt ve üst sınırları, ortalama ve standart sapmaları belirlenebilen) veri setleri olarak elde edilirler. Böylece model sonuçlarındaki belirsizlik ve sonuçların güvenilirliği de niceliksel olarak ifade edilmiş olur. Çok-ortamlı akibet modellerinde Monte Carlo yöntemiyle belirsizlik analizi uygulaması örnekleri Cao ve diğ., 2004; Gokgoz-Kilic, 2008; Greenfield, 2005;

Luo ve Yang, 2007; Mackay, 2014; Wang ve diğ., 2004; Whelan ve diğ., 2019; Xu, 2013 ’da bulunabilir. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ile birlikte model simülasyon zamanlarının kısalması sayesinde, yöntemin gerektirdiği çok sayıda (10^3 - 10^4 ölçüğünde) simülasyonu gerçekleştirmek sorun olmaktan çıkmıştır. Ancak, belirsizlik analizine girecek her bir parametre için, analizin yapılacağı modelleme şartlarında, belirsizlik derecelerinin ve uygun istatistiksel dağılım şekillerinin parametrize edilmesinin gereklisi bazı durumlarda sorun teşkil edebilmektedir. Çevresel parametrelerde belirsizlik aralığını lognormal dağılım kullanarak ifade etmek çok yaygındır. Lognormal dağılımin pozitif değerlere doğru gösterdiği kayma ile sıfır ve sıfırdan küçük değerleri içermemesi çevresel parametreleri tanımlamada avantaj yaratmaktadır (Whelan, 2019). Model değişkenlerinden belirsizlik içeren parametreler için olasılık dağılımları tanımlandıktan sonra, bu dağılımlar içerisinde teknar teknar örnekleme yapılarak farklı model girdi parametre setlerine sahip çok sayıda simülasyon gerçekleştirilir. Bu simülasyonların sonuçlarının toplamını içeren veri seti model çıktılarındaki belirsizliğin hesaplanmasında kullanılır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

118Y155 numaralı ve “İzmit Körfezi için Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti Modeli Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında İzmit Körfezi’nde farklı çevresel ortamlarda saha çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalardan elde edilen örnekler üzerinde fiziksel ve kimyasal analizler gerçekleştirılmıştır. Saha çalışmaları ve laboratuvar analizleri sonucunda PAH kirliliğinin İzmit Körfezi’ndeki durumunun belirlenebilmesi ve çok-ortamlı akibetini açıklayacak matematiksel model için girdi ve doğrulama verisi elde edilmesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen saha çalışmaları ve örneklemeler ile laboratuvar analizlerinde kullanılan yöntemler bu bölümde sunulmuştur. Ayrıca, geliştirilen körfez akibet modelinin yapısı ve bilgisayar programının özellikleri açıklanmaktadır.

3.1. Saha Çalışmaları ve Örneklemeler

Saha çalışmaları ve örneklemeler Ağustos 2019 ile Aralık 2020 tarihleri arasında gerçekleştirılmıştır. Saha çalışmaları kapsamında atmosferik PAH örneklemeleri, deniz suyu ve sedimenti örneklemeleri ve dere suyu örneklemeleri gerçekleştirılmıştır.

3.1.1. Atmosferik PAH Örneklemeleri

Atmosferik çökelme ve gaz-sıvı değişimi yoluyla İzmit Körfezi’ne giren gaz ve partikül fazlarındaki PAH bileşiklerinin tür ve konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla İzmit Körfezi kenarında bir örnekleme istasyonu kurulmuştur. Atmosferik PAH örneklerinin toplanmasındaki temel amaç bu yolla İzmit Körfezi’ne giren PAH’ların belirlenmesi olduğundan istasyon yerinin de mümkün olduğunda İzmit Körfezi yakınında olmasına dikkat edilmiştir. Konum dışında, istasyon yeri ile ilgili diğer önemli kriterler örnekleme cihazlarının çalışabilmesi için elektrik ihtiyacının karşılanması ve uzun dönemli örneklemeyi mümkün kılacak şekilde güvenli bir yer olması ve ulaşımın kolay sağlanmasıdır. Konum açısından uygun yerlerden biri olan ve elektrik, güvenlik ihtiyaçlarının sağlanması konusunda projeye destek olan Kocaeli Ticaret Odası’nın (KOTO) terasına, poliüretan foam (PUF) ile Islak-Kuru Çökelme örnekleyici (IKÇÖ) cihazları yerleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Atmosferik PAH örnekleme istasyonu

Atmosferik PAH izleme istasyonu, $40^{\circ}45'27''$ N ve $29^{\circ}56'32''$ E koordinatlarında, İzmit Körfezi'nden yaklaşık 500 m uzaklıkta ve yerden yaklaşık 10 m yükseklikte kurulmuştur. İstasyon yeri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Atmosferik PAH izleme istasyonunun konumu

PUF örnekleyici ile örneklemeler Ekim 2019 – Aralık 2020 tarihleri arasında gerçekleştirılmıştır. (Nisan-Haziran 2020 tarihleri arasında COVID-19 pandemisi

nedeniyle örneklemelere ara verilmek zorunda kalınmıştır.) PUF örneklerinin toplanma periyotları 13 günde bir 24 saatlik örnek alınacak şekilde düzenlenmiştir.

Havadaki gaz ve partikül fazlarındaki PAH bileşiklerinin eş zamanlı toplanması için, Thermo Scientific PUF (PolyUrethane Foam - PoliÜretan Köpük) örneklemeye sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.3). Yüksek hacimli hava örnekleyici olan bu sistem, partikül fazdaki PAH'ları 10.5 cm çapında cam elyaf filtre (Whatman) üzerinde ve ardından gaz fazdaki PAH'ları poliüretan köpük üzerinde toplayan iki kısımdan oluşmaktadır. Örnekler toplanmaya başlanmadan önce cihaz ortam şartlarına göre manometre yardımıyla kalibre edilmiştir. Örnekleyicinin akış debisi $0,225 \text{ m}^3/\text{dak.}$ olarak ayarlanmıştır. Her bir örnek için çekilen toplam gaz hacmi 322 m^3 ile 326 m^3 arasında değişmektedir.



Şekil 3.3. PUF örnekleyici

IKÇÖ cihazı ile örneklemeler Ekim 2019 – Kasım 2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. (Nisan-Haziran 2020 tarihleri arasında COVID-19 pandemisi nedeniyle örneklemelere ara verilmek zorunda kalılmıştır.) Her bir örneklemeye periyodu 13 gün olacak şekilde düzenlenmiştir.

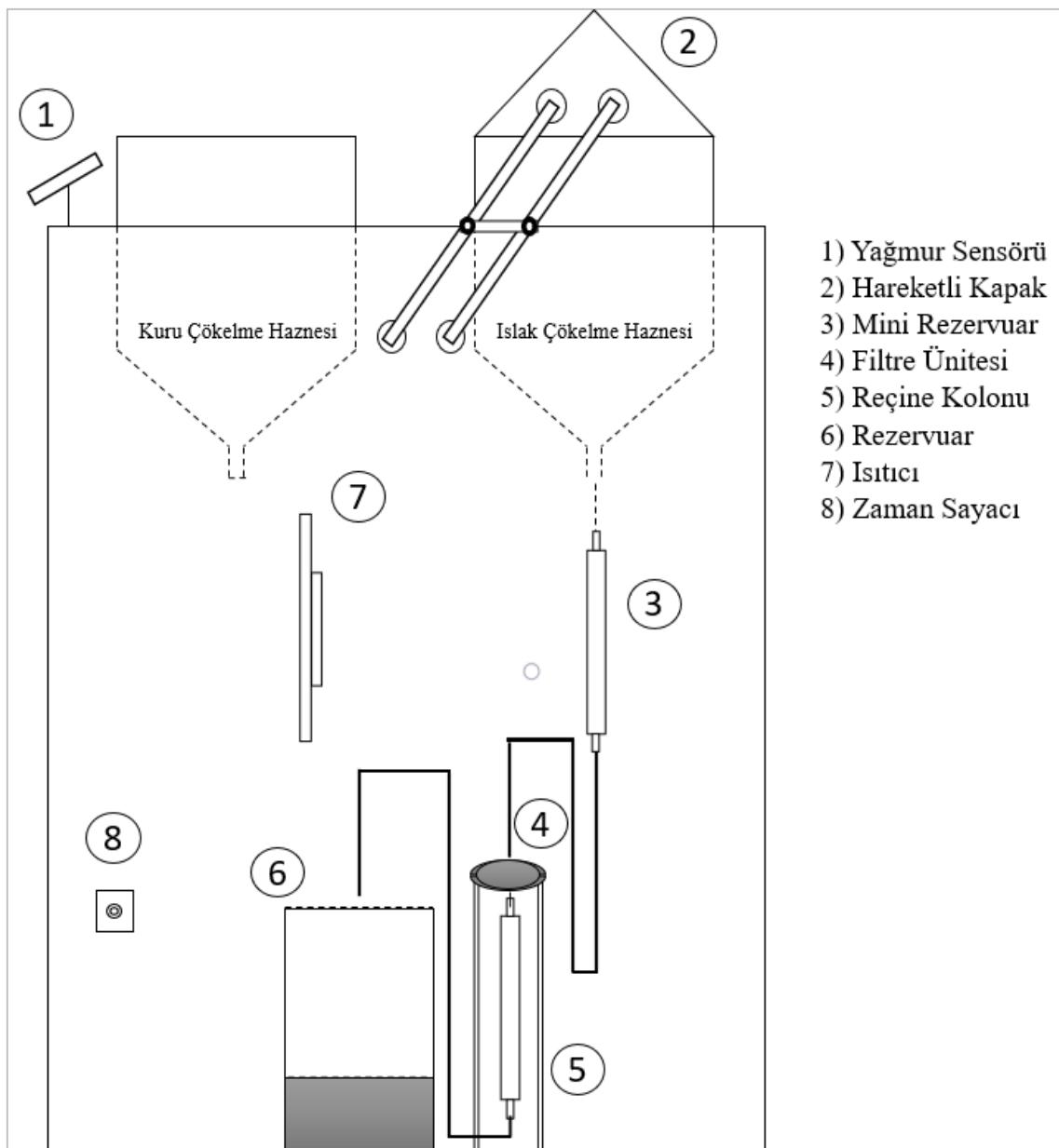
İslak çökelme akılarını tespit edebilmek amacıyla kullanılan farklı türde çökelme örnekleyicileri mevcuttur (Cindoruk ve dig., 2007). Bu ıslak çökelme örnekleyicileri iki farklı grupta incelenebilir. Bunlardan birisi yağışlı havalarda manuel olarak aktif edilmiş (Agrell ve dig., 2002; Backe ve dig., 2002; Mandalakis ve Stephanou, 2004) diğer ise yağışın başlamasıyla birlikte otomatik olarak aktif olup kullanılan (Blanchard ve dig., 2006; Park ve dig., 2001; Simcik ve dig., 2000; Van Ry ve dig., 2002) örnekleyicilerdir. Bu cihazlar ile yalnızca ıslak çökelme akıları tespit edilebildiği için kuru çökelme akılarının tespiti için farklı türde örnekleyiciler gereklidir.

Bu çalışmada hem ıslak hem de kuru çökelme akılarının tespit edilmesi amaçlandığı için Birgül ve dig. (2011) ve Günindi ve Tasdemir'in (2011) çalışmalarında bahsedilen ve ıslak çökelme örneklerinin yanında kuru çökelme örneklerinin de toplanabilmesi için modifiye edilmiş olan Islak-Kuru Çökelme Örnekleyicisi (IKÇÖ) kullanılmıştır (Şekil 3.4).

IKÇÖ, ıslak ve kuru çökelme örneklerini ayrı ayrı toplamaya yarayan iki farklı haznede sahiptir. Üzerindeki hareketli kapak, yağışın olmadığı zamanlarda ıslak çökelme haznesinin üstünü kapatmakta ve kuru çökelme haznesinde, kuru çökelme örneklerinin toplanmasını sağlamaktadır. Yağışın başlamasıyla beraber yağmur sensörü devreye girmekte ve hareketli kapak, kuru çökelme haznesinin üstünü kapatmaktadır. Böylelikle ıslak çökelme örnekleri, ıslak çökelme haznesinde toplanabilmektedir. Islak çökelme haznesinde biriken yağmur ve kar suları, haznenin altında bulunan delikten geçerek IKÇÖ sistemi içerisine alınmaktadır, partikülleri tutmaya yarayan filtreden ve çözünmüş fazdaki PAHları tutmaya yarayan reçineden geçmektedir ve son olarak sistem içerisinde bulunan rezervuarda depolanmaktadır. Aynı zamanda IKÇÖ içerisinde, örneklerin buharlaşmaması için filtrerin nemli kalmasını sağlayan mini rezervuar, soğuk havalarda örneklerin donmasını engelleyen ısıtıcı ve ıslak-kuru çökelme sürelerini kaydeden bir zaman sayacı mevcuttur. IKÇÖ şematik olarak Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



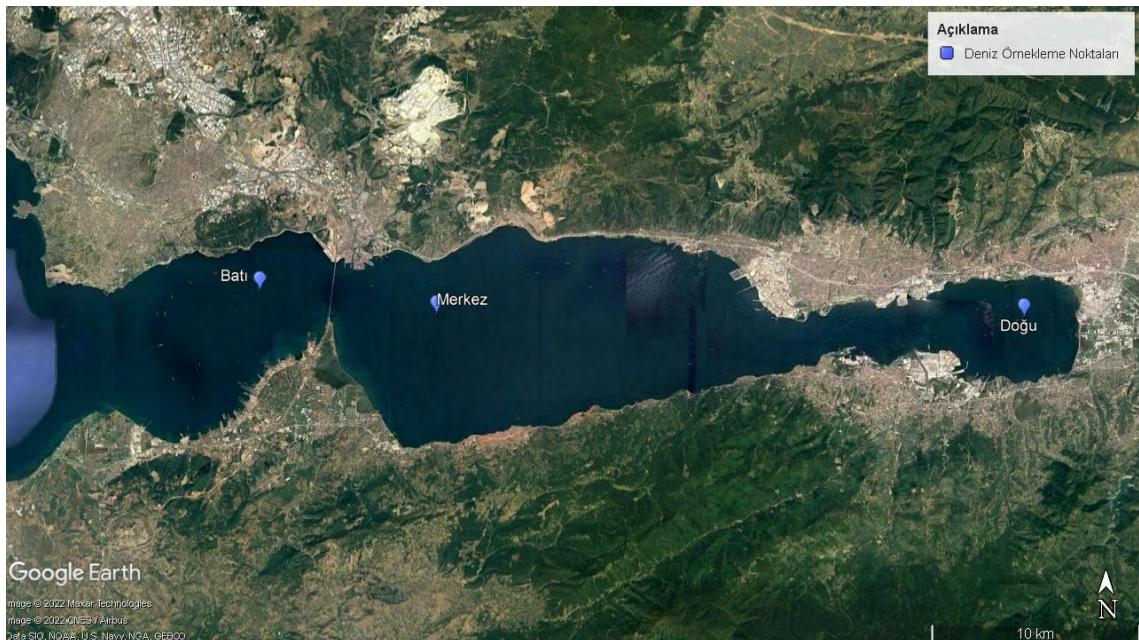
Şekil 3.4. Islak-Kuru Çökelme Örnekleyicisi (IKÇÖ)



Şekil 3.5. Islak-kuru çökelme örnekleyicisinin (IKÇÖ) şematik gösterimi

3.1.2. Deniz Suyu ve Sediment Örneklemeleri

İzmit Körfezi'nin doğu, merkez ve batı alt-bölgelerinde deniz suyu ve sediment örneklemeleri gerçekleştirılmıştır. Örnekleme noktaları, her bir alt-bölgeyi temsil etmesine ve eldeki imkanlarla deniz suyu ve yüzey sedimenti örneklemesi yapılmasına imkân verecek özellikle olmasına dikkat edilerek seçilmiştir (Şekil 3.6). Örneklemeler, Kocaeli Üniversitesi Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Halim Aytekin Ergül liderliğinde gerçekleştirılmıştır.



Şekil 3.6. Deniz örnekleme noktaları

Deniz örneklemleri Ağustos 2019, Kasım 2019, Şubat 2020 ve Temmuz 2020 aylarında toplam 4 dönem gerçekleştirilmiştir. Örneklemlerde Kocaeli Üniversitesi Hidrobiyoloji Laboratuvarı envanterinde bulunan Zodiac Bot kullanılmıştır (Şekil 3.7). Üçüncü ve dördüncü dönemlerinde (Şubat 2020 ve Temmuz 2020) merkez ve batı baseni örneklemleri, Hereke balıkçı limanından kiralanan, Hasan Avcı kaptanlığındaki balıkçı teknesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).

Her bir dönemde, deniz suyu örnekleri, doğu, merkez ve batı alt-bölgelerinden 3 L hacimli Nansen şişesi kullanılarak yüzey tabaka, ara tabaka ve alt tabakalardan alınmıştır. Her bir tabakadan toplam 6-9 L su örneği alınmıştır. Örnekleme derinliklerini belirlemek üzere, örnekleme başlangıcında Hydrolab DS5 data sonda ile ölçülen tuzluluk, sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak deniz suyunun yoğunluk profili ortaya çıkarılmıştır. Bunun için ilk olarak sıcaklık, tuzluluk ve basınç verileri sonda ile kaydedilmiş, kaydedilen veriler bilgisayarda işlenmiş ve her bir metre derinlik için sıcaklık, tuzluluk ve basıncın bir fonksiyonu olan Sigma-stp (σ_{stp}), Denklem (3.1)'deki şekilde;

$$\sigma(S, T, P) = \rho(S, T, P) - 1000, \text{ kg/m}^3 \quad (3.1)$$

hesaplanmıştır.

Sonda verileri kullanılarak çizilen ve tabakalaşmayı gösteren yoğunluk-derinlik grafikleri Şekil 3.9-Şekil 3.13'de verilmiştir.

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 incelendiğinde, Ağustos-2019 örnekleme döneminde Doğu baseninde 10 m derinlikten itibaren yoğunluğun artmaya başladığı ve yaklaşık 20 m derinlikten sonra pek değişmediği, Merkez baseninde ise 10 m derinlikten itibaren yoğunluğun artmaya başladığı ve yaklaşık 30 m derinlikten sonra pek değişmediği görülmektedir. Bu nedenle Ağustos-2019 örnekleme döneminde su örneklemesi, Doğu baseni ara tabakasını temsilen 15 m derinlikten ve Doğu baseni alt tabakasını temsilen 20 m derinlikten yapılmıştır. Aynı örnekleme dönemi için Merkez ve Batı basenleri benzer tabakalaşma özelliği göstermiş ve iki basen için de ara tabakayı temsilen 17 m derinlikten, alt tabakayı temsilen 42-43 m derinlikten su örneklemesi yapılmıştır.

Şekil 3.11 incelendiğinde, Kasım-2019 örnekleme döneminde Merkez baseninde 10 m derinlikten itibaren yoğunluğun artmaya başladığı ve yaklaşık 20 m derinlikten sonra pek değişmediği görülmektedir. Bu nedenle Kasım-2019 örnekleme döneminde su örneklemesi, Merkez basenin ara tabakasını temsilen 15 m derinlikten ve Merkez basenin alt tabakasını temsilen 30 m derinlikten yapılmıştır. Doğu ve Batı basenlerindeki suyun yoğunluk profili Merkez baseninden pek farklı olmadığı için örnekleme derinlikleri için yakın değerler seçilmiş ve Doğu basenin ara tabakasını temsilen 10 m, alt tabakasını temsilen 22 m derinlikten, Batı basenin ara tabakasını temsilen 18 m, alt tabakasını temsilen de 35 m derinlikten su örneklemeleri yapılmıştır.

Şekil 3.12 incelendiğinde, Şubat-2020 örnekleme döneminde Batı baseninde 15 m derinlikten itibaren yoğunluğun giderek arttığı ve yaklaşık 30 m derinlikten sonra nispeten birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu nedenle Şubat-2020 dönemi su örneklemesi, Merkez ve Batı ara basenlerini temsilen 25 m derinlikten ve alt basenlerini temsilen de 45 m derinlikten yapılmıştır. Doğu baseninde ise belirgin bir tabakalaşma izlenmemiş, ara tabakayı temsilen 12 m derinlikten ve alt tabakayı temsilen 25 m derinlikten örnekleme yapılmıştır.

Şekil 3.13 incelendiğinde, Temmuz-2020 örnekleme döneminde gerek Batı gerekse Doğu basenlerinde deniz yüzeyinden itibaren yoğunluğun giderek arttığı ve yaklaşık 25 ila 30 m derinlikten sonra nispeten birbirine yakın değerler aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle alt

tabaka su örneklemesi Batı Baseninde ve Merkez Basende 45 m, Doğu Baseninde 25 m derinlikten yapılmıştır. Ara tabaka örneklemeleri ise Batı baseninde ve Merkez basende 10-12 m, Doğu Baseninde ise 8-10 m derinlikten yapılmıştır.

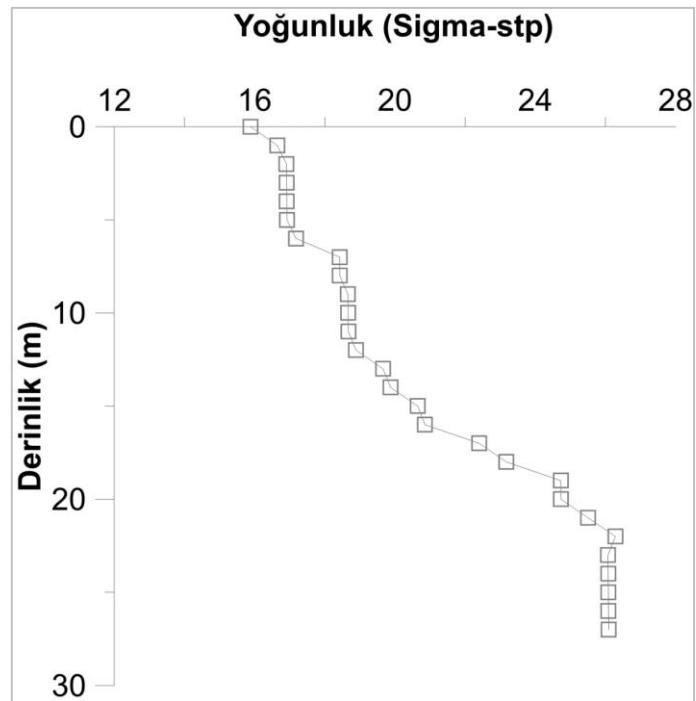
Su örneklerinden 2,5-5 litresi kimyasal analizler için amber renkli cam şişelere, geri kalanı ise fiziksel analizler (askıda katı madde, organik madde içeriği için plastik şişelere aktarılmıştır.



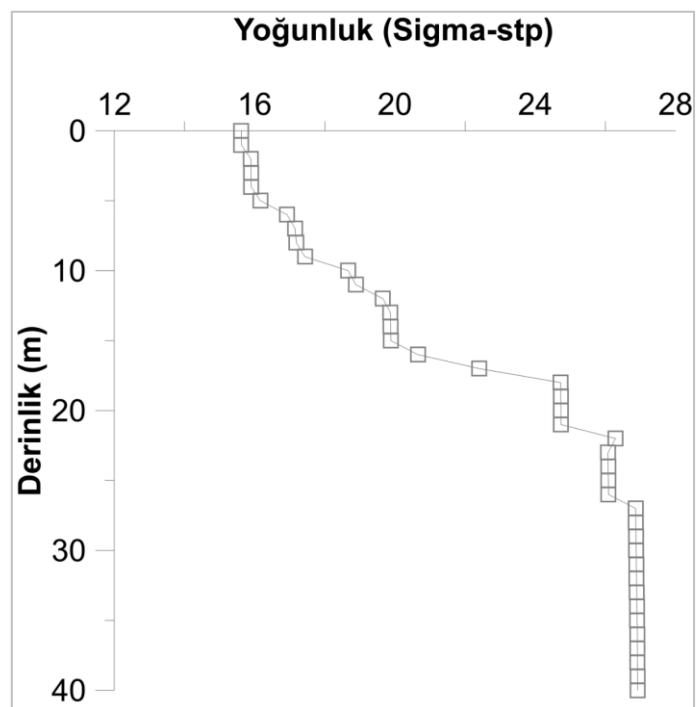
Şekil 3.7. Zodiac bot ile deniz örneklemeleri



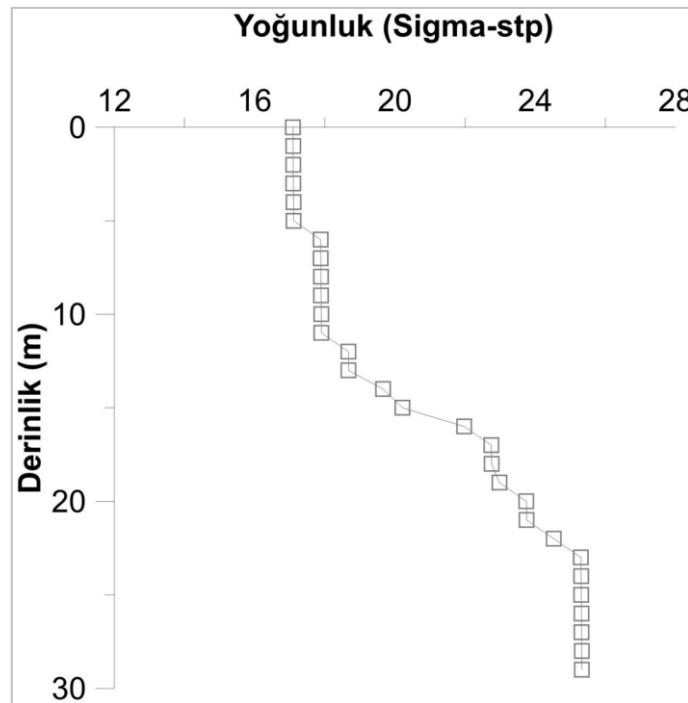
Şekil 3.8. Balıkçı teknesi ile deniz örneklemeleri



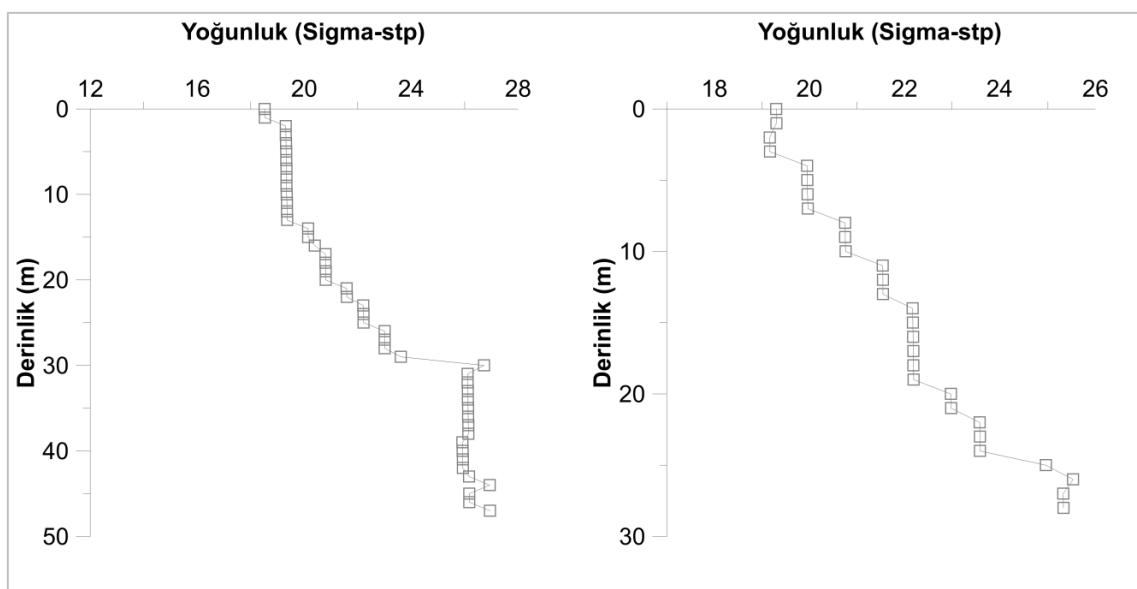
Şekil 3.9. Doğu alt-bölgesi için örnekleme noktasında deniz suyu yoğunluğu (σ_{stp}) profili (29 Ağustos 2019)



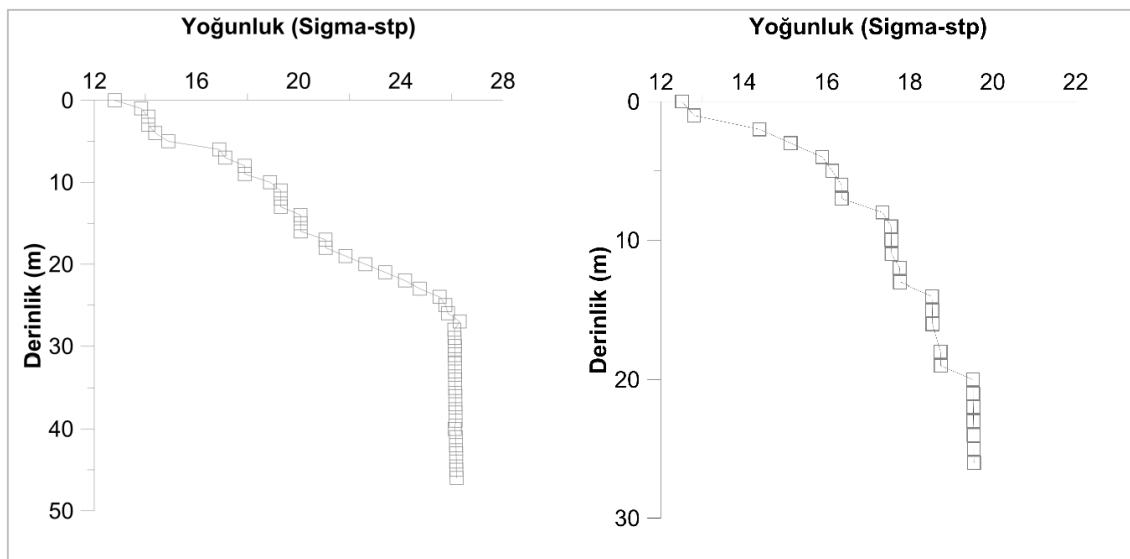
Şekil 3.10. Merkez alt-bölgesi için örnekleme noktasında deniz suyu yoğunluğu (σ_{stp}) profili (30 Ağustos 2019)



Şekil 3.11. Merkez alt-bölgesinde örnekleme noktasında deniz suyu yoğunluğu (σ_{stp}) profili (21 Kasım 2019)



Şekil 3.12. Batı alt-bölgesi (sol panel) ve Doğu alt-bölgesi (sağ panel) deniz suyu yoğunluğu (σ_{stp}) profilleri (Şubat 2020)



Şekil 3.13. Batı alt-bölgesi (sol panel) ve Doğu alt-bölgesi (sağ panel) deniz suyu yoğunluğu (σ_{stp}) profilleri (Temmuz 2020)

Geçerleştirilen deniz suyu örneklemelerinin ile alakalı örnekleme dönemi, örnekleme noktası ve derinlikleri gibi bilgililer Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Deniz suyu örnekleme derinlikleri

Körfez Alt-Bölgesi	Tabaka	Derinlik (m)			
		Ağustos 2019	Kasım 2019	Şubat 2020	Temmuz 2020
Doğu	Üst	0	0	0	0
	Ara	15	10	12	8-10
	Alt	20	22	25	25
Merkez	Üst	0	0	0	0
	Ara	17	15	25	10-12
	Alt	42	30	45	45
Batı	Üst	0	0	0	0
	Ara	17	18	25	10-12
	Alt	43	35	45	45

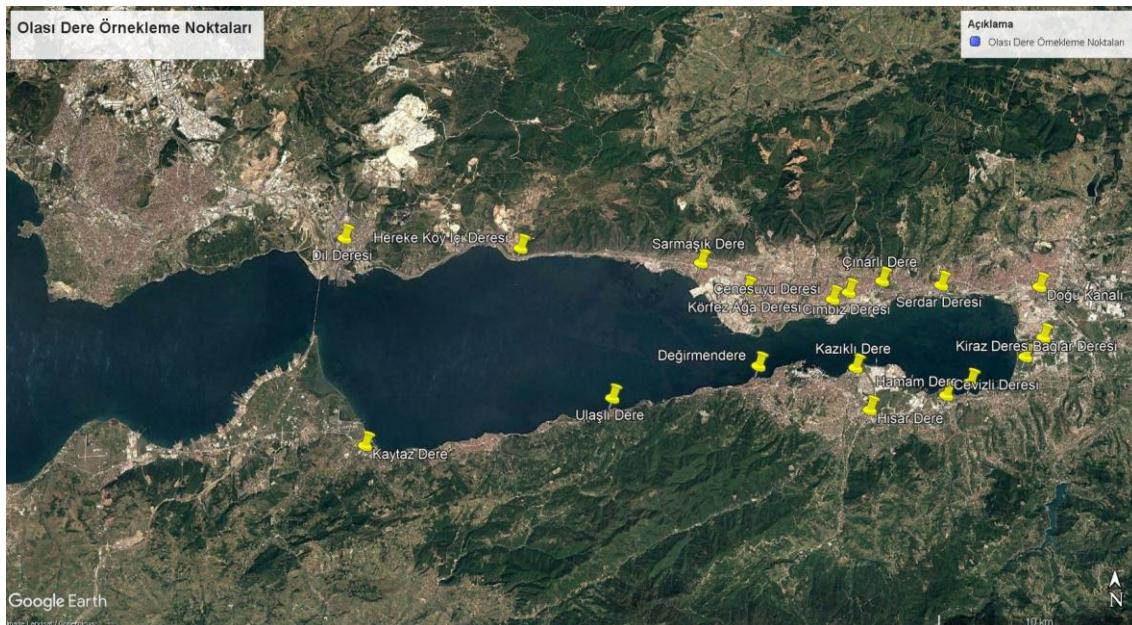
Sediment örneklemesi Van-veen tip sediment kepçesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kasım 2019 deniz örneklemesi sırasında Doğu alt-bölgesinden yüzey sedimenti örneği alınmıştır. Şubat 2020 örnekleme döneminde ise tüm alt-bölgelerden yüzey sedimenti örneği alınmıştır.

3.1.3. Dere Örneklemeleri

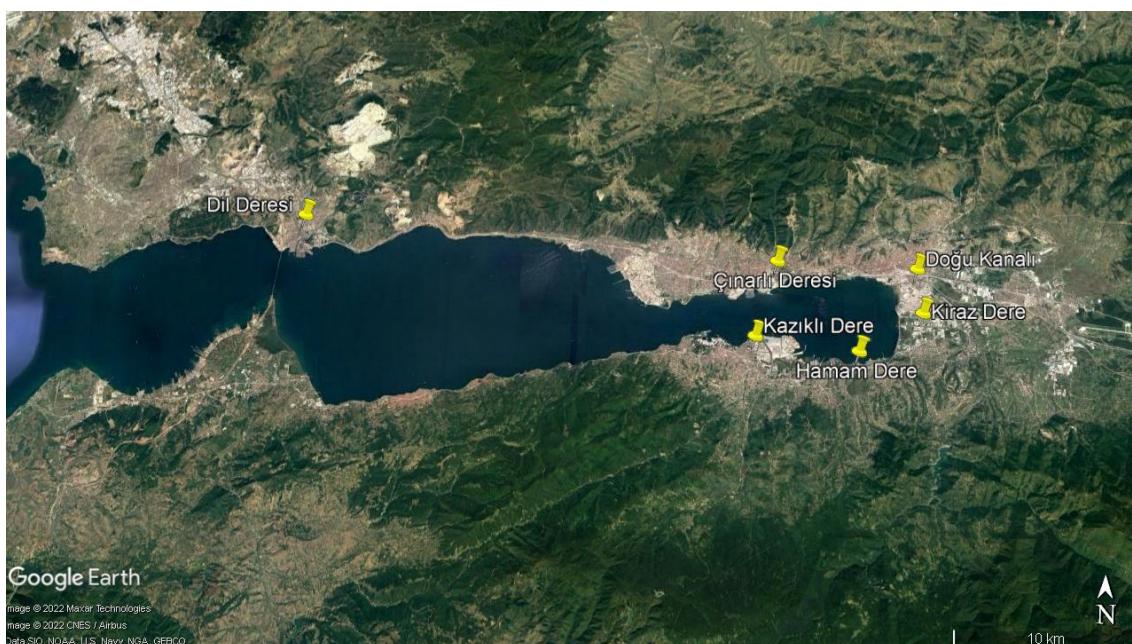
İzmit Körfezi'ne karasal kaynaklı PAH girdilerini önemli bir kısmını belirlemek üzere karasal su girdilerinin en önemlilerini temsil eden 6 adet derenin denize kavuşmadan önceki noktalarında su örnekleri alınmıştır. Öncelikle örnekleme yapılacak derelerin seçimi için 3 Temmuz 2019 ve 17-18 Temmuz 2019 tarihlerinde keşif çalışmaları yapılmıştır. Keşif çalışmasından önce uydu fotoğrafları (Google Earth) aracılığı ile körfeze ulaşan önemli dereler ve potansiyel örnekleme noktaları belirlenmiştir. Keşif çalışmaları sırasında belirlenen tüm noktalara gidilerek (Şekil 3.14) gözlem yapılmıştır. Keşif çalışması sırasında yapılan gözlemler daha sonra değerlendirilerek altı adet dere örnekleme noktası seçilmiştir. Örnekleme noktalarının seçiminde dereden akan su miktarının yüksekliği ve örnekleme için ulaşılabilirlik göz önüne alınmıştır. Ayrıca örnekleşen derelerin körfezin kuzey, doğu ve güney kıyılarına eşit olarak dağılmasına dikkat edilmiştir. Sonuçta 2 adet kuzey kıyısından (Dil Deresi, Çınarlı Dere), 2 adet doğu kıyısından (Doğu Kanalı, Kirazlı Dere) ve 2 adet güney kıyısından (Kazıklı Dere, Hamam Deresi) körfeze kavuşan dere, örneklemler için seçilmiştir (Şekil 3.15). Derelerin denize en yakın ve ulaşılabilir durumda olan noktası örnekleme noktası olarak belirlenmiştir. (Tablo 3.2) (Şekil 3.16 - Şekil 3.23). Örnekleme çalışmaları toplam 4 dönemde gerçekleştirılmıştır (Tablo 3.3).

Her bir örnekleme noktasından dere en-kesiti boyunca, kıyıya farklı uzaklıklardan kompozit olarak su örnekleri alınmıştır. İki adet 2,5 litrelük amber renkli cam şişelere alınan su örnekleri kimyasal analizler için, iki adet 5 litrelük plastik şişeye alınan su örnekleri ise fiziksel analizlerde kullanılmak üzere laboratuvara taşınmıştır. Her bir örnekleme noktasından AKIM Hydrometry marka CM-32 model universal muline (debi ölçer) ile debi ölçümlü yapılmaya çalışılmıştır. Ancak bazı derelerde örnekleme gününde akan su miktarının ve su derinliğinin azlığı nedeniyle debi ölçümlü yapılamamıştır (Şekil 3.16 - Şekil 3.18). Dil Deresi ve Doğu Kanalı'nda ise bu derelerin ıslahı sırasında selden korunma önlemleri çerçevesinde yapılan setler dere içlerine ulaşmayı engellediği için debi ölçümlü yapılamamıştır (Şekil 3.19 - Şekil 3.20). Bu iki dereden su örneklemesi köprü üzerinden bir iple örnekleme kabını dereye sarkıtarak yapılmıştır. 3. dönem örneklemlerde (Şubat 2020) Çınarlı Dere ve Kiraz Deresi'nde su akış hızının ve/veya su derinliğinin yüksekliği sebebiyle dere içine güvenle girilemediğinden debi ölçümlü

yapılamamıştır. Bu nedenle 5 Mart 2020 tarihinde kuzey derelerinde ekstra bir örneklemeye yapılmış ve Çınarlı Dere'de debi ölçümü yapılabilemiştir. Debi ölçümü sonuçları aşağıda sunulmuştur (Tablo 3.4).



Şekil 3.14. Keşif çalışması sırasında ziyaret edilen dere ömeklemeleri için potansiyel noktalar



Şekil 3.15. Dere ömekleme noktaları

Tablo 3.2. Dere örnekleme noktalarının koordinatları

Kıyı	Dere	Örnekleme Noktası Koordinatı	
		Enlem	Boylam
Güney	Hamam Dere	40°42'51.64"K	29°54'39.12"D
	Kazıklı Dere	40°43'15.93"K	29°50'27.83"D
Doğu	Doğu Kanalı	40°45'30.37"K	29°57'10.16"D
	Kiraz Deresi	40°44'06.09"K	29°57'18.82"D
Kuzey	Dil Deresi	40°46'47.52"K	29°31'49.99"D
	Çınarlı Dere	40°45'39.53"K	29°51'25.53"D

Tablo 3.3. Dere örneklemeleri ve tarihleri

Kıyı	Dere	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	4. Dönem
Güney	Hamam Dere	27 Ağustos 2019	28 Kasım 2019	6 Şubat 2020	14 Temmuz 2020
	Kazıklı Dere	27 Ağustos 2019	28 Kasım 2019	6 Şubat 2020	14 Temmuz 2020
Doğu	Doğu Kanalı	28 Ağustos 2019	12 Aralık 2019	20 Şubat 2020	27 Temmuz 2020
	Kiraz Deresi	27 Ağustos 2019	12 Aralık 2019	20 Şubat 2020	27 Temmuz 2020
Kuzey	Dil Deresi	28 Ağustos 2019	5 Aralık 2019	12 Şubat 2020*	22 Temmuz 2020
	Çınarlı Dere	28 Ağustos 2019	5 Aralık 2019	12 Şubat 2020*	22 Temmuz 2020

*: 5 Mart 2020'de ekstra örnekleme yapılmıştır.

Tablo 3.4. Dere örneklemelerinde ölçülen debiler (m^3/s)

Dere	1. Dönem Ağustos 2019	2. Dönem Kasım 2019	3. Dönem Şubat 2020	4. Dönem Temmuz 2020	Ekstra Mart 2020
Dil Deresi	Dere içine ulaşılama	Dere içine ulaşılama	Dere içine ulaşılama	Dere içine ulaşılama	
Çınarlı Dere	Akış derinliği çok az	0,31	Dere içine ulaşılama. (Hız ve derinlik çok yüksek.)	0,003	0,33
Doğu Kanalı	Dere içine ulaşılama	Dere içine ulaşılama	Dere içine ulaşılama	Dere içine ulaşılama	
Kiraz Deresi	0,12	Su akışı yok	Dere içine ulaşılama	Su akışı yok	
Hamam Dere	Akış derinliği çok az	0,02	0,30	Akış derinliği çok az	
Kazıklı Dere	Akış derinliği çok az	0,11	2,17	Akış derinliği çok az	
Cevizli Dere				0,09	



Şekil 3.16. Kazıklı Dere örneklemeye noktasında debi ölçümü denemesi (Yaz Dönemi – 27 Ağustos 2019)



Şekil 3.17. Hamam Dere örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 27 Ağustos 2019)



Şekil 3.18. Çınarlı Dere örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 28 Ağustos 2019)



Şekil 3.19. Dil deresi örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 28 Ağustos 2019)



Şekil 3.20. Doğu Kanalı (Kumla Deresi) örneklemeye noktası (Yaz Dönemi – 28 Ağustos 2019)



Şekil 3.21. Kiraz Deresi örnekleme noktasında debi ölçümü (Yaz Dönemi – 27 Ağustos 2019)



Şekil 3.22. Kazıklı Dere örnekleme noktası (Sonbahar Dönemi – 28 Kasım 2019)



Şekil 3.23. Hamam Dere örnekleme noktası (Sonbahar Dönemi - 28 Kasım 2019)

Debi ölçümü yapılamayan derelerde yük hesabı için debi tahmini, hidroloji çalışmalarında akım gözlem verisi bulunmayan havzalar için uygulanan “alan oranı” yaklaşımı ile yapılmıştır (Yanık ve Avcı, 2005). Bu yaklaşımda akım verisi tahmin edilmeye çalışılan havzanın alanı ile bu havzaya benzer nitelikte olup da akım verisi de bilinen başka bir havzanın alanı arasındaki oranın, havzaların debileri arasındaki orana eşit olduğu kabul edilir. Bu yöntemi uygulayabilmek için körfezin aynı kıyısında bulunan derelerden en az birinde debi ölçümünün yapılabilmesi hedeflenmiştir. Bunun için 3. dönemde debi ölçümü yapılamayan kuzey deresi Çınarlı Dere'ye birkaç hafta sonra yeni

bir örneklemeye için ulaşılarak debi ölçümü yapılmıştır. Aynı gün diğer bir kuzey deresi olan Dil Deresi'nden de örneklemeye alınmıştır. Benzer şekilde 4. dönem örneklemesinde örneklemeye için seçilen her iki güney deresinde de akış derinliği oluşmaması nedeniyle debi ölçümü yapılamadığından başka bir güney deresi olan Cevizli Dere'ye de gidilerek debi ölçümü ve örneklemeye yapılmıştır (Tablo 3.4).

Çalışma kapsamında debi ölçümü yapılamayan dere gözlem noktasındaki debi değeri ile o ölçüm döneminde debi ölçümü yapılabilen en yakın dere gözlem noktasındaki debi değerinin oranı, her iki gözlem noktasının havza alanlarının oranına eşit kabul edilerek eksik debi değerleri tahmin edilmiştir. Buna göre eksik debi değeri Denklem (3.2)'deki şekilde;

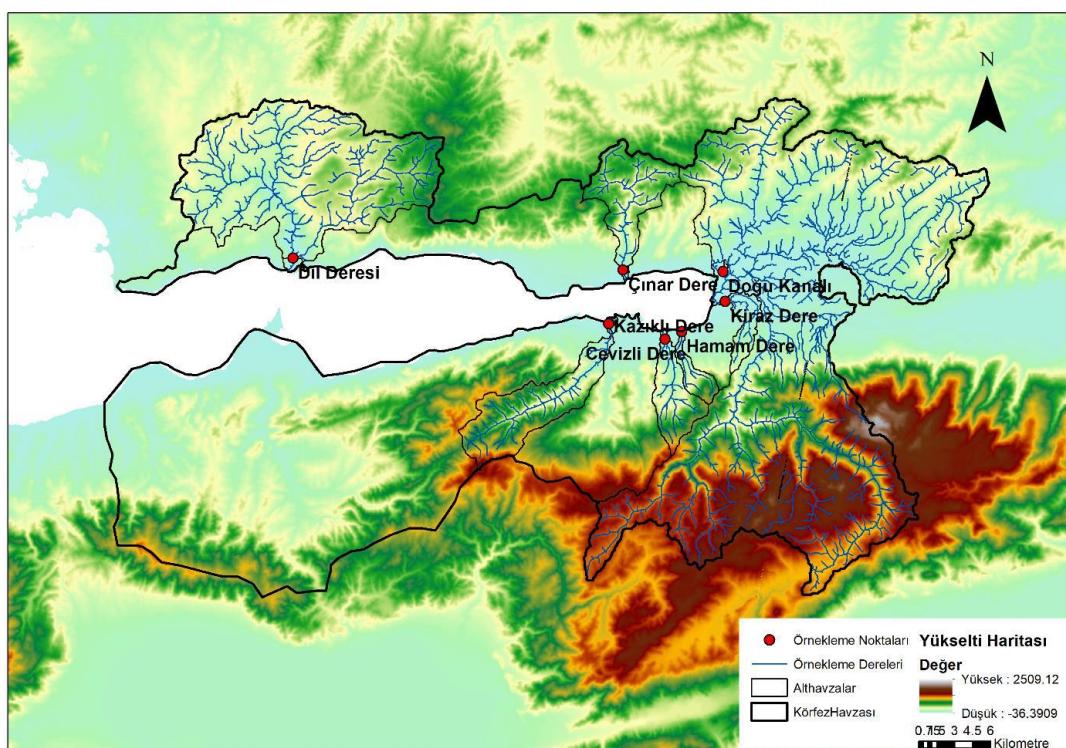
$$Q_1 = \frac{A_1}{A_2} Q_2 \quad (3.2)$$

hesaplanmıştır. Burada Q_1 , debi ölçümü yapılamayan 1 numaralı dere örneklemeye noktasında tahmin edilen debi değeri (m^3/sa); Q_2 , 2 numaralı örneklemeye noktasında ölçülmüş debi değeri (m^3/sa); A_1 , 1 numaralı dere örneklemeye noktasının havza alanı (m^2); A_2 , 2 numaralı dere örneklemeye noktasının havza alanı (m^2).

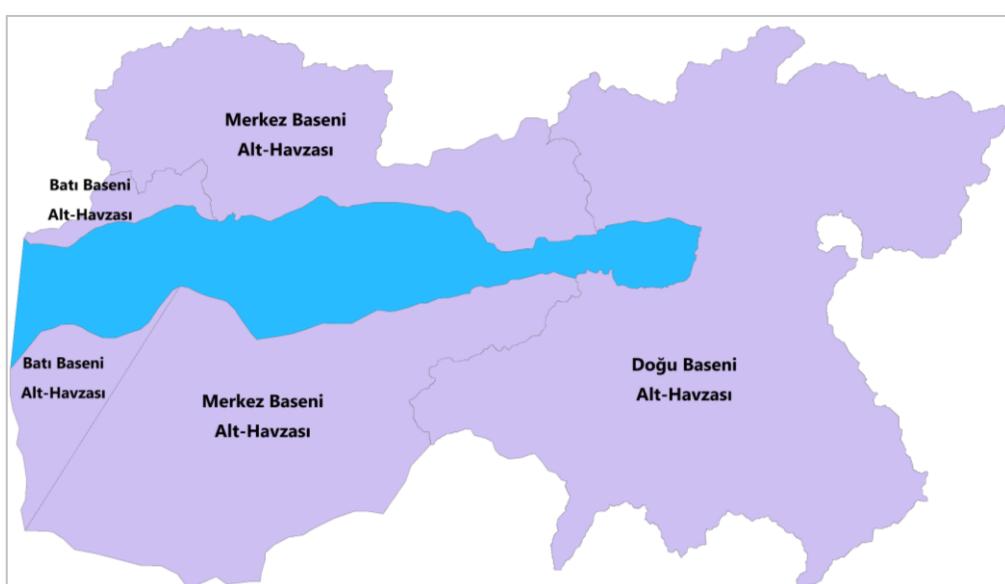
Bu yöntemle akış tahmininde bulunabilmek için dere örneklemeye noktalarının su toplama havza alanlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilmiş olan EU-DEM sayısal yükseklik modeli ve Watershed Modeling System (WMS) (Aquaveo, 2017) yazılımı kullanılarak dere örneklemeye noktalarının havza sınırları belirlenmiş ve alanlar hesaplanmıştır (Şekil 3.24, Tablo 3.5). Sayısal yükseklik haritası verilerini kullanan WMS yazılımı doğu kıyısındaki Doğu Kanalı ve Kiraz Deresi örneklemeye noktalarının havzalarını ayırtmayı başaramamıştır. Bu bölgede eğimin çok düşük olması ve dere yataklarının doğal yollar yerine ıslah çalışmaları ile belirlenmiş olması bu bölgedeki derelerin alt-havzalarını belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Belirlenen dere örneklemeye noktaları havza alanları kullanılarak alan/oran yaklaşımı ile debi tahminleri yapılmıştır.

Aynı araçları kullanarak İzmit Körfezi'nin tamamının havza alanı sınırları belirlenmiş ve körfezin su toplama havzasının toplam alanı 1789 km^2 olarak hesaplanmıştır. İzmit Körfezi'nin toplam yüzey alanı ise yaklaşık 310 km^2 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca körfez

havzası doğu, merkez ve batı alt bölgelerine ayrılmıştır ve her bir alt-havzanın alanı hesaplanmıştır (Şekil 3.25 - Tablo 3.5). Alt havza alan değerleri kullanılarak, alan/oran yaklaşımı ile merkez ve doğu-alt bölgelere yayılı kaynaklar ile taşınan PAH yükleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.24. İzmit Körfezi'nin ve dere örnekleme noktalarının havza alanları



Şekil 3.25. Körfez basenlerinin su toplama havzaları

Tablo 3.5. Dere örnekleme noktalarının ve İzmit Körfezi alt havzalarının alanları

Havza	Alan (km ²)
Kazıklı Dere örnekleme noktası	49,28
Hamam Dere ömekleme noktası	8,08
Kiraz Dere ömekleme noktası + Doğu Kanalı ömekleme noktası	607,42
Çınarlı Dere ömekleme noktası	39,10
Dil Deresi ömekleme noktası	39,10
Cevizli Dere ömekleme noktası	22,13
Toplam Körfez Havzası	1789,00
Doğu Baseni Alt-Havzası	900,32
Merkez Baseni Alt-Havzası	780,37
Batı Baseni Alt-Havzası	108,31

Tablo 3.6. Ölçülen ve tahmin edilen debiler (m³/s)

Dere	1. Dönem Ağustos 2019	2. Dönem Kasım 2019	3. Dönem Şubat 2020	4. Dönem Temmuz 2020	Ekstra Mart 2020
Dil Deresi	Dere içine ulaşılamadı	1,52	Dere içine ulaşılamadı	0,01	1,62
Çınarlı Dere	Akış derinliği çok az	0,31	Dere içine ulaşılamadı.	0,003	0,33
Doğu Kanalı	Dere içine ulaşılamadı	Dere içine ulaşılamadı	Dere içine ulaşılamadı	Dere içine ulaşılamadı	
Kiraz Deresi	0,12	Su akışı yok	Dere içine ulaşılamadı	Su akışı yok	
Hamam Dere	Akış derinliği çok az	0,02	0,30	0,03	
Kazıklı Dere	Akış derinliği çok az	0,11	2,17	0,20	
Cevizli Dere				0,09	

Not: Tahmin edilen debiler koyu renkle gösterilmiştir.

3.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Gerçekleştirilen saha çalışmaları sonucunda elde edilen örnekler, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü ve Biyoloji Bölümü laboratuvarlarında muhafaza edilmiş ve fiziksel-kimyasal analizlere tabi tutulmuştur.

3.2.1. Fiziksel Analizler

PUF cihazı ile havada toplam partikül madde (TSP) konsantrasyonunu belirlemek için filtrelerin (nem dengesi sağlandıktan sonra, örnekleme öncesi ve sonrası) 5 digitli terazi ile tartımı yapılmıştır. TSP konsantrasyonu, Denklem (3.3)'deki şekilde;

$$TSP = \frac{(\text{Örnekleme sonrası tartım } (\mu\text{g})) - (\text{Örnekleme öncesi tartım } (\mu\text{g}))}{\text{Örnekleme hava hacmi } (L)} \quad (3.3)$$

hesaplanmıştır. Deniz ve derelerden alınan su örneklerindeki askıda katı madde konsantrasyonları Clesceri ve dig. (1999) tarafından önerilen 2540 D Standardına göre belirlenmiştir. Deniz ve dere suyu örneklerindeki askıda katı maddelerde toplam organik madde içeriği 550°C'de yakma sonucu kaybın belirlenmesi (Standard Methods 2540E) yöntemiyle (Clesceri ve dig., 1999) belirlenmiştir.

Deniz yüzey sedimenti örneklerinde TOK içeriği, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) laboratuvarlarında belirlenmiştir (Analiz yöntemi: TS EN 15936).

3.2.2. Kimyasal Analizler

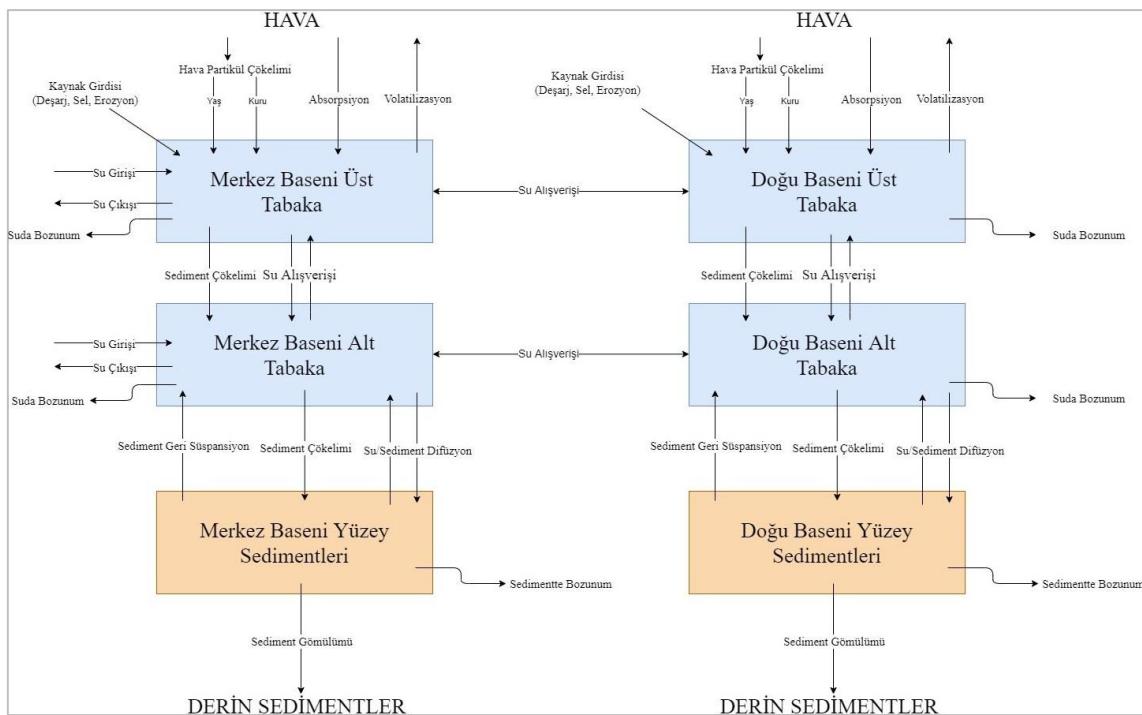
Kimyasal analizler, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği GC-MS laboratuvarında Doç. Dr. Mihriban Civan ve Tuğba Ayaz tarafından gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında farklı çevre ve/veya çevresel örnekleme matrislerinde (hava filtre, hava PUF, reçine, yağmur suyu, deniz suyu, dere suyu, sediment, deniz suyu AKM, dere suyu AKM) PAH konsantrasyonları belirlenmiştir (Göktaş ve dig., 2022).

3.3. Körfez Akıbet Modelinin Oluşturulması

3.3.1. Modelin Yapısı

İzmit Körfezi'nin çevresel özelliklerini ve PAH kimyasallarının akıbet özelliklerini göz önüne alındığında Seviye-I ve Seviye-II modelleri, denge varsayımlı dolayısı ile hedeflenen ayrıntıda sonuçlar vermeyeceklerdir. Bu sebeple İzmit Körfezi akıbet modelinin Seviye III ve Seviye IV modellemeler yapabilecek yetenekte bir QWASI modeli olması amaçlanmıştır. Ayrıca geliştirilecek modelin doğu ve merkez basenlerinin

(alt-bölgelerinin) çevresel farklılıklarını hesaba katabilmesi gereklidir. Bunlara ek olarak körfez sularının tabakalı yapısı da modelde temsil edilebilmelidir. Bu gerekliliklere uygun olacak şekilde körfez akibet modelinin yapısının iki bölgeli olmasına ve her bölgede üst ve alt su kompartmanları ile bir sediment kompartmanı olmasına karar verilmiştir. Körfez akibet modelinin yapısı ve hesaba katılan kompartmanlar arası kirletici transferi süreçleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Körfez akibet modelinin yapısı

3.3.2. Model Denklemleri

Su ve sediment kompartmanları (ve alt kompartmanları) için Z değeri hesaplanmasında kullanılan denklemler aşağıda (Denklem (3.4) – Denklem (3.12)) verilmiştir.

Su kompartmanındaki su için Z değerleri Denklem (3.4)'deki şekilde;

$$Z_{oceanwater} = 0.8(RTK_{aw})^{-1} \quad (3.4)$$

hesaplanmaktadır. Burada $Z_{oceanwater}$, su için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); R , ideal gaz sabiti ($8,314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T , kompartman sıcaklığı (K); K_{aw} , su-hava paylaşım katsayısidır.

Su kompartmanındaki askıda sedimentler için Z değerleri Denklem (3.5)'teki şekilde;

$$Z_{susser} = Z_{oceanwater} K_{qw} \quad (3.5)$$

hesaplanmaktadır. Burada Z_{susser} , su kompartmanındaki askıda sedimentler için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); $Z_{oceanwater}$, su için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); K_{qw} , askıda sediment-su paylaşım katsayısıdır.

Askıda sediment-su paylaşım katsayısı (K_{qw}) Denklem (3.6)'daki şekilde;

$$K_{qw} = \frac{0.41 K_{ow} f_{ocp} \rho_p}{1000} \quad (3.6)$$

hesaplanmaktadır. Burada K_{qw} , askıda sediment-su paylaşım katsayısı; 0.41, K_{ow} ve K_{oc} arasındaki ilişkiyi tanımlayan faktör (L/kg); K_{ow} , oktanol-su paylaşım katsayısı; f_{ocp} , suda bulunan partiküllerdeki organik karbonun kütle oranı; ρ_p , sudaki partiküllerin yoğunluğu (kg/m^3).

Bulk su için Z değeri Denklem (3.7)'deki şekilde;

$$Z_{oceanbulk} = (1 - f_p) Z_{water} + f_p Z_{susser} \quad (3.7)$$

hesaplanmaktadır. Burada $Z_{oceanbulk}$, su için toplam (bulk) Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); f_p , sudaki partiküllerin hacim oranı; $Z_{oceanwater}$, su için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); Z_{susser} , su kompartmanındaki askıda sedimentler için Z değeridir ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$).

Su üzerindeki hava sınır tabakası için Z değeri Denklem (3.8)'deki şekilde;

$$Z_{air} = \frac{1}{RT} \quad (3.8)$$

hesaplanmaktadır. Burada Z_{air} , su üzerindeki hava sınır tabakası için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); R , ideal gaz sabiti ($8,314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T , kompartman sıcaklığıdır (K).

Sediment kompartmanındaki su için Z değeri Denklem (3.9)'daki şekilde;

$$Z_{sedwater} = (RTK_{aw})^{-1} \quad (3.9)$$

hesaplanmaktadır. Burada $Z_{sedwater}$, sedimentteki su için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); R , ideal gaz sabiti ($8,314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T , kompartman sıcaklığıdır (K); K_{aw} , hava-su paylaşım katsayısıdır.

Sediment kompartmanındaki katılar için Z değeri Denklem (3.10)'daki şekilde;

$$Z_{solids} = Z_{sedwater} K_{sedw} \quad (3.10)$$

hesaplanmaktadır. Burada Z_{solids} , sediment katıları için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); $Z_{sedwater}$, sediment suyu için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); K_{sedw} , sediment katıları-su paylaşım katsayısıdır.

Sediment katıları-su paylaşım katsayı Denklem (3.11)'deki şekilde;

$$K_{sedw} = \frac{0.41 K_{ow} f_{ocs} \rho_s}{1000} \quad (3.11)$$

hesaplanmaktadır. Burada K_{sedw} , sediment katıları-su paylaşım katsayı; 0.41 , K_{ow} ve K_{oc} arasındaki ilişkiyi tanımlayan faktör (L/kg); K_{ow} , oktanol-su paylaşım katsayı; f_{ocs} , sediment katılarında bulunan organik karbonun kütle oranı; ρ_s , sediment katılarının yoğunluğu (kg/m^3).

Toplam (bulk) sediment için Z değeri Denklem (3.12)'deki şekilde;

$$Z_{sedbulk} = f_w Z_{sedwater} + f_s Z_{solids} \quad (3.12)$$

hesaplanmaktadır. Burada $Z_{sedbulk}$, toplam (bulk) sedimentin Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); f_w , sediment gözeneklerindeki suyun hacim oranı; $Z_{sedwater}$, sediment suyu için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); f_s , sediment katılarının hacim oranı; Z_{solids} , sediment katıları için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$) değeridir.

Su ve sediment kompartmanlarının (ve alt kompartmanlarının) hacimlerinin hesaplanması için kullanılan denklemler aşağıda (Denklem (3.13) – Denklem (3.18)) verilmiştir.

Su kompartmanının toplam (bulk) hacmi Denklem (3.13)'teki şekilde;

$$V_{oceanbulk} = Af_{Aocean} h_5 \quad (3.13)$$

hesaplanmaktadır. Burada $V_{oceanbulk}$, su kompartmanının toplam (bulk) hacim (m^3), A , toplam yüzey alanı (m^2); f_{Aocean} , kıyı sularıyla kaplı yüzey oranı; h_5 , ortalama su kompartmanı derinliği (m) değeridir.

Su kompartmanındaki askıda katı maddelerin hacmi Denklem (3.14)'teki şekilde;

$$V_{sussed} = V_{oceanbulk} f_p \quad (3.14)$$

hesaplanmaktadır. Burada V_{sussed} , su kompartmanındaki askıda katı maddelerinin hacim (m^3); $V_{oceanbulk}$, su kompartmanının toplam (bulk) hacim (m^3); f_p , su kompartmanındaki partiküllerin hacim oranı değeridir.

Su kompartmanındaki su hacmi Denklem (3.15)'teki şekilde;

$$V_{water} = V_{oceanbulk} - V_{sussed} \quad (3.15)$$

hesaplanmaktadır. Burada V_{water} , su kompartmanındaki su hacim (m^3); $V_{oceanbulk}$, su kompartmanındaki toplam (bulk) hacim (m^3); V_{sussed} , su kompartmanındaki askıda katı maddelerin hacim (m^3) değeridir.

Sediment kompartmanındaki toplam (bulk) hacmi Denklem (3.16)'daki şekilde;

$$V_{sedbulk} = Af_{Aocean} h_7 \quad (3.16)$$

hesaplanmaktadır. Burada $V_{sedbulk}$, sediment kompartmanındaki toplam (bulk) hacim (m^3); A , toplam yüzey alanı (m^2); f_{Aocean} , kıyı sularıyla kaplı yüzey oranı; h_7 , ortalama sediment kompartman derinliği (m^3) değeridir.

Sediment kompartmanındaki su hacmi Denklem (3.17)'deki şekilde;

$$V_{water} = V_{sedbulk} f_{sedwater} \quad (3.17)$$

hesaplanmaktadır. Burada V_{water} , sediment kompartmanındaki su hacim (m^3); $V_{sedbulk}$, sediment kompartmanındaki toplam (bulk) hacim (m^3); $f_{sedwater}$, sediment gözeneklerindeki suyun hacim oranı değeridir.

Sediment kompartmanındaki katıların hacmi Denklem (3.18)'deki şekilde;

$$V_{solids} = V_{sedbulk} f_{sedsolids} \quad (3.18)$$

hesaplanmaktadır. Burada V_{solids} , sediment kompartmanındaki katıların hacim (m^3); $V_{sedbulk}$, sediment kompartmanındaki toplam (bulk) hacim (m^3); $f_{sedsolids}$, sediment katılarının hacim oranı değeridir.

Her bir kompartmanın kendi içerisindeki ve diğer kompartmanlar arasındaki taşınım ve dönüşüm süreçlerini (bozunum, advektif kayıplar, difüzif kayıplar) hesaplayabilmek için kullanılan D değerleri aşağıda (Denklem (3.19) – Denklem (3.25)) verilmiştir.

Tüm kompartmanlar için bozunum süreçlerini tanımlayan D değerleri, Denklem (3.19)'daki şekilde;

$$D_{\text{degradation}} = k_{\text{reac}} V_{\text{bulk}} Z_{\text{bulk}} \quad (3.19)$$

hesaplanmaktadır. Burada $D_{\text{degradation}}$, her bir kompartman için bozunum süreçlerini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); k_{reac} , birinci dereceden reaksiyon hız sabiti (h^{-1}); V_{bulk} , hesaplanacak kompartmanın toplam (bulk) hacim (m^3); Z_{bulk} , hesaplanacak kompartmanın toplam (bulk) Z ($\text{mol m}^{-3} \text{Pa}^{-1}$) değeridir.

Su kompartmanında sediment gömülüm süreçlerini tanımlayan D değeri, Denklem (3.20)'deki şekilde;

$$D_{\text{burial}} = A U_{\text{burial}} Z_{ss} \quad (3.20)$$

hesaplanmaktadır. Burada D_{burial} , su kompartmanında sediment gömülüm süreçlerini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); A , toplam yüzey alanı (m^2); U_{burial} , sediment gömülüm hızı (m/h); Z_{ss} , sediment katıları için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{Pa}^{-1}$) değeridir.

Su kompartmanından su çıkış süreçlerini tanımlayan D değeri, Denklem (3.21)'deki şekilde;

$$D_{adv} = GZ_{wbulk} \quad (3.21)$$

hesaplanmaktadır. Burada D_{adv} , su kompartmanından su çıkış süreçlerini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); G , su kompartmanından su çıkış hızı (m^3/h); Z_{wbulk} , su kompartmanı için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{Pa}^{-1}$) toplam (bulk) değeridir.

Su kompartmanından difüzif kayıp süreçlerini tanımlayan D değeri, Denklem (3.22)'deki şekilde;

$$D_{diffloss} = A \frac{1}{\left(\frac{1}{k_a Z_a} + \frac{1}{k_w Z_w} \right)} \quad (3.22)$$

hesaplanmaktadır. Burada $D_{diffloss}$, su kompartmanından difüzif kayıp süreçlerini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); A , toplam yüzey alanı (m^2); k_a , hava/su arayüzünde hava tarafı için kütle transfer katsayısı (m/h); Z_a , $(RT)^{-1}$ (R : ideal gaz sabiti ($8,314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T : ortam sıcaklığı (K)); k_w , hava/su arayüzünde su tarafı için kütle transfer katsayısı (m/h); Z_w , su kompartmanı için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$) değeridir.

Su kompartmanında sediment resüspansiyon süreçlerini tanımlayan D değeri, Denklem (3.23)'teki şekilde;

$$D_{resusp} = AU_r Z_s \quad (3.23)$$

hesaplanmaktadır. Burada D_{resusp} , su kompartmanında sediment resüspansiyon sürecini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$); A , toplam yüzey alanı (m^2); U_r , sediment resüspansiyon hızı (m/h); Z_s , sediment kompartmanı için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$) değeridir.

Su kompartmanında sediment depolanma süreçlerini tanımlayan D değeri, Denklem (3.24)'teki şekilde;

$$D_{deposit} = AU_{dep} Z_{ss} \quad (3.24)$$

hesaplanmaktadır. Burada $D_{deposit}$, su kompartmanında sediment depolanma süreçlerini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); A , toplam yüzey alanı (m^2); U_{dep} , sediment depolanma hızı (m/h); Z_{ss} , sediment katıları için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{Pa}^{-1}$) değeridir.

Su ve sediment kompartmanları arasındaki difüzif değişim süreçlerini tanımlayan D değeri, Denklem (3.25)'teki şekilde;

$$D_{diff} = Ak_{w-s}Z_w \quad (3.25)$$

hesaplanmaktadır. Burada D_{diff} , su ve sediment kompartmanları arasındaki difüzif değişim süreçlerini tanımlayan D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); A , toplam yüzey alanı (m^2); k_{w-s} , sediment-su difüzyon kütle transfer katsayısı (m/h), Z_w , su kompartmanı için Z ($\text{mol m}^{-3} \text{Pa}^{-1}$) değeridir.

3.3.3. Bilgisayar Kodu

Seviye III ve Seviye IV fugasite modeli denklemlerinin çözülmerek farklı simülasyonların yapılmasını sağlayacak bilgisayar program kodu, Python programlama dilinde yazılmıştır. Program kodu ayrıca simülasyon çıktılarını yazılı ve görsel olarak ifade edecek modüller de içermektedir. Buna ek olarak belirsizlik ve duyarlılık analizleri için Monte Carlo simülasyonları gerçekleştirilmesine ve çıktılarının işlenmesine olanak sağlayan modüller de yazılmıştır.

Bilgisayar program kodu açık kaynak kodlu BETR-Global isimli küresel ölçekli çok-ortamlı akibet ve taşınım modelinin son sürümü (v4.0) baz alınarak geliştirilmiştir.

BETR-Global 4.0 Stockholm Üniversitesi'nden araştırmacılar Matthew MacLeod ve Fangyuan Zhao (Zhao ve MacLeod, 2020) tarafından geliştirilmiştir (URL-3). BETR-Global 4.0'ın önceki versiyondan (BETR-Global 3.0) en büyük farkı atmosferik partiküllerin ayrı kompartmanlar olarak modellenmesidir (Zhao ve diğ., 2021). BETR-Global 4.0, modelin önceki versiyonları gibi Python 2.0 programlama dilinde yazılmıştır. Çok kısa bir süre önce BETR-Global'ı Python 3.0 diline uyumlu hale getirecek bir güncelleme A.B.D Çevre Koruma Ajansı (EPA)'da çalışan bir bilim insanı olan Baron Henderson tarafından yapılmıştır (URL-4).

Körfez akıbet modelinin oluşturulmasında Baron Henderson tarafından geliştirilen versiyon baz alınmıştır. Bununla birlikte BETR-Global 3.0'dan alınan bazı kod parçaları da olmuştur (URL-5).

BETR-Global'ın kaynak kodunu, tabakalı su sütununa sahip ve mekânsal olarak heterojenlik gösteren körfezler için bir QWASI modeli haline dönüştürmek için, program geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deniz kompartmanı, üst deniz (upper ocean) kompartmanı ve alt deniz (lower ocean) kompartmanı olarak ikiye ayılmıştır. Alt deniz kompartmanı ile etkileşim halinde olan bir sediment kompartmanı eklenmiştir. Süreç tanımlarını içeren ve model bölgeleri içindeki kompartmanlar arası transfer süreçleri için D değerlerini hesaplayan modül (processes.py) üzerinde önemli değişiklikler yapılmasına gerek olmuştur. Tablo 3.7'da verilen metotlar değiştirilmiş ya da yeniden yazılmıştır. Üst deniz, alt deniz ve sediment kompartmanlarının hacimlerini hesaplayan metotlar oluşturulmuştur (volumes.py modülü). Ayrıca, Z değerlerini hesaplayacak kod değişiklikleri yapılmıştır (zvalues.py) (Tablo 3.8). Model bilgisayar kodunun geliştirilmesi için yapılan çalışmaların ayrıntıları Göktaş ve diğ.'de (2022) bulunabilir.

Tablo 3.7. Model bilgisayar programı geliştirilirken değiştirilen veya eklenen metotlar

Metot	Açıklaması
betr_degradation	bozunum D değerleri
betr_advectiveloss	sistemden advektif kayıplar için D değerleri (Sediment gömülülm ve su akışı ile kayıplar hesaba katılmıştır)
betr_diff_loss	sistemden difüzif kayıplar için D değerleri (Üst deniz suyu kompartmanından havaya kayıplar hesaba katılmıştır)
betr_sediment_ocean_resusp	Sediment kompartmanından alt deniz kompartmanına resüspansiyon süreci için D değerleri
betr_ocean_sediment_deposit	Alt deniz kompartmanından sediment kompartmanına sediment çökelimi süreci için D değerleri
betr_ocean_sediment_diff	Alt deniz kompartmanı ile sediment kompartmanı arasında difüzyon süreci için D değerleri

Tablo 3.8. Modelde hesaplanacak Z değerleri

Metot	Açıklaması
Z1	Üst deniz kompartmanında toplam Z değeri (Z_{bulk}), su fazı Z değeri (Z_{water}), askıda katı madde Z değeri ($Z_{susceptible}$), deniz üstündeki hava fazı için Z değeri (Z_{air}).
Z2	Alt deniz kompartmanında toplam Z değeri (Z_{bulk}), su fazı Z değeri (Z_{water}), askıda katı madde Z değeri ($Z_{susceptible}$).
Z3	Toplam Z değeri (Z_{bulk}), su fazı Z değeri (Z_{water}), katı madde Z değeri (Z_{solids}).

Geliştirilen körfez akıbet modeli için bir dokümantasyon oluşturulmuştur. Hazırlanan kullanım kılavuzu, modelin yapısını, gerekli girdi dosyalarının açıklamalarını ve modellenen akıbet süreçlerinin matematiksel ifadelerini içermektedir. Geliştirilen körfez akıbet modelinin kaynak kodu, dokümantasyonu ve bu çalışmada açıklanan tüm simülasyonların çalışma dosyaları GitHub üzerinden paylaşılmıştır (URL-6).

3.4. Belirsizlik Analizi

Çalışma kapsamında model parametrelerindeki belirsizliğin, model çıktılarındaki belirsizliğe etkileri Monte Carlo simülasyonları ile incelenmiştir. Monte Carlo belirsizlik analizinde, incelenenek belirsiz parametrelerinin değerleri olasılık dağılımları ile tanımlanmaktadır. Her bir parametreyi tanımlamada kullanılan olasılık dağılımı, o parametrenin karakteristik özelliklerine göre belirlenmektedir. Olasılık ve istatistik biliminde sıkılıkla kullanılan normal, lognormal, üçgen, düzgün vb. dağılımlar arasından en uygunu, söz konusu model parametresilarındaki bilimsel bilgi ve mevcut veriye dayalı olarak seçilir. Örneğin, MacLeod ve dig., (2002) bölgesel bir kirletici ve besin zincirinde biyobirikim modelleri uygulamalarında belirsizlik analizi gerçekleştirmiştir, değişken olarak tanımladıkları parametrelerden kütleyi aktarım katsayıları için lognormal (LN) dağılım uygulamışlardır. Çevresel parametrelerde belirsizlik aralığını lognormal dağılım kullanarak ifade etmek çok yaygındır. Lognormal dağılımin pozitif değerlere doğru gösterdiği kayma ile sıfır ve sıfırdan küçük değerleri içermemesi çevresel parametreleri tanımlamada avantaj yaratmaktadır (Whelan ve dig., 2019). Model

değişkenlerinden belirsizlik içeren parametreler için olasılık dağılımları tanımlandıktan sonra, bu dağılımlar içerisinde tekrar tekrar örneklemeye yapılarak farklı model girdi parametre setlerine sahip çok sayıda simülasyon gerçekleştirilir. Bu simülasyonların sonuçlarının toplamını içeren veri seti, model çıktılarındaki belirsizliğin hesaplanması sırasında kullanılır.

Lognormal dağılıma sahip bir değişkenin logaritması normal dağılım gösterir. Lognormal dağılım için tanımlayıcı parametreler popülasyon ortalamasının logaritması (μ) ve popülasyon varyansıdır (σ^2). Lognormal dağılımin bir dezavantajı bu tanımlayıcı parametrelerin fiziksel olarak yorumlanması ve dolayısı ile belirsizlik dağılımini tanımlamanın zorluğudur. Bu dezavantaj, dağılım katsayıları (dispersion factors) (k) değerleri kullanılarak Denklem (3.26)'daki şekilde;

$$\text{olasılık} \left\{ \frac{\mu}{k} < X < \mu k \right\} = 0.95 \quad (3.26)$$

aşılabilir (Slob, 1994). (3.26)'da X , lognormal dağılıma sahip bir değişken ve M , popülasyon medyanı ya da parametre için ana değerdir. Lognormal dağılımin k değerleri kullanılarak tanımlanması durumunda, yaklaşık alt sınır M/k , üst sınır ise kM olarak kabul edilebilir.

Bu çalışma kapsamında belirsizlik dağılımlarının tanımlanmasında k -değerleri yaklaşımı kullanılmıştır. Bu sayede, belirsizlik analizi simülasyonları için belirsiz parametrelerin tipik (ya da en olası) değerlerinin ve k değerlerinin girdi olarak programa sağlanması yeterli olmaktadır. Belirsizliği tanımlamak için yeterli istatistiksel veri olmaması durumunda, uzman görüşlerine başvurarak k değeri belirlemek mümkündür Denklem (3.27). Bunun ardından, parametrenin ana değeri için bir tipik değer kullanılarak, μ (Denklem (3.28)) ve σ (Denklem (3.29)) değerleri aşağıdaki şekilde;

$$CV = \frac{s}{m} = \sqrt{\exp\left(\frac{\ln(k)}{1.96}\right)^2 - 1} \quad (3.27)$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\ln \left(1 + \frac{s^2}{m^2} \right) \right)} \quad (3.28)$$

$$\mu = \ln(m) - \frac{1}{2}\sigma^2 \quad (3.29)$$

hesaplanabilir (Whelan vd. 2019). Denklem (3.27)'de CV , varyasyon katsayısı; m , ortalama ve s , standart sapmadır.

Belirsiz parametreler için istatistiksel veri bulunması durumunda CV , μ ve σ veri seti kullanılarak hesaplanabilir (ortalama ve standart sapma). Bu parametreler için k değerleri Denklem (3.30)'daki şekilde;

$$k = \exp (1.96 \times \sqrt{\ln(CV^2 + 1)}) \quad (3.30)$$

hesaplanabilir. Model bilgisayar kodunda belirsiz parametrelerin k değerlerinin tanımlanmasının ardından istenilen tekrar sayısı ile (örn. 10,000) Monte Carlo simülasyonları yapılmaktadır.

Monte Carlo simülasyonlarının ardından model girdi ve çıktılarına ait dağılım veri setleri kullanılarak girdi ve çıktılar (kompartmanlardaki kirletici konsantrasyonları) arasında Spearman korelasyon katsayısı değerleri hesaplanarak hassasiyet analizi gerçekleştirilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

4.1.1. Fiziksel Analiz Sonuçları

Hava kalitesi (PUF cihazı) örneklemeleri sonucu elde edilen veriler kullanılarak havada toplam partikül madde (PM) konsantrasyonlarının aylık, yaz mevsimi (Mayıs – Ekim arası), kış mevsimi (Kasım – Nisan arası) ve yıllık olarak ortalamaları Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Havada toplam partikül madde (PM) konsantrasyonları

Aylık Ortalama	PM Konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ocak	49,08
Şubat	46,15
Mart	98,16
Nisan	*
Mayıs	*
Haziran	*
Temmuz	40,87
Ağustos	63,87
Eylül	**
Ekim	54,92
Kasım	66,12
Aralık	80,46
Yıllık Ortalama	62,45
Yaz Ortalaması	53,22
Kış Ortalaması	67,99

*: COVID-19 pandemisi kapanma döneminde örnekleme yapılamamıştır.

**: Cihaz pompasındaki arza nedeniyle örnekleme yapılamamıştır.

Tüm örnekleme dönemleri arasından en düşük partikül madde (PM) konsantrasyonunun $40,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile Temmuz'da, en yüksek partikül madde konsantrasyonun ise $98,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile Mart'ta olduğu görülmüştür (Tablo 4.1). Yaz ve kış ortalamaları da sırasıyla $53,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $67,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Ölçülen yıllık ortalamanın ise $62,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu bulunmuştur. Kış ortalamasının, yaz ortalamasına göre daha yüksek bulunmasının sebepleri arasında; kış döneminde, yaz dönemine göre ısınma için daha fazla yakıt kullanılması ve atmosferik karışım yüksekliğinin daha düşük olması gösterilebilir. Gaga ve dig. (2012) çalışmasında Kocaeli, İzmit şehir merkezindeki bir noktada Ocak – 2005 ile Nisan – 2006 arasında hava örneklemeleri yapılmış ve ortalama

toplam partikül madde konsantrasyonları yaz ve kış mevsimlerinde sırasıyla $127,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $197,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Gaga ve diğ. (2012) çalışmasında ölçülen partikül madde konsantrasyonlarının, bu tez çalışması kapsamında ölçülen partikül madde konsantrasyonundan daha yüksek bulunmasının sebebi, Gaga ve diğ. (2012) çalışmasındaki örneklemelerin şehir merkezine daha yakın, trafik/evsel kaynaklı emisyonların daha fazla olduğu bir noktada yapılması olabilir ancak sonuç olarak yaz ve kış mevsim ortalamalarındaki farklılık, iki çalışmada da benzerlik göstermektedir.

Deniz suyu ve dere suyu örneklerindeki askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te sunulmuştur. AKM'lerin toplam organik madde (TOM) içerikleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 'te sunulmuştur.

Tablo 4.2. Deniz suyu örnekleme noktalarında askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları (mg/L)

Körfez Alt-Bölgesi	Tabaka	1. Dönem Ağustos 2019	2. Dönem Kasım 2019	3. Dönem Şubat 2020	4. Dönem Temmuz 2020
Doğu	Üst	8,80 (1)	17,40 (1)	$11,70 \pm 0,60$ (2)	$21,40 \pm 0,30$ (2)
	Ara	5,53 (1)	17,40 (1)	$9,50 \pm 1,70$ (2)	$22,35 \pm 0,75$ (2)
	Alt	10,70 (1)	22,60 (1)	$17,90 \pm 1,00$ (2)	$34,10 \pm 0,80$ (2)
Merkez	Üst	20,09 (1)	15,30 (1)	$9,90 \pm 1,00$ (2)	$21,80 \pm 1,40$ (2)
	Ara	5,04 (1)	16,60 (1)	$10,35 \pm 1,05$ (2)	$30,41 \pm 4,01$ (2)
	Alt	11,25 (1)	20,50 (1)	$11,80 \pm 0,90$ (2)	$35,00 \pm 1,00$ (2)
Batı	Üst	3,53 (1)	15,10 (1)	$10,10 \pm 1,20$ (2)	$18,35 \pm 1,15$ (2)
	Ara	4,85 (1)	18,50 (1)	$14,55 \pm 4,15$ (2)	$25,70 \pm 0,00$ (2)
	Alt	177,40* (1)	18,10 (1)	$13,20 \pm 0,50$ (2)	-

*: Ölçülen yüksek konsantrasyonun, örnekleme esnasında sediment resüspansiyonunun normalden fazla olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Not: Parantez içerisinde verilen değer ölçüm sayısıdır. Ölçüm sayısının birden fazla olduğu durumda ortalama değer \pm standart sapma verilmiştir.

Yapılan deniz suyu örneklemeleri sonucu elde edilen numunelerin askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre 4 farklı örnekleme dönemi arasında, en düşük askıda katı madde konsantrasyonu $3,53 \text{ mg/L}$ ile 1. örnekleme döneminde, batı basenin üst tabakasında; en yüksek askıda katı madde konsantrasyonu ise 35 mg/L ile 4. örnekleme döneminde, merkez basenin alt tabakasında ölçülmüştür. (1. örnekleme döneminde batı basenin alt tabakasında ölçülmüş olan $177,4 \text{ mg/L}$ 'lik yüksek AKM konsantrasyonunun, örnekleme esnasında sediment resüspansiyonunun normalden

fazla olmasından kaynaklanmış olabilir.) Oğuz ve Sur, (1986) çalışmasında belirtilen, İzmit Körfezi’nde tabakalar arası su akışlarına göre; en yüksek askıda katı madde konsantrasyonunun, 4. örneklemeye döneminde (yaz dönemi) merkez baseninin alt tabakasında ölçülmesinin sebebi, su akışının doğu baseni alt ve merkez baseni üst tabakalarından, merkez baseni alt tabakasına doğru olması olabilir. En düşük askıda katı madde konsantrasyonunun 1. örneklemeye döneminde (yaz dönemi) batı basenin üst tabakasında ölçülmesinin sebebi de su akışının batı baseninde üst tabakadan alt tabakaya, batı basenin üst tabakasından da merkez baseni üst tabakasına doğru olması olabilir. Balkaş ve diğ. (1985) ve Algan ve diğ. (1999) yaptıkları çalışmalarında İzmit Körfezi’ndeki AKM konsantrasyonlarını belirlemiştir. Balkaş ve diğ. (1985) 1984 yılının Mayıs ve Temmuz aylarında İzmit Körfezi’nin doğu, merkez ve batı basenlerinin farklı noktalarından 0,5 m – 30 m aralığında değişen derinliklerinden su örnekleri almış ve AKM konsantrasyonlarını ölçmüştür. Mayıs ayında alınan örneklerin tüm derinliklerdeki AKM konsantrasyonlarının ortalaması 87,62 mg/L, Temmuz ayında alınan örneklerin tüm derinliklerdeki AKM konsantrasyonlarının ortalaması 102,94 mg/L’dır. Algan ve diğ. (1999) Mart 1994 – Temmuz 1995 tarihleri arasında İzmit Körfezi’nin doğu, merkez ve batı basenlerinin farklı nokta ve derinliklerinden su örnekleri almış ve AKM konsantrasyonlarını ölçmüştür. Mayıs ayında alınan örneklerin tüm derinliklerdeki AKM konsantrasyonlarının ortalaması 25 mg/L, Temmuz ayında alınan örneklerin tüm derinliklerdeki AKM konsantrasyonlarının ortalaması 33 mg/L ve tüm basen ve derinliklerin yıllık ortalaması 40 mg/L’dır. Balkaş ve diğ. (1985), ve Algan ve diğ. (1999) ve bu tez çalışmada ölçülen AKM konsantrasyonları (yıllık ortalama; 22,12 mg/L) karşılaştırıldığında, 1984 yılından günümüze doğru İzmit Körfezi’ndeki AKM konsantrasyonunda bir düşüş yaşandığı söylenebilir. İzmit Körfezi çevresindeki atıksu arıtma tesislerinin sayılarındaki artış ve 22.03.2015 tarihli ve 29303 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Sürekli Atıksu İzleme Sistemleri (SAİS) Tebliği” kapsamında, atıksu arıtma tesisi çıkış sularındaki AKM parametrelerinin kontrollerinin artırılması gibi nedenler (Kocaeli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020) körfezdeki AKM konsantrasyonundaki düşüşü açıklayabilir. İzmit Körfezi’nde daha sık aralıklarla gerçekleştirilecek örneklemeler ve analizler ile bu konuya daha fazla netlik kazandırılabilir.

Tablo 4.3. Dere örnekleme noktalarında askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları (mg/L)

Örnekleme Noktası	1. Dönem Ağustos 2019	2. Dönem Kasım-Aralık 2019	3. Dönem Şubat 2020	4. Dönem Temmuz 2020
Dil Deresi	16,67 (1)	266,67±25,20 (3)	268,40±32,35 (3)*	105,61±19,40 (3)
Çınarlı Dere	2,91 (1)	10,93±1,64 (3)	118,53±15,19 (3)**	2,87±0,80 (3)
Doğu Kanalı	29,94 (1)	22,09±3,98 (3)	20,76±0,18 (3)	67,84±9,74 (3)
Kiraz Dere	3,23 (1)	9,13±0,21 (3)	18,77±0,54 (3)	14,75±0,34 (3)
Hamam Dere	2,24 (1)	4,50 (1)	35,81±0,98 (3)	43,23±11,85 (3)
Kazıklı Dere	2,07 (1)	6,80 (1)	536,12±32,92 (3)	107,50±1,18 (2)
Cevizli Dere	-	-	-	17,70±2,22 (3)

*: 5 Mart 2020'de yapılan ekstra örneklemede Dil Deresi AKM değeri $74,67\pm5,14$ mg/L (3 ölçüm sonucu) olarak belirlenmiştir.

**: 5 Mart 2020'de yapılan ekstra örneklemede Çınarlı Dere AKM değeri $1,73\pm0,19$ mg/L (3 ölçüm sonucu) olarak belirlenmiştir.

Not: Parantez içerisinde verilen değer ölçüm sayısıdır. Ölçüm sayısının birden fazla olduğu durumda ortalama değer ± standart sapma verilmiştir.

Yapılan dere suyu örneklemlerini sonucu elde edilen numunelerin askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre 4 farklı örnekleme dönemi arasında $1,73$ mg/L ile en düşük askıda katı madde konsantrasyonu, 3. örnekleme dönemine ek olarak 5 Mart 2020 tarihinde yapılan örneklemede Çınarlı Dere'de; $536,12$ mg/L ile en yüksek askıda katı madde konsantrasyonu 3. örnekleme döneminde Kazıklı Dere'de ölçülmüştür. En yüksek AKM konsantrasyonunun 3. örnekleme döneminde Kazıklı Dere'de ölçülmesinin sebebi, örnekleme gününde havanın yağışlı olması olabilir. Kar ve yağmur suları, dere çevresindeki toprağı süpürerek, orada bulunan partikül maddeleri dere içeresine taşımaktadır. Ayrıca yağışlar ile birlikte dere debisi artmakta ve düşük debili zamanlarda dere tabanında bulunan sediment, dere suyuna karışmaktadır. En düşük AKM konsantrasyonunun belirlendiği 5 Mart 2020 Çınarlı Dere örneklemesinde ölçülen debi $0,33$ ($m^3 s^{-1}$) ve en yüksek AKM konsantrasyonunun belirlendiği 3. örnekleme döneminde Kazıklı Dere'de ölçülen debi ($2,17 m^3 s^{-1}$) bu tahmini kuvvetlendirmektedir. Ayrıca yağışların daha fazla yaşandığı sonbahar ve kış dönemlerinde yapılan örneklemler (2. ve 3. örnekleme dönemi) sonucu ölçülen AKM konsantrasyonlarının, daha az yağış görünen yaz (1. ve 4. örnekleme dönemi) dönemine göre fazla çıkması da bu konuya ilişkilendirilebilir. Örnekleme sayısının ve örnekleme noktasının artırılması ile bu belirsizlikler azaltılabilir veya bu belirsizliklerin önüne geçilebilir.

Tablo 4.4. Deniz suyu örnekleme noktalarında askıda katı maddelerin toplam organik madde (TOM) içerikleri (%)

Körfez Alt-Bölgesi	Tabaka	2. Dönem Kasım 2019	3. Dönem Şubat 2020*	4. Dönem Temmuz 2020
Doğu	Üst	28,16 (1)	-	23,85±1,27 (2)
	Ara	24,14 (1)	-	23,51±0,57 (2)
	Alt	22,57 (1)	-	14,51±0,10 (2)
Merkez	Üst	28,10 (1)	-	27,55±0,40 (2)
	Ara	18,67 (1)	-	19,29±1,87 (2)
	Alt	25,85 (1)	-	16,89±3,95 (2)
Batı	Üst	31,79 (1)	-	21,66±2,18 (3)
	Ara	28,65 (1)	-	18,87±0,58 (3)
	Alt	24,86 (1)	-	**

*: 3. dönem deniz suyu örneklerinde katı madde kütlesi miktarı tartım hassasiyetinden az olduğu için bu örneklerde yakma yoluyla TOM analizi yapılmamıştır.

**: Örnek alınamadığı için analiz yapılamamıştır.

Not: Parantez içerisinde verilen değer ölçüm sayısıdır. Ölçüm sayısının birden fazla olduğu durumda ortalama değer ± standart sapma verilmiştir.

Yapılan deniz suyu örneklemleri sonucu elde edilen, 2. ve 4. örnekleme dönemlerine ait numunelerin toplam organik madde (TOM) içerikleri belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, en düşük toplam organik madde içeriği %14,51 ile 4. örnekleme döneminde doğu baseni alt tabakasında, en yüksek toplam organik madde içeriği ise %31,79 ile 2. örnekleme döneminde batı baseni üst tabakasında saptanmıştır. Tablo 4.4 incelendiğinde toplam organik madde içeriğinin, 2. örnekleme dönemi merkez baseni alt tabakası haricinde, genel olarak üst tabakalardan alt tabakalara doğru azalış gösterme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak, organik madde içerikli kirleticilerin körfeze daha çok yüzeyden giriş yapması ve güneş ışığı, çözünmüş oksijen gibi parametrelerin yüzeye yakın yerlerde daha fazla bulunması (Ergül ve dig., 2011) sonucunda mikroorganizma sayısında artış olması gösterilebilir. Balkı, (2003) yaptığı çalışmada İzmit Körfezi'ndeki fitoplankton artışlarının, çözünmüş oksijen ve organik madde içerikli kirleticilerin seviyelerindeki artışlar ile ilişkili olabileceğini söylemiştir. 2. örnekleme dönemi olan Kasım ayında çoğalmaya başlayan mikroorganizmalar, 4. örnekleme dönemi olan Temmuz ayına doğru ölüp bozunmaya başlayınca organik maddelerin ve buna bağlı olarak çözünmüş oksijen seviyesinin azaldığını göstermektedir. Ergül ve dig.'nin (2011) çalışmasında da TOM içerikleri, canlı aktiviteleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu bilgiler

çerçeveinde, körfezdeki toplam organik madde içeriğinin, çözünmüş oksijen seviyeleri ve mikroorganizma sayıları ile ilişkilendirilebileceği ihtimali artırmaktadır.

Tablo 4.5. Dere örnekleme noktalarında askıda katı maddelerin toplam organik madde (TOM) içerikleri (%)

Örnekleme Noktası	2. Dönem Kasım-Aralık 2019	3. Dönem Şubat 2020	4. Dönem Temmuz 2020
Dil Deresi	7,04±1,33 (3)	9,39±0,44 (3)*	26,46±0,69 (3)
Çınarlı Dere	18,71±4,82 (3)	8,29±1,03 (3)**	23,26±6,36 (3)
Doğu Kanalı	23,80±4,88 (3)	25,01±1,53 (3)	12,88±1,06 (3)
Kiraz Dere	23,05±2,77 (3)	16,69±0,48 (3)	32,55±0,72 (3)
Hamam Dere	31,11 (1)	12,62±0,51 (3)	13,96±2,00 (3)
Kazıklı Dere	66,18 (1)	4,98±0,31 (3)	69,44±19,98 (3)
Cevizli Dere	-	-	15,54±1,59 (3)

*: 5 Mart 2020'de yapılan ekstra örneklemede Dil Deresi AKM'de TOM içeriği %54,89±0,36 (3 ölçüm sonucu) olarak belirlenmiştir.

**: 5 Mart 2020'de yapılan ekstra örneklemede Çınarlı Dere AKM'de TOM içeriği %76,67±5,62 (3 ölçüm sonucu) olarak belirlenmiştir.

Not: Parantez içerisinde verilen değer ölçüm sayısıdır. Ölçüm sayısının birden fazla olduğu durumda ortalama değer ± standart sapma verilmiştir.

Yapılan dere suyu örneklemlerini sonucu elde edilen, 2., 3. ve 4. örnekleme dönemlerine ait numunelerin toplam organik madde (TOM) içerikleri belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, en düşük toplam organik madde içeriği %4,98 ile 3. örnekleme döneminde Kazıklı Dere'de, en yüksek toplam organik madde içeriği ise %76,67 ile 3. örnekleme dönemine ek olarak 5 Mart 2020 tarihinde gerçekleştirilen örneklemede Çınarlı Dere'de saptanmıştır. En düşük toplam organik madde içeriğinin 3. örnekleme döneminde (Şubat 2020) saptanmasının sebebi, yağış miktarının ve dere debisinin ($2,17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) artmasına bağlı olarak, örnekleme yapılan Kazıklı Dere'nin suyunda organik madde konsantrasyonunun seyrelmiş olması olabilir. Aynı zamanda 5 Mart 2020 tarihindeki örneklemede tespit edilen, en yüksek toplam organik madde içeriğine sahip olan Çınarlı Dere'nin debisi $0,33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla, TOM içeriği ile debi arasında bir ilişki olabileceği ihtimali söz konusudur. Çınarlı Dere'de bu kadar yüksek TOM içeriği saptanmasının sebepleri, örnek alınan nokta etrafında yerleşimin, bitki ve hayvan sayısının fazla olması ve düşük hızdaki debi sebebiyle bu kaynaklardan gelebilecek organik madde içerikli kirleticilerin bölgeyi terk edememesi olabilir. Yapılan ölçümlerin daha net sonuçlar çıkarılabilmesi ve belirsizliklerin azaltılması için daha sık örnekleme yapılması gerekmektedir. Deniz yüzey sedimenti örneklerinde toplam organik karbon (TOK) içerikleri Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.6. Deniz yüzey sedimenti örneklerinin toplam organik karbon (TOK) içerikleri (%)

İzmit Körfezi Alt Bölgesi	Örnekleme Tarihi	TOK İçeriği (%)
Doğu	21 Kasım 2019	7,74
Batı	13 Şubat 2020	1,38
Merkez	13 Şubat 2020	3,21
Doğu	19 Şubat 2020	1,13

Deniz örneklemeleri sonucu elde edilen deniz yüzey sedimenti örneklerinin toplam organik karbon (TOK) içerikleri belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, en düşük toplam organik karbon içeriği %1,13 ile 3. örneklemeye dönemine tekabül eden 19 Şubat 2020 tarihli örneklemede doğu baseninde; en yüksek toplam organik karbon içeriği de %7,74 ile 2. örneklemeye dönemine tekabül eden 21 Kasım 2019 tarihli örneklemede doğu baseninde saptanmıştır. Tablo 4.6 incelendiğinde, bu çalışma kapsamında belirlenen toplam organik karbon içeriklerinin, Pekey ve dig.'nin (2005) çalışması kapsamında, İzmit Körfezi merkez ve batı basenlerini kapsayan noktalarda yapılan sediment örneklemeleri sonucu elde edilen toplam organik karbon verileri (ortalama; %3,8) ve Ergül ve dig.'nin (2011) çalışması kapsamında, İzmit Körfezi doğu, merkez ve batı basenlerinde elde edilen toplam organik karbon verileri (ortalamalar sırasıyla; %1,94, %2,47, %1,22) ile benzerlik gösterdiği söylenebilir. 21 Kasım 2019 tarihinde yapılan örneklemede doğu baseninden alınan sediment örneğinin toplam organik karbon içeriğinin %7,74 çıkışması diğer çalışmaların da sonuçlarına bakılacak olursa beklenen bir sonuç değildir. Analiz sonucunun böyle çıkışının sebebi, örneklemenin yapıldığı ana yakın bir zamanda, biyolojik aktivitedeki artışlar olabilir. Bu tarz belirsizlik yaratan süreçlerin en aza indirilmesi ya da ortadan kaldırılabilmesi için daha fazla noktadan daha fazla sayıda örneklemeye yapılması gerekmektedir.

4.1.2. Kimyasal Analiz Sonuçları

Proje kapsamında farklı çevresel fazlara ait örneklerde (havada partikül fazı, havada çözünmüş faz, yağmur suyunda partikül fazı, yağmur suyunda çözünmüş faz, kuru çökelme örnekleri, dere sularında çözünmüş ve partikül fazları, deniz suyunda çözünmüş

ve partikül fazlar, sediment) mevcut PAH bileşiklerinin miktarlarının belirlenmesi için yapılan kimyasal analizlerin sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

PUF örneklemme cihazı ile elde edilen örneklerde, çözünmüş (PUF örnekleri) ve partikül (filtre örnekleri) fazlarda tespit edilen PAH bileşiklerinin konsantrasyonları, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de sunulmuştur. Her iki fazda kimyasal analizlerin tespit sınır değerleri (Limit of Detection – LOD) Tablo 4.9'da sunulmuştur. Tespit sınır değerinin (LOD) altında kalan örneklerde konsantrasyon değeri ölçülebilen minimum değerin yarısı kabul edilmiştir. Havada çözünmüş ve partikül fazdaki PAHların yaz ve kış dönemleri ortalama konsantrasyonları, Şekil 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.7 incelendiğinde, havada çözünmüş fazda PAH konsantrasyonlarının yıllık ortalamalarının, $0,06 \text{ ng m}^{-3}$ (Indeno(1,2,3-cd)piren) ile $56,08 \text{ ng m}^{-3}$ (Fenantren) arasında; yaz ortalamalarının $0,01 \text{ ng m}^{-3}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $17,48 \text{ ng m}^{-3}$ (Fenantren) arasında; kış ortalamalarının ise $0,08 \text{ ng m}^{-3}$ (IP-BaP) ile $79,25 \text{ ng m}^{-3}$ (Fenantren) arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 4.8 incelendiğinde, havada partikül fazda PAH konsantrasyonlarının yıllık ortalamalarının, $0,2 \text{ ng m}^{-3}$ (Floren) ile $8,18 \text{ ng m}^{-3}$ (Benzo(g,h,i)perilen) arasında; yaz ortalamalarının $0,1 \text{ ng m}^{-3}$ (Fl) ile $5,02 \text{ ng m}^{-3}$ (Benzo(g,h,i)perilen) arasında; kış ortalamalarının ise $0,25 \text{ ng m}^{-3}$ (Floren ve Asenaftilen) ile $10,07 \text{ ng m}^{-3}$ (Benzo(g,h,i)perilen) arasında değiştiği görülmektedir.

Şekil 4.1 incelendiğinde havada çözünmüş ve partikül fazdaki PAH konsantrasyonlarının kış ortalamasının, yaz ortalamasına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Konsantrasyonların bu şekilde farklı bulunmasının sebepleri, kış döneminde yaz dönemine göre ısınma için daha fazla yakıt kullanılması ve fotodegradasyon vasıtası ile PAHların bozunumuna sebebiyet veren güneş ışınlarının yoğunluğunun daha az olması olabilir. Aynı zamanda, molekül ağırlığı düşük olan PAHların çözünmüş fazda, molekül ağırlığı yüksek olan PAHların ise partikül fazda daha fazla bulunduğu görülmektedir.

Tablo 4.7. Havada çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (ng/m³)

PAH	Kısaltma	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama	Yaz Ortalaması	Kış Ortalaması
Naftalin	NaP	4,42	10,52	0,19				0,15	0,08		1,39	3,94	2,21	2,86	0,54	4,26
Asenaftilen	AcNP	9,22	26,31	0,03*				0,09	0,03*		0,81	2,76	1,49	5,09	0,31	7,96
Asenaften	AcN	5,43	4,52	0,01*				0,03	0,38		0,69	1,22	6,81	2,39	0,37	3,60
Floren	Fl	20,73	23,05	9,26				0,39	0,08		4,34	11,08	19,86	11,10	1,60	16,80
Fenantren	PhA	93,67	97,69	38,02				7,49	1,27		43,68	55,39	111,46	56,08	17,48	79,25
Antrasen	AN	13,24	13,68	3,18				0,13	6,15		3,19	6,22	14,98	7,60	3,16	10,26
Floranten	FlA	39,38	38,79	13,40				2,66	6,69		10,49	20,75	50,15	22,79	6,61	32,49
Piren	Py	29,73	32,86	9,56	COVID-19 pandemisi yasakları nedeniyle örnekleme yapılamadı.			2,60	0,34	Cihazda pompa arızası	11,89	18,99	40,41	18,30	4,94	26,31
Benzo(a)antrasen	BaA	1,80	2,93	0,79				0,11	0,02		0,91	2,37	5,67	1,83	0,35	2,71
Krisen	Chy	3,54	5,76	1,75				0,28	0,15		2,22	3,74	7,99	3,18	0,88	4,56
Benzo(b)floranten	BbFlA	0,10	0,19	0,04				0,004*	0,004*		0,13	0,11	0,25	0,10	0,04	0,14
Benzo(k)floranten	BkFlA	0,09	0,13	0,04				0,02	0,010*		0,19	0,17	0,29	0,12	0,07	0,15
Benzo(a)piren	BaP	0,08	0,09	0,01				0,03	0,04		0,02	0,04	0,20	0,07	0,03	0,08
İndeno(1,2,3-cd)piren	IP	0,06	0,06	0,01				0,02	0,03		0,04	0,06	0,19	0,06	0,03	0,08
Dibenzo(a,h)antrasen	dBahA	2,35	0,01	0,001*				0,002	0,001*		0,01	0,01	0,05	0,31	0,01	0,49
Benzo(g,h,i)perilen	BghiP	0,07	0,06	0,02				0,03	0,04		0,10	0,17	0,17	0,08	0,05	0,10

*: Tespit sınır değerinin altında

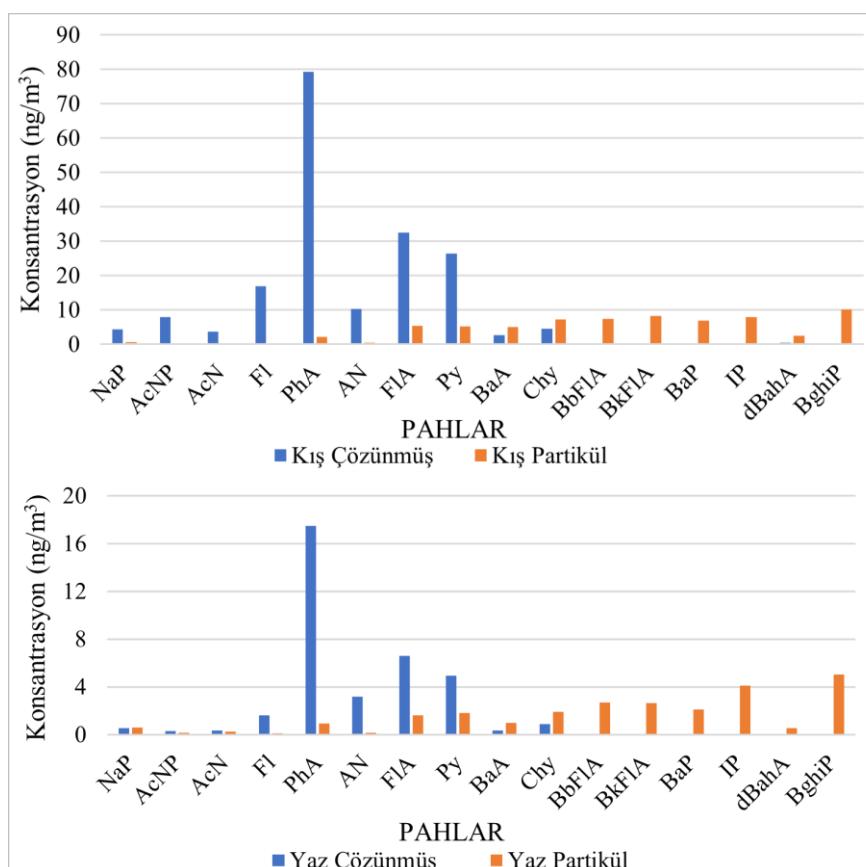
Tablo 4.8. Havada partikül fazda PAH konsantrasyonları (ng/m³)

PAH	Kısaltma	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama	Yaz Ortalaması	Kış Ortalaması
Naftalin	NaP	0,14	0,19	0,06*				0,42	0,65		0,75	0,97	1,35	0,57	0,61	0,54
Asenaftilen	AcNP	0,13	0,16	0,20				0,13	0,15		0,12	0,22	0,55	0,21	0,14	0,25
Asenaften	AcN	0,11	0,29	0,13				0,35	0,31		0,02	0,46	0,50	0,27	0,23	0,30
Floren	Fl	0,11	0,20	0,31				0,07	0,14		0,10	0,29	0,36	0,20	0,10	0,25
Fenantren	PhA	2,08	1,55	0,80				0,60	1,16		0,97	2,49	4,07	1,72	0,91	2,20
Antrasen	AN	0,37	0,31	0,14				0,09	0,15		0,15	0,29	1,40	0,36	0,13	0,50
Floranten	FlA	6,21	1,80	0,71				1,15	1,53		2,20	6,49	11,70	3,97	1,63	5,38
Piren	Py	5,86	1,77	0,66	COVID-19 pandemisi yasakları nedeniyle örnekleme yapılmadı.			1,12	1,95	Cihazda pompa arızası	2,32	6,55	11,09	3,92	1,80	5,19
Benzo(a)antrasen	BaA	5,96	1,05	0,29				0,63	0,90		1,45	7,34	10,68	3,54	0,99	5,06
Krisen	Chy	7,43	1,97	0,66				1,14	1,96		2,69	10,68	15,74	5,28	1,93	7,30
Benzo(b)floranten	BbFlA	6,59	1,61	0,21				2,04	4,04		1,93	10,33	18,09	5,61	2,67	7,37
Benzo(k)floranten	BkFlA	6,66	1,97	2,68				2,25	2,498		3,19	10,39	19,53	6,15	2,65	8,25
Benzo(a)piren	BaP	5,53	1,74	0,76				1,48	2,18		2,70	10,65	15,87	5,11	2,12	6,91
İndeno(1,2,3-cd)piren	IP	5,38	3,44	0,47				3,08	6,09		3,15	9,78	20,20	6,45	4,10	7,85
Dibenzo(a,h)antrasen	dBahA	0,79	0,53	0,87				0,34	0,87		0,42	7,14	3,38	1,79	0,54	2,54
Benzo(g,h,i)perilen	BghiP	5,68	5,80	9,81				3,70	7,95		3,42	9,52	19,56	8,18	5,02	10,07

*: Tespit sınır değerinin altında

Tablo 4.9. PUF örneklerinde LOD değerleri (ng/ml)

PAH	Çözünmüş Faz (PUF)	Partikül Fazı (Filtre)
Naftalin	18,31	20,37
Asenaftilen	4,20	7,94
Asenaften	18,57	4,23
Floren	16,55	4,94
Fenantren	190,52	45,63
Antrasen	21,54	5,02
Floranten	22,45	75,93
Piren	24,97	62,46
Benzo(a)antrasen	3,67	29,70
Krisen	6,04	12,86
Benzo(b)floranten	1,65	20,56
Benzo(k)floranten	0,03	22,00
Benzo(a)piren	0,93	8,36
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,13	5,79
Dibenzo(a,h)antrasen	0,44	1,78
Benzo(g,h,i)perilen	3,24	14,38



Şekil 4.1. Havada çözünmüş ve partikül fazdaki PAHların yaz ve kış konsantrasyonları (ng/m³)

Gaga ve diğ.'nin (2012) çalışmasında Kocaeli-İzmit'te, yaz ve kış sezonlarında atmosferik hava ömeklemeleri (gaz ve partikül) yapılmış ve elde edilen örneklerdeki PAH konsantrasyonları belirlenmiştir. Tablo 4.10 incelendiğinde, Gaga ve diğ. (2012) çalışmasındaki PAH konsantrasyonları ile bu tez çalışması kapsamında ölçülen PAH konsantrasyonları arasında benzerlik olduğu görülmektedir. İki çalışmada da yaz mevsimi ortalama konsantrasyonları, kış mevsimi ortalama konsantrasyonlarından düşüktür. Ancak Gaga ve diğ.'nin (2012) çalışmasında tespit edilen konsantrasyon değerlerinin bu çalışmada tespit edilen değerlerden genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, Gaga ve diğ.'nin (2012) çalışmasında örnekleme noktasının şehir merkezinde yer olması, bu çalışmada ise İzmit Körfezi kıyısına daha yakın bir örnekleme noktasının kullanılması ile açıklanabilir.

Tablo 4.10. Çözünmüş ve partikül fazdaki PAHların yaz ve kış dönemlerinde ölçülmüş konsantrasyonları (ng/m^3)

PAHLAR	Yaz Ortalaması				Kış Ortalaması			
	Çözünmüş Faz		Partikül Faz		Çözünmüş Faz		Partikül Faz	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Fl	1,60	2,3	0,10	0,2	16,80	43,1	0,25	0,7
PhA	17,48	33,4	0,91	1,6	79,25	92,9	2,20	5,8
AN	3,16	3,3	0,13	0,3	10,26	26,2	0,50	0,9
FlA	6,61	14,5	1,63	1,5	32,49	44,6	5,38	15,8
Py	4,94	13,1	1,80	1,6	26,31	36,5	5,19	17,2
BaA	0,35	2,6	0,99	0,3	2,71	3,4	5,06	14,9
Chy	0,88	2	1,93	0,7	4,56	2,6	7,30	20,3
BbFlA	0,04	0,2	2,67	4,8	0,14	0,2	7,37	26,2
BkFlA	0,07	0,3	2,65	5	0,15	0,2	8,25	18,5
BaP	0,03	0,2	2,12	4,9	0,08	0,4	6,91	18
IP	0,03	0,1	4,10	3,9	0,08	0,3	7,85	14,1
dBahA	0,01	-	0,54	5,3	0,49	0,3	2,54	6,2
BghiP	0,05	-	5,02	6,2	0,10	0,1	10,07	15,2
$\sum_{13}\text{PAH}$	35,25	72	24,59	36,3	173,42	250,8	68,87	173,8

I : Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar.

II : Gaga ve diğ., (2012) çalışmasından alınan sonuçlar

IKÇÖ cihazı ile elde edilen örneklerde yağmur suyunda çözünmüş fazda, yağmur suyunda partikül fazda, kuru çökelme haznesinde (haznede yağmur başlangıcında biriken suda, kuru hazne duvarlarında biriken partiküllerde) tespit edilen PAH bileşiklerinin miktarları aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.11 - Tablo 4.14). Her bir örnek matrisinde

kimyasal analizlerin tespit sınır değerleri (Limit of Detection – LOD) aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.15). Tespit sınır değerinin (LOD) altında kalan örneklerde konsantrasyon değeri ölçülebilen minimum değerin yarısı kabul edilmiştir. IKÇÖ cihazı ile elde edilen örneklerdeki PAH miktarları Şekil 4.2'de görselleştirilmiştir.

Tablo 4.11 incelendiğinde, yağmur örneklerinde çözünmüştür fazda tespit edilen PAH miktarlarının yıllık ortalamalarının, $0,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(a)antrasen) ile $22,57 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Naftalin) aralığında; kış ortalamalarının, $0,37 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (İndeno(1,2,3-cd)piren) ile $16,91 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Fenantren) aralığında; yaz ortalamalarının $0,07 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $37,73 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Naftalin) aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.12 incelendiğinde, yağmur örneklerinde partikül fazda tespit edilen PAH miktarlarının yıllık ortalamalarının, $0,11 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(a)antrasen) ile $22,18 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(b)floranten) aralığında; kış ortalamalarının, $0,12 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(a)antrasen) ile $12,15 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Fenantren) aralığında; yaz ortalamalarının, $0,07 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $43,61 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(b)floranten) aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.13 incelendiğinde, kuru havazeden alınan örneklerdeki PAH miktarlarının yıllık ortalamalarının, $0,30 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $15,93 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(a)piren) aralığında; kış ortalamalarının, $0,38 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $28,38 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(a)piren) aralığında; yaz ortalamalarının, $0,21 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $6,55 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Fenantren) aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.14 incelendiğinde, kuru havazede yağmur başlangıcında biriken sudaki PAH konsantrasyonlarının yıllık ortalamalarının $0,24 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $12,57 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Fenantren) aralığında; kış ortalamalarının, $0,08 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Dibenzo(a,h)antrasen) ile $15,78 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Fenantren) aralığında; yaz ortalamalarının, $0,17 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Benzo(a)piren) ile $15,58 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$ (Naftalin) aralığında olduğu görülmektedir. Atmosferik örneklemelerin tümüne bakıldığından yaz dönemi örneklemelerinde en fazla Benzo(b)floranten'e ($192,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$), kış dönemi örneklemelerinde en fazla Fenantren'e ($286,35 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$) rastlandığı görülmektedir. Yıllık ortalama incelendiğinde ise en fazla Fenantren'e ($456,42 \text{ ng m}^{-2} \text{ saat}^{-1}$) rastlandığı görülmektedir.

Tablo 4.11. Yağmur örneklerinde çözünmüş fazda tespit edilen PAH miktarları (ng/m²/saat)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan*	Mayıs*	Haziran*	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	25,66	11,19	0,38	-	-	-	0,57	4,50	6,33	139,51	11,99	2,99	22,57	10,44	37,73
Asenaftilen	1,73	4,05	0,61	-	-	-	1,84	0,50	1,14	1,27	1,91	0,95	1,56	1,85	1,19
Asenaften	3,74	12,20	0,23	-	-	-	0,11	1,08	1,40	3,45	2,75	4,07	3,23	4,60	1,51
Floren	2,55	7,61	0,41	-	-	-	0,20	2,70	10,84	8,64	22,94	5,19	6,79	7,74	5,60
Fenantren	4,16	21,35	1,99	-	-	-	5,01	13,66	31,10	42,19	38,38	18,69	19,61	16,91	22,99
Antrasen	3,15	16,15	15,74	-	-	-	1,99	1,01	1,53	1,16	4,22	0,18	5,01	7,89	1,42
Floranten	2,59	7,54	0,51	-	-	-	3,02	1,77	2,24	4,43	1,86	9,55	3,72	4,41	2,86
Piren	2,69	7,76	0,57	-	-	-	2,86	1,54	2,34	5,20	0,98	6,69	3,40	3,74	2,99
Benzo(a)antrasen	1,05	1,69	0,04	-	-	-	0,45	0,17	0,50	0,31	0,02	0,27	0,50	0,61	0,36
Krisen	2,25	4,46	0,10	-	-	-	0,78	0,11	0,59	3,71	0,05	0,05	1,34	1,38	1,30
Benzo(b)floranten	0,95	2,15	0,14	-	-	-	0,57	0,37	0,35	0,62	0,06	0,06	0,59	0,67	0,48
Benzo(k)floranten	0,04	5,64	0,08	-	-	-	0,35	0,14	0,06	0,09	0,04	2,81	1,03	1,72	0,16
Benzo(a)piren	8,45	0,34	0,02	-	-	-	0,21	0,01	0,58	0,39	0,02	0,45	1,16	1,85	0,30
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,61	0,47	0,04	-	-	-	0,50	0,04	2,10	0,11	0,04	0,70	0,51	0,37	0,68
Dibenzo(a,h)antrasen	0,27	0,08	4,04	-	-	-	0,08	0,03	0,12	0,05	0,09	0,23	0,55	0,94	0,07
Benzo(g,h,i)perilen	0,77	0,77	0,03	-	-	-	0,61	0,28	14,32	0,05	0,05	1,46	2,04	0,61	3,82

*: COVID-19 pandemisi kapanma döneminde örnekleme yapılamamıştır.

Tablo 4.12. Yağmur örneklerinde partikül fazda tespit edilen PAH miktarları (ng/m²/saat)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan*	Mayıs*	Haziran*	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık**	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	3,29	0,52	8,57	-	-	-	0,84	0,85	1,10	1,83	9,19	-	3,28	5,39	1,16
Asenaftilen	0,29	0,07	0,85	-	-	-	0,51	0,04	0,12	0,27	0,80	-	0,37	0,50	0,23
Asenaften	0,29	0,01	0,68	-	-	-	0,36	0,08	0,19	0,48	0,44	-	0,32	0,36	0,28
Floren	1,00	0,44	2,74	-	-	-	0,36	0,03	1,04	1,54	6,12	-	1,66	2,58	0,74
Fenantren	3,48	0,10	1,11	-	-	-	1,19	0,32	5,67	10,43	43,91	-	8,28	12,15	4,40
Antrasen	0,30	0,01	0,44	-	-	-	0,01	0,01	0,26	0,51	2,33	-	0,49	0,77	0,20
Floranten	2,58	0,05	0,05	-	-	-	0,05	0,12	0,71	2,86	8,93	-	1,92	2,90	0,93
Piren	2,04	0,05	0,05	-	-	-	0,05	0,12	0,96	2,69	6,86	-	1,60	2,25	0,95
Benzo(a)antrasen	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	0,01	0,08	0,31	0,48	-	0,11	0,12	0,10
Krisen	0,02	0,02	0,02	-	-	-	0,02	0,04	0,23	1,01	2,87	-	0,53	0,73	0,33
Benzo(b)floranten	0,17	0,16	0,17	-	-	-	0,17	0,44	97,23	76,60	2,49	-	22,18	0,75	43,61
Benzo(k)floranten	0,85	0,82	0,85	-	-	-	0,85	0,70	49,68	55,80	0,86	-	13,80	0,84	26,76
Benzo(a)piren	30,23	0,01	0,01	-	-	-	0,01	0,02	95,00	0,85	1,03	-	15,89	7,82	23,97
İndeno(1,2,3-cd)piren	2,18	0,04	0,04	-	-	-	0,04	0,08	0,48	1,16	2,77	-	0,85	1,26	0,44
Dibenzo(a,h)antrasen	0,36	0,01	0,01	-	-	-	0,01	0,02	0,08	0,16	0,41	-	0,13	0,20	0,07
Benzo(g,h,i)perilen	1,77	0,06	0,06	-	-	-	0,06	0,14	0,62	1,74	4,88	-	1,17	1,69	0,64

*: COVID-19 pandemisi kapanma döneminde örnekleme yapılamamıştır.

**: Laboratuvar analizi problemi

Tablo 4.13. Kuru havanın alınan örnekler kullanılarak hesaplanan PAH çökelme akıları (ng/m²/saat)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan*	Mayıs*	Haziran*	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	6,08	31,76	1,96	-	-	-	0,49	1,55	5,15	9,66	15,32	10,09	9,12	13,04	4,21
Asenaftilen	1,55	6,34	0,34	-	-	-	0,07	0,31	0,44	0,56	1,61	1,06	1,36	2,18	0,34
Asenaften	1,52	0,05	7,54	-	-	-	0,17	0,29	0,36	0,82	2,40	2,80	1,77	2,86	0,41
Floren	3,37	6,76	2,15	-	-	-	0,36	0,35	1,80	1,63	4,76	1,51	2,52	3,71	1,04
Fenantren	19,80	7,56	11,89	-	-	-	3,53	2,01	9,04	11,64	27,23	7,82	11,17	14,86	6,55
Antrasen	2,02	0,10	1,28	-	-	-	0,21	0,15	0,75	1,13	2,08	0,93	0,96	1,28	0,56
Floranten	45,39	0,65	8,51	-	-	-	0,62	1,21	3,01	4,80	8,44	16,71	9,93	15,94	2,41
Piren	25,62	0,61	5,15	-	-	-	0,53	1,09	2,78	3,91	5,47	11,54	6,30	9,68	2,08
Benzo(a)antrasen	3,55	0,07	1,32	-	-	-	0,07	0,21	0,59	0,55	1,17	1,61	1,02	1,55	0,35
Krisen	10,46	0,28	4,23	-	-	-	0,28	0,56	1,19	1,66	2,25	12,04	3,66	5,85	0,92
Benzo(b)floranten	18,45	0,03	1,64	-	-	-	0,03	0,02	5,70	1,43	4,55	0,02	3,54	4,94	1,80
Benzo(k)floranten	9,28	0,13	0,60	-	-	-	0,13	0,11	6,23	0,13	4,01	4,51	2,79	3,71	1,65
Benzo(a)piren	4,68	22,30	0,88	-	-	-	0,13	0,10	0,60	0,66	3,23	110,82	15,93	28,38	0,37
İndeno(1,2,3-cd)piren	5,17	1,42	1,09	-	-	-	0,38	0,32	1,54	2,13	3,89	0,36	1,81	2,39	1,09
Dibenzo(a,h)antrasen	0,72	0,08	0,32	-	-	-	0,08	0,06	0,27	0,43	0,71	0,07	0,30	0,38	0,21
Benzo(g,h,i)perilen	5,20	0,63	1,76	-	-	-	0,66	0,54	5,42	3,78	4,79	0,61	2,60	2,60	2,60

*: COVID-19 pandemisi kapanma döneminde örnekleme yapılamamıştır.

Tablo 4.14. Kuru havzede yağmur başlangıcında biriken sudaki PAH miktarları (ng/m²/saat)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan*	Mayıs*	Haziran*	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	3,91	2,33	2,15	-	-	-	0,48	0,00	1,03	60,81	4,43	1,87	8,56	2,94	15,58
Asenaftilen	2,67	3,47	0,50	-	-	-	0,14	0,00	0,31	12,21	1,46	2,76	2,61	2,17	3,17
Asenaften	11,39	4,09	1,05	-	-	-	0,31	0,00	0,57	42,22	5,86	2,08	7,51	4,90	10,77
Floren	5,86	6,37	1,92	-	-	-	1,17	0,00	1,68	4,96	4,90	3,79	3,40	4,56	1,95
Fenantren	10,89	25,66	6,86	-	-	-	3,86	0,00	7,30	23,12	23,71	11,76	12,57	15,78	8,57
Antrasen	1,32	3,63	0,74	-	-	-	0,00	0,00	0,55	1,93	1,69	1,55	1,27	1,79	0,62
Floranten	8,70	19,02	3,55	-	-	-	0,31	0,00	1,84	6,79	12,38	8,07	6,74	10,34	2,23
Piren	4,05	7,44	1,76	-	-	-	0,16	0,00	1,53	4,85	8,50	4,00	3,59	5,15	1,64
Benzo(a)antrasen	0,74	2,28	0,25	-	-	-	0,01	0,00	0,04	1,35	1,45	0,73	0,76	1,09	0,35
Krisen	1,72	6,29	1,21	-	-	-	0,01	0,00	0,51	2,63	3,79	1,31	1,94	2,87	0,79
Benzo(b)floranten	0,38	2,11	0,21	-	-	-	0,01	0,00	0,96	7,99	0,40	0,43	1,39	0,71	2,24
Benzo(k)floranten	0,27	0,05	0,32	-	-	-	0,00	0,00	0,60	2,48	0,29	0,26	0,48	0,24	0,77
Benzo(a)piren	0,21	0,42	0,03	-	-	-	0,00	0,00	0,03	0,64	1,11	0,17	0,29	0,39	0,17
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,25	0,25	0,03	-	-	-	0,00	0,00	1,39	10,46	1,05	0,09	1,50	0,33	2,97
Dibenzo(a,h)antrasen	0,06	0,10	0,01	-	-	-	0,00	0,00	0,23	1,51	0,17	0,04	0,24	0,08	0,43
Benzo(g,h,i)perilen	0,26	0,17	0,03	-	-	-	0,00	0,00	0,28	14,03	1,17	0,18	1,79	0,36	3,58

*: COVID-19 pandemisi kapanma döneminde örnekleme yapılamamıştır.

Tablo 4.15. IKÇÖ cihazı örneklerinde LOD değerleri (ng/ml)

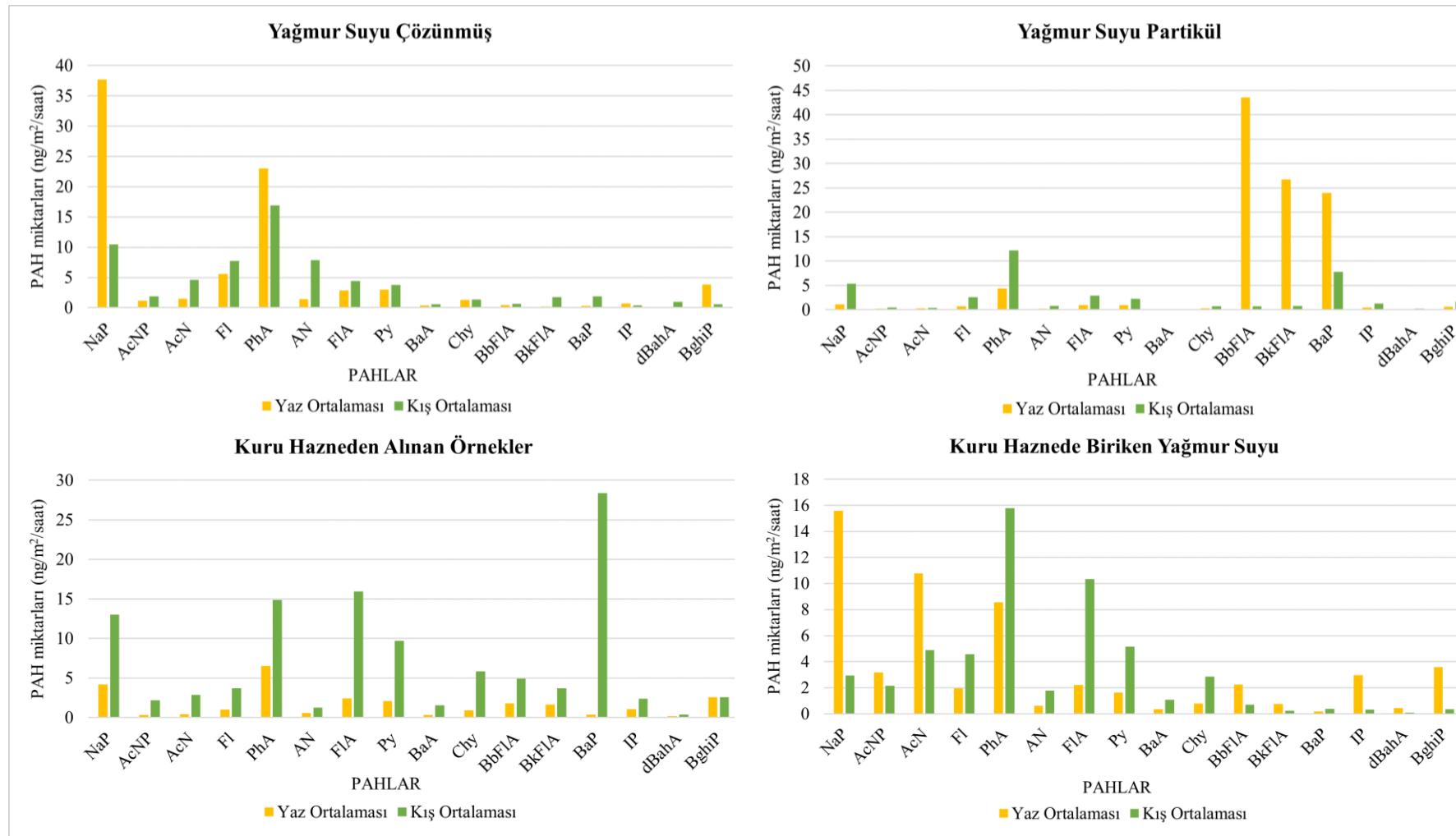
PAHLAR	Yağmur Suyunda Çözünmüş Faz	Yağmur Suyunda Partikül Faz	IKÇÖ Kuru Hazne Duvarında Biriken Partiküller	IKÇÖ Kuru Haznede Yağmur Başlangıcında Biriken Su
Naftalin	4,23	12,59	16,25	1,87
Asenaftilen	0,88	1,16	6,06	1,15
Asenaften	1,97	0,93	5,20	1,76
Floren	14,96	0,84	7,32	5,41
Fenantren	52,79	9,08	57,96	36,06
Antrasen	13,36	0,71	6,61	1,78
Floranten	19,88	4,91	42,22	7,65
Piren	19,52	4,89	39,50	4,21
Benzo(a)antrasen	2,06	1,06	5,26	2,33
Krisen	3,52	2,32	17,61	4,51
Benzo(b)floranten	5,09	15,23	4,53	6,28
Benzo(k)floranten	3,11	16,90	14,43	2,04
Benzo(a)piren	1,48	1,02	7,59	1,72
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,40	3,46	22,79	4,00
Dibenzo(a,h)antrasen	1,82	0,96	4,66	0,86
Benzo(g,h,i)perilen	1,87	6,07	32,74	3,65

Şekil 4.2 incelendiğinde, moleküller ağırlığı düşük olan PAHların yağmur suyunda çözünmüş fazda, moleküller ağırlığı yüksek olan PAHların ise yağmur suyunda partikül fazda bulunma eğiliminde olduğu; yağmur suyunda partikül fazda bulunan yüksek moleküller ağırlığa sahip PAHların yaz ortalamalarının kış ortalamalarına göre daha fazla olduğu; ıslak çökelme ile toplanan PAH miktarının, kuru çökelme ile toplanan PAH miktarından fazla olduğu; kış döneminde kuru hazneden alınan örneklerdeki PAH miktarının, yaz dönemine göre daha yüksek olduğu; kuru haznede ölçülen PAHlardan düşük moleküller ağırlığa sahip olanların, yüksek moleküller ağırlığa sahip olanolara göre daha fazla bulunduğu; görülmektedir. Pekey ve diğ.'nin (2007) çalışmasında, İzmit Körfezi yakınına bir istasyon kurulmuş ve bu istasyonda ıslak-kuru çökelme örneklemeleri yapılmıştır. Pekey ve diğ.'nin (2007) çalışmasında toplanılan örneklerdeki analizler sonucu, kış örneklemeye dönemine ait PAH konsantrasyonları, yaz örneklemeye dönemine ait PAH konsantrasyonlarından; ıslak çökelme ile toplanan örneklerdeki PAH konsantrasyonları, kuru çökelme ile toplanan PAH konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca ıslak ve kuru çökelme örneklemeleriyle, kış dönemi örneklemelerinde Asenaftilen, Asenaften, Floren, Fenantren ve Antrasen gibi düşük

moleküler ağırlıklı PAHlar, yaz dönemi örneklemelerinde Benzo(b)floranten, Benzo(k)floranten, Benzo(a)piren ve Dibenzo(a,h)antrasen gibi yüksek moleküler ağırlıklı PAHlar tespit edilmiştir. Pekey ve diğ.'nin (2007) yaptıkları çalışmada elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. İki çalışmada da ıslak çökelme ile toplanan PAH miktarları, kuru çökelme ile toplanan PAH miktarlarından ve kış örnekleme döneminde toplanan PAH miktarları, yaz örnekleme döneminde toplanan PAH miktarlarından daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca iki çalışmada da yaz dönemine ait örneklemelerde daha çok, yüksek moleküler ağırlığa sahip PAHlar, kış dönemine ait örneklemelerde ise daha çok, düşük moleküler ağırlığa sahip PAHlar tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak İzmit Körfezi'ne, kuru çökelmeye göre ıslak çökelmeyle; yaz dönemine göre kış döneminde daha fazla PAH toplandığı söylenebilir. Yaz örnekleme döneminde daha çok, yüksek moleküler ağırlığa sahip PAHların saptanmış olması, düşük moleküler ağırlığa sahip PAHların, güneş ışınlarıyla bozunuma daha çok uğramış olmasının göstergesi olabilir.

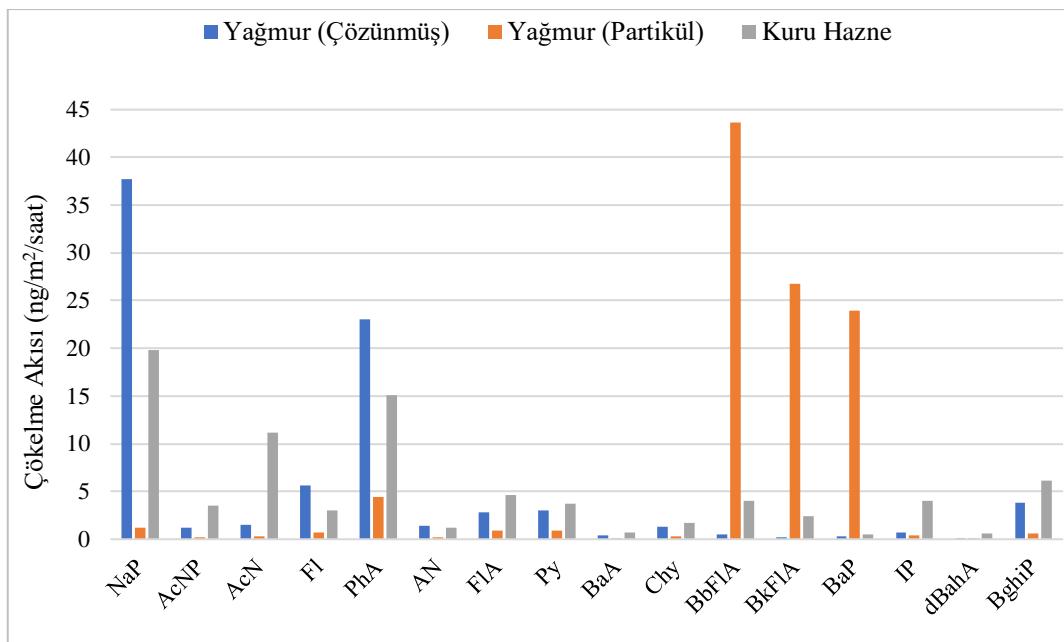
Birgül ve diğ.'nin (2011) çalışmasında Bursa'da bir istasyon kurulmuş ve bu istasyonda ıslak-kuru çökelme örneklemeleri yapılmıştır. Birgül ve diğ.'nin (2011) çalışmasında, toplanılan örneklerdeki analizler sonucu en fazla Fenantren'e rastlanmıştır. Tüm PAHların %86'sının çözünmüş fazda olduğunu ve genel olarak yüksek moleküler ağırlığa sahip PAHların konsantrasyonlarının düşük olduğunu belirlemiştir. Ayrıca kış dönemindeki PAH konsantrasyonları, yaz dönemindeki PAH konsantrasyonlarına göre daha yüksek saptanmıştır. Bu tez çalışmasında da en fazla Fenantren'e rastlanmış, kış dönemindeki PAH konsantrasyonları, yaz dönemindeki PAH konsantrasyonlarına göre daha yüksek belirlenmiştir. Bu çalışmada, gaz fazında belirlenen PAHların miktarı ile partikül fazında belirlenen PAHların miktarı arasındaki farkın, Birgül ve diğ.'nin (2011) çalışmasındaki fark kadar fazla olmamasının sebebi, Birgül ve diğ.'nin (2011) de belirttiği gibi örnekleme yapılan noktalar arasındaki atmosferik koşulların farklı olması olabilir.

Bu tez çalışması, Pekey ve diğ. (2007) ve Birgül ve diğ. (2011) çalışmalarındaki kış örnekleme dönemlerinde belirlenen PAH miktarlarının, yaz örnekleme dönemlerine göre yüksek saptanmasının sebepleri kış döneminde ısınma kaynaklı emisyonların artması, PAHların fotodegradasyonu için gerekli olan güneş ışınlarının yoğunluğunun az olması ve atmosferik karışım yüksekliğinin düşük olması olabilir.

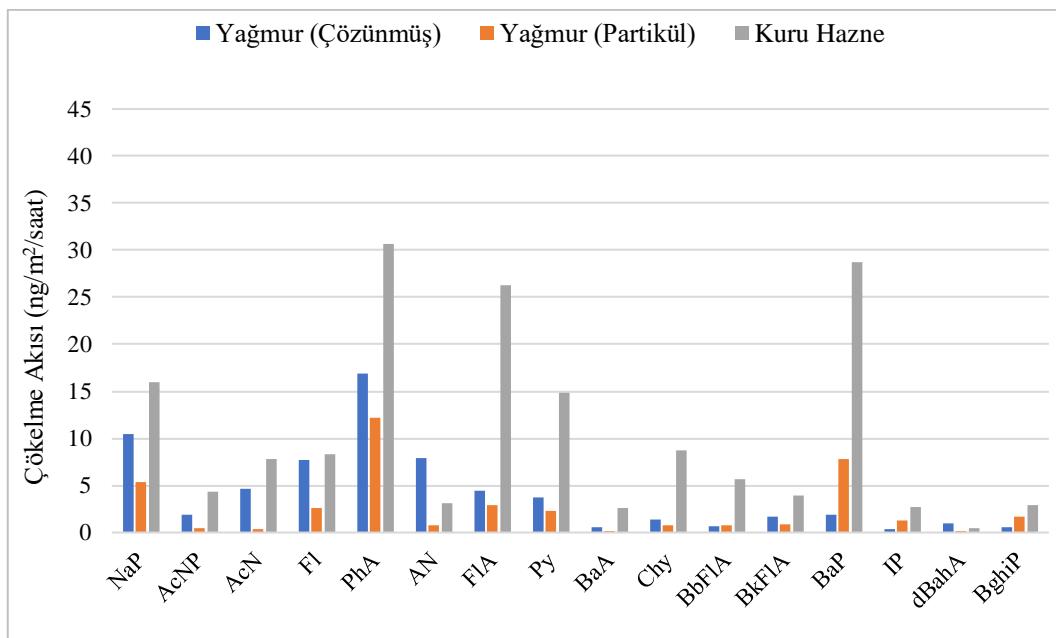


Şekil 4.2. IKÇÖ cihazı ile elde edilen örneklerdeki PAH miktarları (ng/m²/saat)

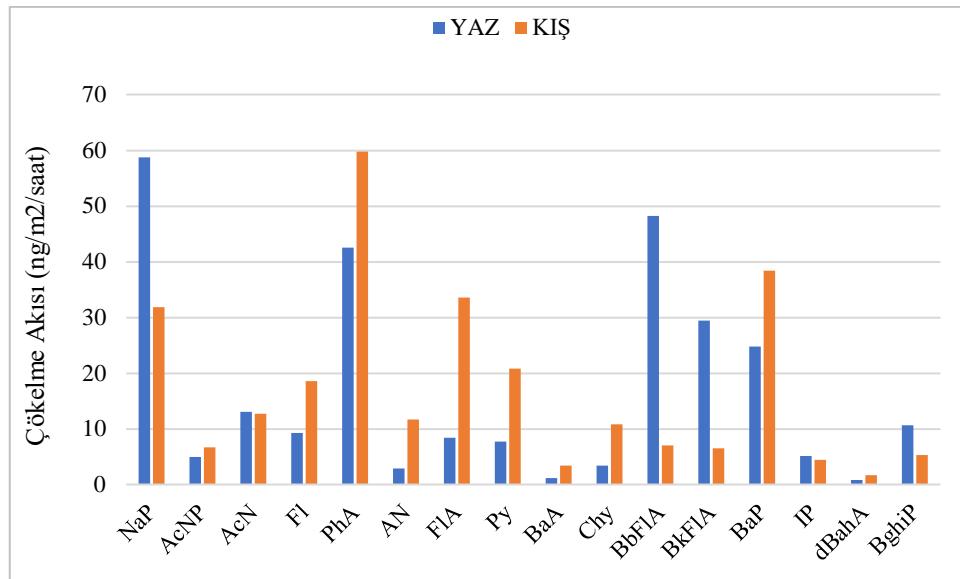
IKÇÖ ile toplanan örnekler vasıtasıyla hesaplanan çökelme akıları Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görselleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Yaz dönemine ait çökelme akıları (ng/m²/saat)



Şekil 4.4. Kış dönemine ait çökelme akıları (ng/m²/saat)



Şekil 4.5. Toplam çökelme akıları (ng/m²/saat)

Deniz suyu örneklerinde çözünmüş ve partikül fazda tespit edilen PAH bileşiklerinin miktarları aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.16 - Tablo 4.23). Her bir örnek matrisinde kimyasal analizlerin tespit sınır değerleri (Limit of Detection – LOD) aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.24). Tespit sınır değerinin (LOD) altında kalan örneklerde konsantrasyon değeri ölçülebilen minimum değerin yarısı kabul edilmiştir.

Tablo 4.16. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/L)

Dönem - 1 Ağustos 2019	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	39,27	49,67	142,13	33,62	32,43	72,81	73,91	66,37	39,76
Asenaftilen	0,14	1,06	0,90	0,54	0,46	0,90	0,90	0,76	0,53
Asenaften	1,61	3,02	3,84	1,44	0,92	3,07	2,13	1,94	0,89
Floren	0,78	1,27	1,23	1,78	0,91	0,79	2,16	1,45	1,12
Fenantron	6,11	8,07	5,30	16,52	9,29	10,91	22,07	14,84	12,13
Antrasen	0,77	6,94	0,50	17,23	9,60	0,04	1,01	0,04	0,04
Floranten	1,85	3,01	2,64	4,63	3,38	3,65	6,60	4,73	4,47
Piren	4,05	4,12	0,35	12,96	4,09	3,40	4,72	4,91	4,94
Benzo(a)antrasen	0,01	0,29	0,09	0,36	0,05	0,01	0,46	0,01	0,10
Krisen	0,04	0,04	0,04	0,15	0,10	0,04	0,04	0,04	0,04
Benzo(b)floranten	0,01	0,01	3,26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Benzo(k)floranten	2,78	3,14	0,80	3,50	2,50	2,02	6,17	2,33	1,44
Benzo(a)piren	0,01	0,01	0,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,03	0,39	3,41	1,09	0,03	0,03	0,48	0,03	0,03
Dibenzo(a,h)antrasen	0,09	1,03	0,09	0,96	0,09	0,09	1,43	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	1,31	0,64	0,03	1,97	0,49	1,34	0,81	0,75	0,55

Tablo 4.17. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/mg)

Dönem - 1 Ağustos 2019	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	2,11E+00	7,03E-01	5,26E-02	6,16E-01	7,16E-01	3,91E-01	2,50E+00	1,46E+00	4,75E-01
Asenaftilen	1,54E-01	3,67E-02	2,08E-05	2,08E-05	2,08E-05	2,16E-02	3,96E-01	2,08E-05	2,08E-05
Asenaften	1,99E-01	1,10E-01	8,24E-03	3,63E-02	1,70E-01	3,99E-02	1,88E+00	1,06E-04	2,78E-01
Floren	1,86E-01	3,46E-02	1,67E-02	6,49E-02	2,27E-01	4,74E-02	3,69E-01	4,81E-01	2,71E-01
Fenantren	6,68E-01	3,15E-01	3,77E-02	5,88E-01	8,48E-01	3,24E-01	2,61E+00	5,73E-01	1,54E+00
Antrasen	1,26E-01	4,62E-05	1,17E-02	1,34E-01	1,05E+00	3,81E-01	4,76E-01	5,13E-01	5,95E-01
Floranten	2,35E-01	9,29E-02	9,46E-03	1,18E-01	3,08E-01	8,72E-02	6,76E-01	9,21E-02	5,26E+00
Piren	2,53E-01	8,78E-02	9,33E-03	1,31E-01	2,82E-01	1,03E-01	8,19E-01	1,06E-01	6,85E+00
Benzo(a)antrasen	4,24E-05	4,24E-05	4,24E-05	4,24E-05	4,24E-05	4,24E-05	1,78E-01	4,24E-05	9,67E+00
Krisen	9,44E-05	9,44E-05	9,44E-05	9,44E-05	9,44E-05	9,44E-05	1,46E-01	9,44E-05	8,67E+00
Benzo(b)floranten	3,37E+00	1,07E-04	1,07E-04	1,86E+00	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,02E+01
Benzo(k)floranten	4,69E-05	7,91E-01	4,69E-05	1,96E+00	2,68E+00	1,08E+00	3,85E+00	1,64E+00	9,47E+00
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	6,81E-02	1,70E-03	8,17E+00
İndeno(1,2,3-cd)piren	2,56E-01	3,24E-03	3,24E-03	9,90E-02	8,54E-02	3,24E-03	9,08E-02	3,24E-03	1,51E+01
Dibenzo(a,h)antrasen	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	8,68E-02	2,48E-03	3,43E-02	2,91E-01	2,48E-03	1,19E+01
Benzo(g,h,i)perilen	3,79E-01	3,31E-03	3,31E-03	1,50E-01	8,85E-02	8,66E-02	3,65E-01	9,87E-02	1,42E+01

Tablo 4.18. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım 2019) (ng/L)

Dönem - 2 Kasım 2019	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	16,09	102,85	39,68	12,01	129,71	17,01	34,80	9,98	29,33
Asenaftilen	1,27	6,34	0,65	0,46	13,60	0,90	6,42	0,51	0,82
Asenaften	3,56	17,39	2,07	1,41	39,25	2,95	6,51	0,21	2,41
Floren	2,51	11,46	1,86	1,08	3,46	1,47	4,91	0,13	1,74
Fenantren	11,64	51,61	6,88	5,25	25,06	8,05	22,70	13,00	7,88
Antrasen	6,60	5,11	0,81	0,87	2,22	7,71	2,56	13,74	8,58
Floranten	5,82	20,29	1,74	2,36	36,27	4,57	10,35	3,22	3,19
Piren	9,93	19,81	1,37	2,12	27,29	3,34	7,71	3,94	3,24
Benzo(a)antrasen	1,25	3,63	0,22	0,49	3,69	0,60	1,81	0,01	0,81
Krisen	0,75	8,20	0,49	0,61	8,67	1,32	8,73	0,04	0,95
Benzo(b)floranten	0,01	0,14	0,01	0,03	7,97	0,01	52,17	0,01	0,01
Benzo(k)floranten	5,19	37,31	228,35	4,72	7,45	3,56	19,43	0,02	3,25
Benzo(a)piren	1,36	3,83	0,01	0,56	3,05	0,39	10,81	0,01	0,50
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,85	11,88	0,87	1,97	8,26	1,73	56,30	0,03	0,83
Dibenzo(a,h)antrasen	0,28	4,00	0,09	0,20	2,01	0,09	5,89	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	2,91	14,62	1,09	2,96	16,52	2,97	71,66	18,19	1,12

Tablo 4.19. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım 2019) (ng/mg)

Dönem - 2 Kasım 2019	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	2,02E+00	1,77E+00	1,60E+00	1,84E+00	2,20E+00	1,52E+00	1,67E+00	1,67E+00	1,36E+00
Asenaftilen	3,90E-02	4,15E-02	5,19E-02	5,20E-02	4,27E-02	4,27E-02	4,43E-02	4,59E-02	4,84E-02
Asenaften	7,73E-02	4,80E-02	4,55E-02	1,06E-04	5,64E-02	2,20E-02	5,66E-02	4,33E-02	3,81E-02
Floren	1,10E-01	8,79E-02	9,60E-02	1,06E-01	9,39E-02	7,87E-02	9,83E-02	1,01E-01	1,40E-01
Fenantren	4,32E-01	3,85E-01	3,61E-01	3,82E-01	4,60E-01	3,58E-01	3,13E-01	3,26E-01	4,37E-01
Antrasen	1,68E-01	4,32E-02	4,12E-01	3,88E-01	4,62E-05	2,46E-02	4,03E-02	5,16E-02	4,67E-01
Floranten	2,26E-01	1,95E-01	2,68E-01	2,56E-01	2,28E-01	2,55E-01	1,84E-01	2,23E-01	2,04E-01
Piren	8,48E-01	8,57E-01	8,27E-01	1,09E+00	1,09E+00	8,84E-01	8,79E-01	8,98E-01	8,17E-01
Benzo(a)antrasen	5,93E-02	1,68E-02	2,97E-02	1,78E-02	4,24E-05	3,76E-02	1,78E-02	8,25E-03	1,77E-02
Krisen	1,33E-02	2,10E-02	6,34E-02	4,12E-02	4,29E-02	7,22E-02	2,90E-02	4,27E-02	9,44E-05
Benzo(b)floranten	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04
Benzo(k)floranten	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,27E-01	3,24E-03							
Dibenzo(a,h)antrasen	6,32E-02	2,87E-02	5,35E-02	4,99E-02	7,91E-02	4,00E-02	3,47E-02	3,13E-02	4,84E-02
Benzo(g,h,i)perilen	2,06E-01	3,31E-03	4,01E-02	6,29E-02	3,31E-03	4,95E-02	3,69E-02	3,04E-02	3,31E-03

Tablo 4.20. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/L)

Dönem - 3 Şubat 2020	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	22,38	33,27	21,13	32,99	28,78	27,05	75,97	11,71	19,68
Asenaftilen	7,47	13,55	2,76	8,09	7,48	4,35	20,69	6,12	5,57
Asenaften	5,03	48,28	4,02	8,18	4,95	0,84	31,80	23,69	22,79
Floren	11,51	11,12	5,47	11,25	5,54	6,94	16,56	10,64	5,44
Fenantren	60,67	71,14	31,48	42,65	18,32	42,33	32,07	47,26	31,75
Antrasen	5,71	8,47	5,34	5,16	3,27	5,85	3,21	7,31	5,23
Floranten	28,79	22,81	8,43	12,61	6,85	20,32	33,77	16,38	12,78
Piren	17,71	19,39	6,99	10,80	5,91	15,74	21,79	14,19	20,20
Benzo(a)antrasen	2,07	1,63	1,02	0,67	0,15	1,26	1,18	1,16	0,89
Krisen	6,00	4,92	2,18	2,10	1,04	5,47	3,29	2,51	2,50
Benzo(b)floranten	3,50	0,01	0,47	0,46	0,25	0,34	0,54	1,60	0,54
Benzo(k)floranten	8,91	0,02	1,11	0,88	1,05	0,63	2,24	7,71	1,80
Benzo(a)piren	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Dibenzo(a,h)antrasen	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 4.21. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/mg)

Dönem - 3 Şubat 2020	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	1,77E+00	1,83E+00	9,26E-01	1,46E+00	2,23E+00	2,21E+00	1,83E+00	1,93E+00	7,89E-01
Asenaftilen	7,43E-02	1,85E-01	1,46E-01	2,08E-05	2,19E-01	8,71E-02	2,08E-05	2,08E-05	2,08E-05
Asenaften	4,68E-01	1,06E-04	9,87E-02	2,20E+00	5,29E-01	1,95E-01	1,03E+00	1,41E-01	1,49E-01
Floren	3,63E-01	2,54E-01	1,01E-01	1,81E-01	4,31E-01	3,40E-01	2,38E-01	4,42E-05	9,19E-02
Fenantron	1,23E+00	5,49E-01	4,51E-01	4,56E-01	1,11E+00	9,28E-01	7,81E-01	1,03E+00	2,55E-01
Antrasen	2,78E-01	1,70E-01	1,20E-01	1,78E-01	4,62E-05	1,86E-01	2,33E-01	2,70E-01	1,06E-01
Floranten	4,24E-01	1,55E-01	9,86E-02	1,25E-01	2,64E-01	2,71E-01	1,98E-01	3,59E-01	5,72E-02
Piren	4,27E-01	1,63E-01	1,12E-01	1,50E-01	2,65E-01	2,73E-01	2,87E-01	2,93E-01	7,60E-02
Benzo(a)antrasen	1,23E-01	3,34E-02	2,74E-02	2,65E-02	9,66E-02	4,24E-05	9,72E-02	4,24E-05	2,48E-02
Krisen	2,38E-01	4,88E-02	3,64E-02	8,11E-02	9,03E-02	1,24E-01	1,43E-01	9,44E-05	3,24E-02
Benzo(b)floranten	2,00E-01	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	3,06E-02	1,70E-01	2,95E-01	1,07E-04	1,07E-04
Benzo(k)floranten	6,09E-01	4,69E-05	4,69E-05	1,35E-01	1,64E-01	4,84E-01	6,54E-01	4,69E-05	4,69E-05
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03
Benzo(g,h,i)perilen	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03

Tablo 4.22. Deniz suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/L)

Dönem - 4 Temmuz 2020	Batı			Merkez			Doğu		
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt
Naftalin	0,42	0,42	1,77	1,11	9,39	2,92	2,28	3,28	2,40
Asenaftilen	0,68	0,76	0,59	1,43	2,63	0,79	2,48	1,72	5,05
Asenaften	1,89	0,83	0,99	1,79	7,75	0,81	5,04	1,97	4,32
Floren	0,83	0,36	0,53	1,07	3,38	0,46	0,97	0,98	0,91
Fenantron	5,26	0,94	5,20	7,33	10,31	2,45	5,78	6,81	4,56
Antrasen	0,33	0,20	0,23	0,50	0,72	0,32	0,96	0,48	0,70
Floranten	1,26	0,42	1,77	2,84	3,32	1,48	2,01	1,45	1,52
Piren	1,05	0,35	1,80	2,42	2,45	1,27	1,30	1,35	0,35
Benzo(a)antrasen	0,02	0,04	0,08	0,12	0,08	0,04	0,06	0,07	0,05
Krisen	0,04	0,10	0,43	0,65	0,19	0,12	0,04	0,10	0,14
Benzo(b)floranten	0,01	0,01	0,11	0,15	0,01	1,26	0,06	0,01	0,17
Benzo(k)floranten	0,02	0,02	0,15	0,13	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Benzo(a)piren	0,03	0,01	0,03	0,06	0,62	0,01	0,03	0,01	0,03
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,03	0,03	0,10	0,29	1,73	0,03	0,03	0,07	0,07
Dibenzo(a,h)antrasen	0,09	0,09	0,09	0,09	2,78	0,09	0,09	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	0,03	0,03	0,15	0,38	3,68	0,09	0,03	0,12	0,14

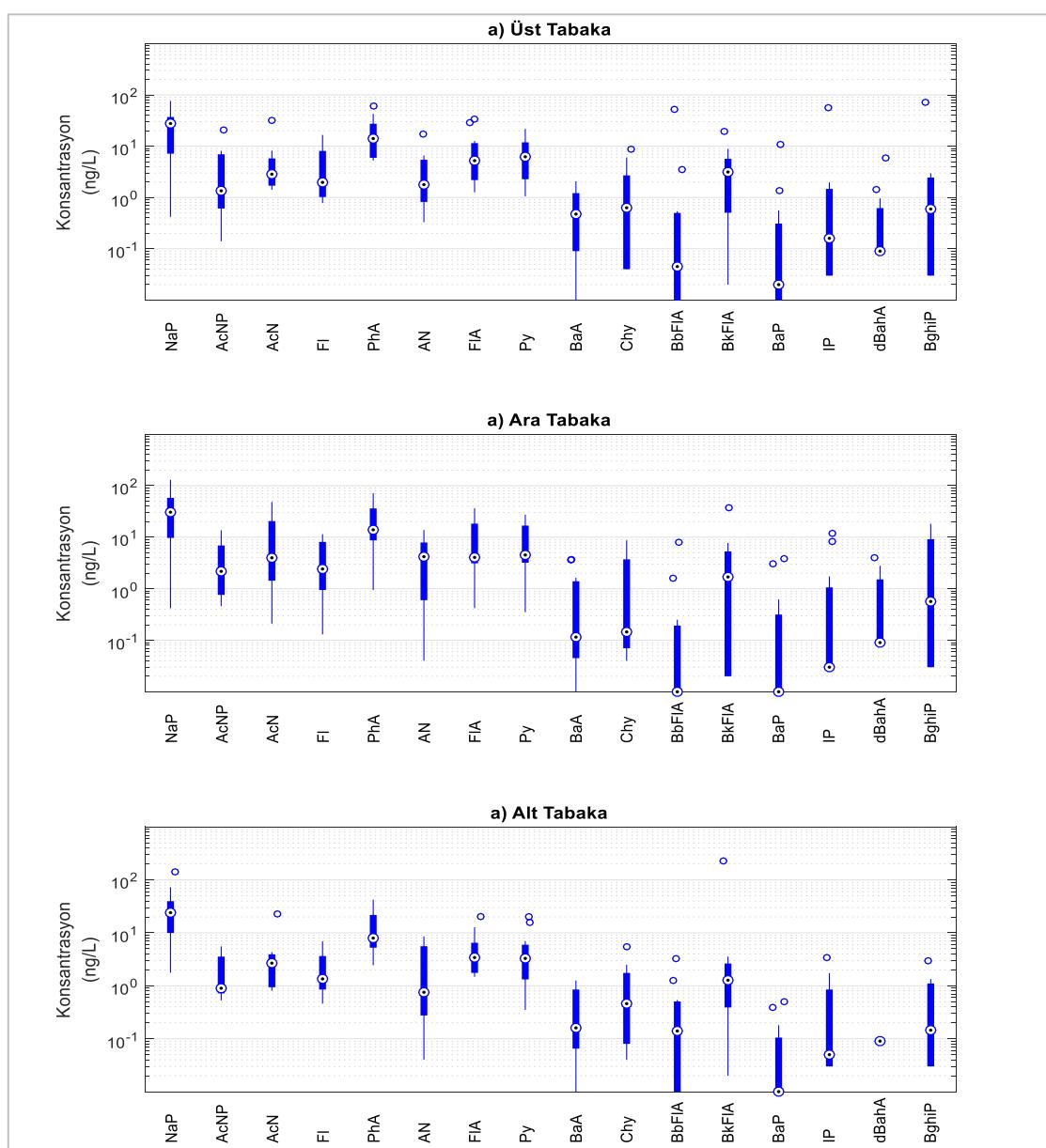
Tablo 4.23. Deniz suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/mg)

Dönem - 4 Temmuz 2020	Batu			Merkez			Doğu			
	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	Üst	Ara	Alt	
Naftalin	2,05E+00	4,02E-02		1,25E-01	1,39E-01	1,34E-01	1,39E-01	1,54E-01	7,90E-02	
Asenaftilen	2,50E-01	7,41E-03		1,73E-02	1,49E-02	6,43E-02	1,58E-02	1,69E-02	3,32E-02	
Asenaften	4,93E-01	1,23E-02		4,00E-02	2,89E-02	2,86E-02	4,07E-02	3,32E-02	2,10E-02	
Floren	2,98E-01	8,13E-03		1,46E-02	2,97E-02	1,81E-02	1,83E-02	1,50E-02	4,42E-05	
Fenantren	1,59E+00	7,02E-02		1,07E-01	1,72E-01	1,03E-01	1,39E-01	8,36E-02	8,57E-02	
Antrasen	1,57E-01	1,07E-02		4,62E-05	2,48E-02	2,48E-02	6,08E-02	8,13E-03	2,59E-02	
Floranten	3,26E-01	3,02E-02		3,53E-02	5,78E-02	3,61E-02	3,84E-02	2,02E-02	4,47E-02	
Piren	3,07E-01	3,03E-02		AKM verisi yok	3,67E-02	4,96E-02	4,53E-02	4,20E-02	2,32E-02	4,82E-02
Benzo(a)antrasen	5,15E-02	1,11E-02			1,70E-02	3,62E-03	2,57E-02	1,34E-02	5,04E-03	1,40E-02
Krisen	6,27E-02	1,64E-02			3,72E-02	3,99E-03	3,27E-02	1,21E-02	8,61E-03	2,92E-02
Benzo(b)floranten	1,47E-01	2,44E-02			4,79E-02	1,21E-02	7,30E-02	3,45E-02	1,29E-02	5,06E-02
Benzo(k)floranten	4,04E-02	4,69E-05			4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05	3,07E-02
Benzo(a)piren	4,37E-02	8,71E-03			1,45E-02	1,70E-03	2,88E-02	1,87E-02	9,44E-03	3,09E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,80E-01	1,74E-02			1,41E-01	3,24E-03	7,48E-02	4,47E-02	3,74E-02	8,24E-02
Dibenzo(a,h)antrasen	2,48E-03	2,48E-03			1,86E-02	2,48E-03	1,81E-02	2,48E-03	2,48E-03	1,60E-02
Benzo(g,h,i)perilen	3,70E-01	4,13E-02			1,64E-01	3,31E-03	1,05E-01	5,56E-02	5,30E-02	9,52E-02

Tablo 4.24. Dere ve deniz suyu örneklerinde LOD değerleri (ng/ml)

PAHLAR	Suda Çözünmüş Faz	Partikül Madde Fazı
Naftalin	0,23	4,43
Asenaftilen	0,22	0,26
Asenaften	0,14	0,27
Floren	2,92	6,62
Fenantren	0,12	3,74
Antrasen	0,1	2,49
Floranten	0,18	1,34
Piren	0,25	3,74
Benzo(a)antrasen	0,01	0,4
Krisen	3,84	0,21
Benzo(b)floranten	0,21	0,42
Benzo(k)floranten	0,02	0,39
Benzo(a)piren	0,004	0,24
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,34	0,1
Dibenzo(a,h)antrasen	2,65	0,68
Benzo(g,h,i)perilen	1,52	0,54

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de, tüm örneklemeye dönemlerinde elde edilen çözünmüş PAH ve partikül fazdaki PAH konsantrasyonu verileri özetlenmiştir. Her bir PAH bileşigi için tüm örneklemeye dönemleri boyunca ölçülen değerler, körfez tabakalarına göre ayrılmıştır.



Şekil 4.6. Doğu, merkez ve batı basenlerinde çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (ng/L)

Şekil 4.6 incelendiğinde, üst, ara ve orta tabakalarda NaP, AcNP, AcN, Fl, PhA, AN ve FlA gibi daha düşük molekül ağırlığı sahip bileşiklerin çözünmüş PAH konsantrasyonlarının, yüksek molekül ağırlığına sahip PAH bileşiklerine göre daha yüksek seviyelerde bulunduğu görülmektedir. Bununla beraber, bu PAH bileşiklerinin üst

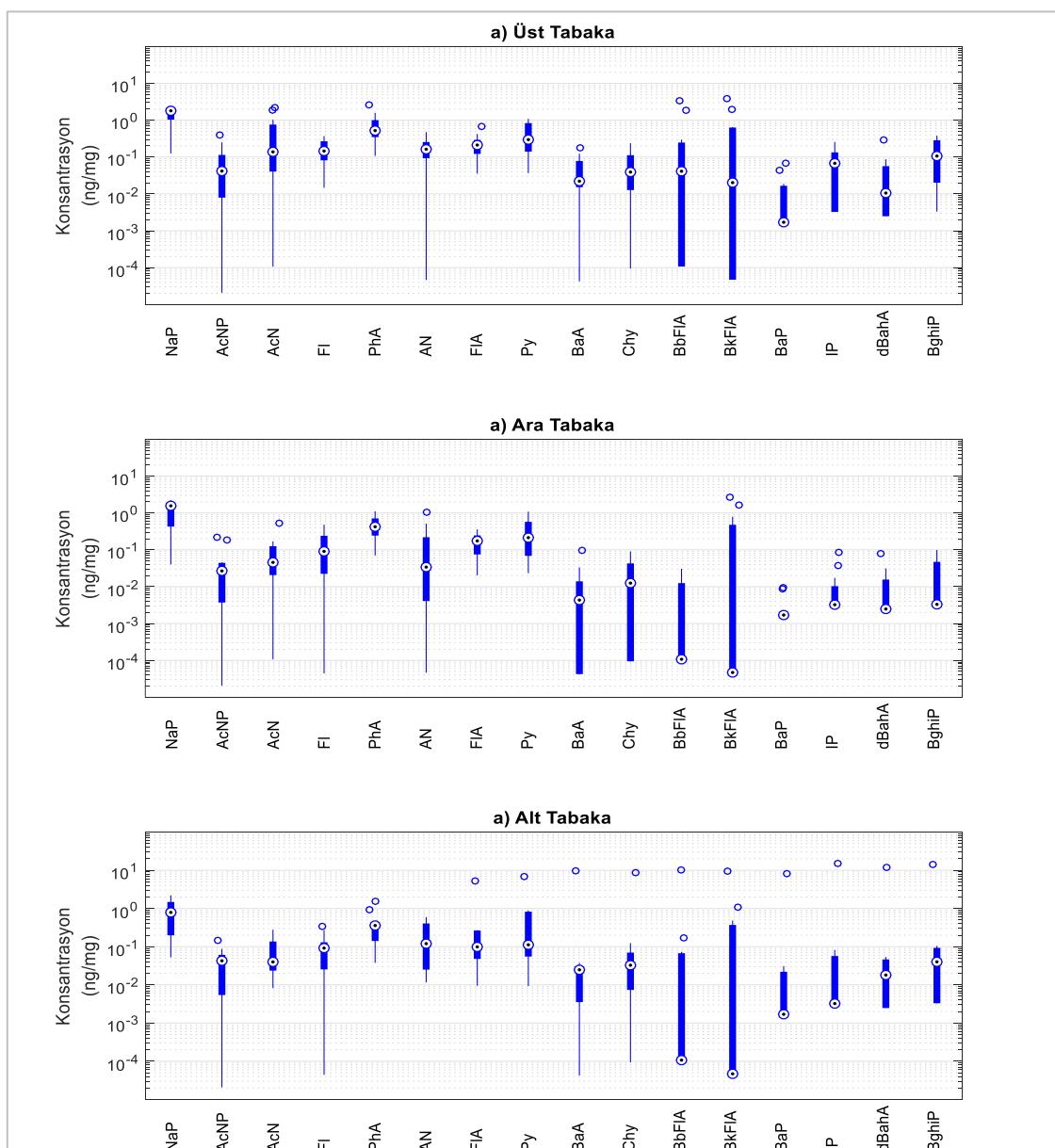
ve ara tabakadaki konsantrasyonlarında belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Alt tabakada ise konsantrasyon seviyelerinde bir miktar düşüş kaydedilmiştir. Py, BaA, Chy, BbFlA, BkFlA, BaP, IP, dBahA ve BghiP gibi daha yüksek molekül ağırlığı ve suda düşük çözünürlüğe sahip olan PAH bileşiklerinin, toplam çözünmüş PAH konsantrasyonlarının daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

Tüm örnekleme dönemleri boyunca alınan deniz suyu numunelerinde ölçülen partikül faz PAH konsantrasyonları Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi NaP, AcNP, AcN, Fl, PhA, AN ve FlA gibi düşük moleküller ağırlığa sahip bileşiklerin, genel olarak tüm tabakalarda benzer seviyelerde seyrettiği tespit edilmiş, üst, ara ve alt tabakadaki konsantrasyonlarında belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Yüksek molekül ağırlığa sahip PAH bileşiklerine (Chy, BbFlA, BkFlA, BaP, IP, dBahA ve BghiP) bakıldığından üst ve ara tabakalarda düşük molekül ağırlığa sahip PAH'lara benzer partikül PAH konsantrasyonlarına sahip olduğu görülmektedir. Alt tabakaya bakıldığından ise yüksek molekül ağırlığına sahip PAH bileşiklerinin yüksek oranda partikül fazda bulundukları görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan saha çalışmalarına benzer, İzmit Körfezi deniz suyunda bireysel PAH konsantrasyonlarını belirleyen çok az saha çalışması bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, deniz suyunda çözünmüş faz ve partikül faz PAH konsantrasyonlarını ayrı ayrı analiz eden bir çalışma ise bulunmamaktadır. Telli-Karakoç ve diğerleri (2002a), Gölcük Depremi'nden önce Nisan ayı 1999 yılında İzmit Körfezi kıyı bölgelerinden aldıkları deniz suyu örneklerinde, 17 ayrı PAH bileşигinde, toplam (bulk) konsantrasyonları için ölçüm yapmıştır. Ölçümü yapılan PAH'lardan altısının (AcNP, BaP, BbFlA, dBahA, BghiP, IP) alınan hiçbir numunede tespit edilemediğini belirtmişlerdir. Bununla beraber, AcN ve AN az sayıda örnekte ancak düşük konsantrasyonlarda saptanmıştır. NaP, Py, PhA, BaA, Fl, FlA ve Chy ise tüm örneklerde ve nispeten yüksek oranlarda tespit edilmiştir.

Telli-Karakoç ve diğerleri (2002b), TÜBİTAK destekli “İzmit Körfezi'nin Deprem Sonrası Kirlilik Durumunun Belirlenmesi” başlıklı bir proje yürütmüş ve proje kapsamında kıyı yüzey sularındaki PAH konsantrasyonlarının deprem sonrası değişimlerini (Mayıs 2001 - Nisan 2002) araştırmışlardır. Telli-Karakoç ve diğerlerinin (2002b) çalışması, körfez sularında depremden sonraki PAH konsantrasyonlarının

belirlenmesi adına yapılmıştır. Telli-Karakoç ve diğerleri (2002a) çalışmasında olduğu gibi Telli-Karakoç ve diğerleri (2002b) çalışmasında da çözünmüş ve partikül fazda bulunan PAH konsantrasyonları ayrı ayrı ölçülmemiştir. Örnekleme süresi boyunca en hafif moleküller ağırlıklı PAH olan NaP konsantrasyonlarında bir artış gözlenirken, daha yüksek moleküller ağırlıklı PAH bileşiklerinin (Chy, BbFlA) bazıları ise önce artmış olup çalışmanın sonlarına doğru (Nisan 2002) sonra keskin bir düşüş sergilemiştir. Diğer PAH bileşiklerinin çoğunun konsantrasyonları ise deniz suyu örneklerinde tespit limitinin altında bulunmuştur.



Şekil 4.7. Doğu, merkez ve batı basenlerinde partikül fazda PAH konsantrasyonları (ng/mg)

Deniz yüzey sedimenti örneklerinde tespit edilen PAH bileşiklerinin konsantrasyonları Tablo 4.25'te sunulmuştur. 1980'lerden günümüze kadar, sedimentlerde bulunan kimyasalların çevredeki canlı yaşamını ne derece etkilediğini değerlendirmek ve sediment kalitesini belirlemek üzere sediment kalite kılavuzları geliştirilmiştir (Wenning ve Ingersoll, 2002). Bu sediment kalite kılavuzlarından birisi de Kanada Çevre Bakanları Konseyi tarafından geliştirilen Kanada Sediment Kalite Yönergesi'dir. Bu yönergede, Eşik Etki Sınırı (Threshold-Effects Level - TEL) ve Olası Etki Sınırı (Probable-Effects Level - PEL) yaklaşımı ile belirlenmiş PAH konsantrasyonlarına ait değerler (Burton, 2002) Tablo 4.26'da sunulmuştur. Deniz sedimentinde ölçülen PAH konsantrasyonlarının belirlenen TEL değerlerinin altında kalması, PAHlar tarafından meydana gelebilecek yan etkilerin nadiren oluştuğunu, TEL ve PEL değerlerinin arasında olması yan etkilerin ara sıra meydana geldiğinin ve PEL değerlerinin üstünde olması yan etkilerin sıklıkla meydana geldiğinin göstergesidir (CCME, 1999). Bu örnek matrisinde kimyasal analizlerin tespit sınır değerleri (Limit of Detection – LOD) Tablo 4.27'de sunulmuştur. Tespit sınır değerinin (LOD) altında kalan örnek olmamıştır.

Tablo 4.25 incelendiğinde, 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde yapılan saha çalışmaları sonucu elde edilen sediment örneklerindeki PAH konsantrasyonları, 1,87 ng/g (Asenaften) ile 421 ng/g (Benzo(g,h,i)perilen) aralığında saptanmıştır. En düşük PAH konsantrasyonunun 19 Şubat 2020 tarihli örneklemede doğu baseninde, en yüksek PAH konsantrasyonunun 21 Kasım 2019 tarihli örneklemede yine doğu baseninde tespit edildiği görülmektedir. Merkez ve doğu basenlerindeki sedimentlerde, toplam PAH konsantrasyonlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Doğu baseninde, 21 Kasım 2019 tarihli örneklerde tespit edilen PAH konsantrasyonları ile 19 Şubat 2020 tarihli örneklerde tespit edilen PAH konsantrasyonları karşılaştırıldığında, tüm PAH bileşiklerinin konsantrasyonlarında düşüş olduğu görülmektedir. Bu düşüş doğu baseni sedimentindeki PAH konsantrasyonlarının yıl içerisinde değiştigini gösterebileceği gibi örneklemelerin daha fazla noktadan yapılması gerektiğini de gösterebilir. Zira kısıtlı imkanlar çerçevesinde yapılan az sayıdaki örneklemeler, istenilen kesinlikte sonuçlar vermeyebilir.

Tablo 4.25'te TEL ve PEL üzerinde tespit edilen değerler işaretlenmiştir. 13 Şubat 2020 ve 19 Şubat 2020 tarihlerinde batı ve doğu alt bölgelerinden alınan sediment

örneklerindeki Asenaftilen ve Dibenzo(a,h)antrasen konsantrasyonları haricindeki diğer tüm konsantrasyonlar TEL değerlerinin altında saptanmıştır. TEL değerlerinin altında saptanan konsantrasyonların, çevredeki canlılarda toksik etki yaratmayacağı düşünülebilir. 13 Şubat 2020 tarihinde merkez alt bölgesinden alınan sediment örneğindeki Asenaftilen konsantrasyonu PEL değerinin üzerinde, kabul edilemez bir düzeyde bulunmuştur. Bu da sedimentte tespit edilen Asenaftilen konsantrasyonunun, o bölgedeki canlılar üzerinde toksik etki yaratacağının göstergesidir. 21 Kasım 2019 ve 13 Şubat 2020 tarihinde merkez ve doğu alt bölgelerinden alınan sediment örneklerdeki TEL ve PEL değerleri bilinen PAHların neredeyse tamamının konsantrasyonu, TEL ve PEL değerleri aralığında saptanmıştır. Bu da o tarihlerde merkez ve doğu baseni alt bölgelerine ait sedimentlerdeki PAH konsantrasyonlarının, canlı organizmalar üzerinde toksik etki yaratabileceği ihtimali olduğunun göstergesidir. Kesin sonuçlara ulaşılabilmesi için daha detaylı çalışmaların yürütülmesi gerektiği aşikardır ancak bu sonuçlar ışığında İzmit Körfezi sedimentindeki PAH konsantrasyonunun canlı yaşamına karşı tehlikesi de göz ardı edilmemelidir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, İzmit Körfezi sedimentlerindeki PAH konsantrasyonları hakkında bilgi vermektedir ancak bu PAH konsantrasyonlarının mekansal ve zamansal analizinin tam anlamıyla yapılabilmesi için körfezde yapılmış geçmiş tarihli başka çalışmaları da sonuçlarının incelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda 15 PAH bileşığının literatürden bulunan geçmiş tarihli konsantrasyon verileri ile bu çalışma kapsamında belirlenen konsantrasyon verileri bir araya getirilmiştir (Şekil A.1-Şekil A.15).

Tablo 4.26'da gösterilen PAH'lara ait grafiklerde (Şekil A.1-Şekil A.9, Şekil A.12, Şekil A.14) TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile işaretlenmiştir. 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giuliani ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.1 - Şekil A.15 incelendiğinde, merkez baseni sedimentlerinde saptanan PAH konsantrasyonlarının, doğu baseninde saptanan PAH konsantrasyonlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 1999 ve 2000'li yılların başında BaP, BkF, BaA, Pyr, FlA, AN, PhA, Fl gibi bazı PAH bileşiklerinin konsantrasyonlarında artışlar olduğu

görülmektedir. Bunun sebebi, 1999'da yaşanan Gölcük Depremi olabilir. Bunların haricinde İzmit Körfezi sedimenti PAH konsantrasyonlarında, uzun dönemli değişimlerin olmadığı, stabil bir durum görülmektedir. 21 Kasım 2019 ve 19 Şubat 2020 tarihli doğu basenı sedimentlerindeki PAH konsantrasyonlarının değişiminin kısa süreli olduğu ve geniş zaman aralığında artış ya da azalış eğilimlerinin olmadığı söylenebilir. Floren, Fenantren ve Antrasen'in depremden hemen sonraki konsantrasyonlarının PEL değerinin üzerine çıktıgı ancak sonraki yıllarda TEL ve PEL değerlerinin arasında seyrettiği görülmektedir. Merkez ve doğu basenlerindeki sedimentlerde PAH konsantrasyonlarının bazı dönemlerde TEL ve PEL değerlerinden düşük olduğu görülse de genel olarak TEL ve PEL değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, körfez sedimentindeki PAH konsantrasyonlarının, canlı yaşamı üzerinde toksik etkileri olabileceğini göstermektedir. Bu etkilerin boyutlarını ve kesinliğini belirleyebilmek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Tablo 4.25. Deniz yüzey sedimentlerinde PAH konsantrasyonları (ng/g)

Birim: ng/g	Batı Alt-Bölgesi	Merkez Alt-Bölgesi	Doğu Alt-Bölgesi	Doğu Alt-Bölgesi
	13 Şubat 2020	13 Şubat 2020	21 Kasım 2019	19 Şubat 2020
Naftalin	20,60	12,00	130,00	2,86
Asenaftilen	47,10*	132,00**	64,40*	12,00*
Asenaften	5,92	7,53*	14,20*	1,87
Floren	8,11	9,44	47,00*	3,27
Fenantren	44,00	200,00*	129,00*	17,70
Antrasen	26,40	215,00*	68,40*	19,60
Floranten	42,00	118,00*	154,00*	28,00
Piren	43,10	153,00	257,00*	27,00
Benzo(a)antrasen	28,10	115,00*	55,00	24,50
Krisen	40,50	121,00*	61,20	26,50
Benzo(b)floranten	118,00	273,00	272,00	80,00
Benzo(k)floranten	57,50	185,00	90,70	38,40
Benzo(a)piren	59,60	180,00*	193,00*	38,40
İndeno(1,2,3-cd)piren	95,20	303,00	375,00	76,20
Dibenzo(a,h)antrasen	17,10*	51,50*	62,30*	12,80*
Benzo(g,h,i)perilen	98,40	319,00	421,00	73,00

* : TEL üzeri değerler

** : PEL üzeri değerler

Tablo 4.26. Bazı PAHlar için eşik etki sınırı (TEL) ve olası etki sınırı (PEL) değerleri

PAHLAR (ng/g)	TEL	PEL
Asenaftilen	5,87	128
Asenaften	6,71	88,9
Floren	21,2	144
Fenantren	86,7	544
Antrasen	46,9	245
Floranten	113	1494
Piren	153	1398
Benzo(a)antrasen	74,8	693
Krisen	108	846
Benzo(a)piren	88,8	763
Dibenzo(a,h)antrasen	6,22	135

Tablo 4.27. Yüzey sedimenti örneklerinde LOD değerleri (ng/ml)

PAHLAR	LOD (ng/ml)
Naftalin	10,56
Asenaftilen	2,36
Asenaften	1,64
Floren	4,99
Fenantren	17,12
Antrasen	1,19
Floranten	5,03
Piren	4,22
Benzo(a)antrasen	1,13
Krisen	4,58
Benzo(b)floranten	5,07
Benzo(k)floranten	1,97
Benzo(a)piren	3,73
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,96
Dibenzo(a,h)antrasen	1,03
Benzo(g,h,i)perilen	2,95

Dere suyu örneklerinde çözünmüş ve partikül fazda tespit edilen PAH bileşiklerinin miktarları aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.28 - Tablo 4.35). Dere sularında çözünmüş ve partikül fazda gerçekleştirilen kimyasal analizlerin tespit sınır değerleri (Limit of Detection – LOD) deniz suyu çözünmüş ve partikül faz analizlerindeki sınır değerler ile aynıdır (Tablo 4.24). Tespit sınır değerinin (LOD) altında kalan örneklerde konsantrasyon değeri ölçülebilen minimum değerin yarısı kabul edilmiştir.

Tablo 4.28. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/L)

Dönem - 1 Ağustos 2019	Güney Kiyısı		Kuzey Kiyısı		Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Dil Deresi	Çınarlı Dere	Doğu Kanalı (Kumla Deresi)	Kiraz Dere
Naftalin	6,90	24,85	16,89	8,16	8,91	7,23
Asenaftilen	1,42	1,89	0,14	0,57	4,66	0,76
Asenaften	0,21	6,78	865,20	4,12	103,75	3,73
Floren	0,57	3,90	241,04	0,88	101,73	2,18
Fenantren	11,61	48,07	34,78	15,09	10,96	6,21
Antrasen	1,25	3,66	3,73	10,95	0,04	0,04
Floranten	2,47	16,54	5,40	5,25	3,05	1,76
Piren	2,26	12,33	15,03	3,62	8,77	1,11
Benzo(a)antrasen	0,57	0,85	0,01	0,01	0,01	0,01
Krisen	2,41	3,70	0,04	1,49	0,04	0,04
Benzo(b)floranten	4,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Benzo(k)floranten	1,16	3,42	0,02	0,25	0,02	0,02
Benzo(a)piren	1,62	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,42	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Dibenzo(a,h)antrasen	0,40	1,20	0,09	0,09	1,13	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	2,01	0,70	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 4.29. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 1 – Ağustos 2019) (ng/mg)

Dönem - 1 Ağustos 2019	Güney Kiyısı		Kuzey Kiyısı		Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Dil Deresi	Çınarlı Dere	Doğu Kanalı (Kumla Deresi)	Kiraz Dere
Naftalin	6,77E+00	3,70E+00	4,42E-01	1,28E+01	6,82E-01	5,26E+00
Asenaftilen	2,08E-05	5,40E-01	6,72E-02	3,32E+00	1,05E+00	7,09E-01
Asenaften	1,06E-04	1,26E+00	1,06E-04	6,19E+00	1,06E-04	7,92E-01
Floren	1,51E+00	6,29E-01	2,55E-01	2,24E+00	4,42E-05	1,44E+00
Fenantren	7,94E+00	3,76E+00	1,35E+00	8,41E+00	1,37E+00	4,64E+00
Antrasen	4,62E-05	7,14E-01	1,62E+00	2,36E+00	2,71E-01	4,50E-01
Floranten	5,21E+00	1,44E+00	8,90E-01	7,94E+00	4,95E-01	4,28E-01
Piren	1,77E+01	1,26E+00	1,58E+00	8,59E+00	7,10E-01	1,89E+00
Benzo(a)antrasen	4,24E-05	4,24E-05	2,73E-01	2,99E+00	1,61E-01	4,24E-05
Krisen	9,44E-05	1,62E+00	9,44E-05	8,53E+00	4,32E-01	9,44E-05
Benzo(b)floranten	1,07E-04	1,07E-04	2,50E-01	9,50E+00	8,47E-01	5,27E-01
Benzo(k)floranten	4,69E-05	4,69E-05	7,69E-02	3,02E+00	4,69E-05	4,69E-05
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	7,77E-01	9,07E+00	7,21E-01	1,70E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,24E-03	3,24E-03	2,43E-01	8,69E+00	8,48E-01	6,94E-01
Dibenzo(a,h)antrasen	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,17E+00	2,70E-01	2,48E-03
Benzo(g,h,i)perilen	6,89E+00	2,27E-01	4,34E-01	1,40E+01	1,22E+00	4,00E+00

Tablo 4.30. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım/Aralık 2019) (ng/L)

Dönem - 2 Kasım - Aralık 2019	Güney Kiyısı		Kuzey Kiyısı		Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Dil Deresi	Çınarlı Dere	Doğu Kanalı (Kumla Deresi)	Kiraz Dere
Naftalin	97,72	26,77	72,24	5,92	24,72	146,89
Asenaftilen	60,92	15,23	0,14	0,77	12,53	99,82
Asenaften	32,39	15,83	71,23	1,17	60,47	9,14
Floren	16,43	5,69	76,75	2,66	6,16	17,16
Fenantren	36,72	27,92	62,73	22,05	26,90	59,74
Antrasen	4,21	28,63	3,82	1,70	3,24	5,19
Floranten	9,80	8,58	14,71	8,74	11,49	17,17
Piren	8,27	5,86	19,28	11,76	24,20	15,92
Benzo(a)antrasen	0,44	0,36	0,01	0,54	1,12	0,98
Krisen	1,04	1,18	0,04	2,53	3,69	2,61
Benzo(b)floranten	0,08	0,17	0,01	0,01	0,01	0,01
Benzo(k)floranten	0,02	0,02	0,02	0,02	0,95	0,02
Benzo(a)piren	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Dibenzo(a,h)antrasen	3,80	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 4.31. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 2 – Kasım/Aralık 2019) (ng/mg)

Dönem - 2 Kasım - Aralık 2019	Güney Kiyısı		Kuzey Kiyısı		Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Dil Deresi	Çınarlı Dere	Doğu Kanalı (Kumla Deresi)	Kiraz Dere
Naftalin	7,19E+00	2,30E-04	2,66E-01	7,95E-01	2,30E-04	1,68E+00
Asenaftilen	2,26E-01	1,40E-01	7,13E-02	3,28E-02	8,68E-02	1,88E-01
Asenaften	2,55E-01	1,38E-02	7,86E-01	1,46E-01	1,06E-04	1,06E-04
Floren	4,68E-01	1,83E-01	1,61E-01	1,08E-01	7,45E-02	6,12E-01
Fenantren	1,11E+00	8,47E-01	4,65E-01	7,18E-01	2,56E-01	1,21E+00
Antrasen	1,12E+00	6,64E-02	4,30E-01	1,66E-01	1,49E-01	1,43E-01
Floranten	6,92E-01	5,08E-01	3,90E-01	6,05E-01	1,94E-01	3,88E-01
Piren	2,33E+00	1,99E+00	7,65E-01	1,01E+00	3,76E-01	3,86E-01
Benzo(a)antrasen	1,15E-01	4,24E-05	9,20E-02	3,40E-01	7,84E-02	1,40E-01
Krisen	2,95E-01	7,87E-02	2,45E-01	6,96E-01	2,47E-01	2,47E-01
Benzo(b)floranten	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	8,69E-02	1,07E-04
Benzo(k)floranten	4,69E-05	4,69E-05	3,49E-02	9,67E-01	1,42E-01	4,69E-05
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	5,41E-03	3,60E-01	1,33E-01	1,70E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,79E-01	3,24E-03	3,24E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	1,54E-01	1,00E-01	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03
Benzo(g,h,i)perilen	3,31E-03	1,16E-01	2,57E-01	4,31E-01	3,31E-03	1,44E+00

Tablo 4.32. Dere suyunda çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/L)

Dönem - 3 Şubat 2020	Güney Kiyısı			Kuzey Kiyısı			Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Dil Deresi	Dil Deresi*	Çınarlı Dere	Çınarlı Dere*	Doğu Kanalı	Kiraz Dere
Naftalin	63,19	233,03	107,56	1113,33	120,28	26,99	61,12	75,62
Asenaftilen	14,25	26,77	29,56	0,14	20,07	6,91	10,72	21,22
Asenaften	8,67	2,33	108,04	305,08	9,97	3,37	50,90	2,96
Floren	19,55	30,65	43,46	1060,23	17,00	4,90	14,57	20,85
Fenantren	100,26	153,11	71,15	793,87	73,61	35,57	59,28	101,50
Antrasen	0,04	14,19	9,21	126,55	14,66	3,65	4,77	80,08
Floranten	16,15	33,32	32,83	73,41	20,64	15,05	18,32	25,83
Piren	3,15	33,80	43,11	72,56	18,37	13,40	20,98	20,84
Benzo(a)antrasen	0,01	3,90	2,00	0,01	1,68	0,81	1,30	1,52
Krisen	0,04	7,47	6,74	0,04	4,30	1,80	4,07	4,78
Benzo(b)floranten	0,01	1,38	32,92	0,01	9,42	0,01	0,22	0,75
Benzo(k)floranten	0,02	4,00	103,47	0,02	33,05	0,02	1,48	0,49
Benzo(a)piren	1296,80	0,01	0,01	25,90	0,01	0,01	0,01	0,01
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Dibenzo(a,h)antrasen	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

*: 5 Mart 2020 örneklemesi

Tablo 4.33. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 3 – Şubat 2020) (ng/mg)

Dönem - 3 Şubat 2020	Güney Kiyısı			Kuzey Kiyısı			Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Dil Deresi	Dil Deresi*	Çınarlı Dere	Çınarlı Dere*	Doğu Kanalı	Kiraz Dere
Naftalin	8,38E-02	2,86E-01	2,30E-04	1,01E+00	4,66E-01	1,09E+01	7,16E-01	1,37E+00
Asenaftilen	7,11E-03	2,08E-05	2,08E-05	5,91E-01	7,58E-02	2,08E-05	1,90E-01	1,60E-01
Asenaften	7,36E-02	1,06E-04	1,06E-04	3,45E+00	9,67E-02	1,72E+00	3,02E-01	1,85E+00
Floren	1,69E-02	8,61E-02	4,42E-05	9,41E+00	5,23E-02	2,56E+00	1,77E-01	2,09E-01
Fenantren	3,71E-02	3,26E-01	1,50E-04	1,01E+01	2,32E-01	1,63E+01	4,29E-01	8,87E-01
Antrasen	8,40E-03	8,88E-02	4,62E-05	1,34E+00	4,57E-02	1,56E+00	2,20E-01	2,29E-01
Floranten	1,23E-02	1,17E-01	1,17E-04	4,14E+00	1,21E-01	6,11E+00	2,37E-01	5,90E-01
Piren	1,11E-02	9,37E-02	1,32E-04	4,20E+00	9,89E-02	5,71E+00	3,25E-01	4,37E-01
Benzo(a)antrasen	9,55E-03	2,90E-02	4,24E-05	7,40E-01	4,69E-02	1,83E+00	1,03E-01	1,41E-01
Krisen	8,32E-03	5,51E-02	9,44E-05	1,49E+00	6,62E-02	2,44E+00	2,65E-01	2,60E-01
Benzo(b)floranten	4,06E-03	1,07E-04	1,07E-04	8,81E-01	2,65E-02	2,89E+00	1,23E-01	1,25E-01
Benzo(k)floranten	2,99E-02	2,03E-01	4,69E-05	4,69E-05	5,26E-02	3,69E+00	1,89E-01	5,75E-03
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	8,55E-01	3,26E-02	1,70E-03	1,07E-01	6,16E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	6,60E-01	3,24E-03	1,20E+00	3,24E-03	3,24E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03
Benzo(g,h,i)perilen	1,24E-02	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03

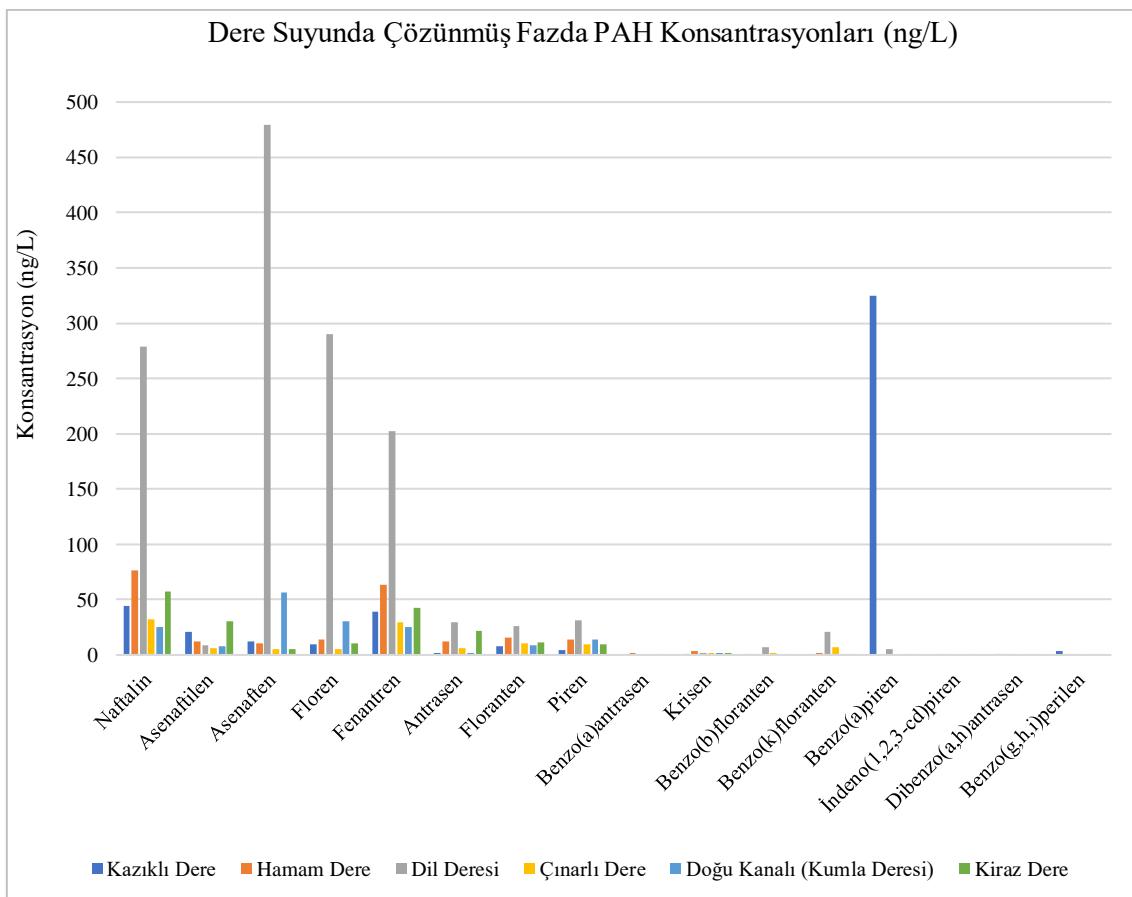
*: 5 Mart 2020 örneklemesi

Tablo 4.34. Dere suyunda çözünmüştür fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/L)

Dönem – 4 Temmuz 2020	Güney Kiyısı			Kuzey Kiyısı		Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Cevizli Dere	Dil Deresi	Çınarlı Dere	Doğu Kanalı (Kumla Deresi)	Kiraz Dere
Naftalin	8,94	21,80	7,71	86,02	0,42	6,96	0,42
Asenaftilen	5,52	3,46	1,83	14,20	0,14	4,17	0,14
Asenaften	8,87	15,17	7,18	1045,55	8,51	9,11	4,04
Floren	1,05	15,13	2,63	29,54	0,55	0,71	0,13
Fenantren	8,99	23,40	19,90	48,46	0,94	4,29	3,53
Antrasen	0,04	1,30	1,27	3,93	0,04	0,42	0,23
Floranten	3,42	4,59	5,66	5,69	1,46	2,05	1,21
Piren	2,34	3,15	4,28	8,04	1,19	2,79	0,95
Benzo(a)antrasen	0,11	0,49	0,09	1,11	0,05	0,01	0,01
Krisen	0,20	0,73	0,47	0,04	0,13	0,04	0,04
Benzo(b)floranten	0,15	0,50	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01
Benzo(k)floranten	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Benzo(a)piren	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,03	0,18	0,43	0,03	0,03	0,03	0,03
Dibenzo(a,h)antrasen	0,19	2,59	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Benzo(g,h,i)perilen	10,87	0,03	0,31	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 4.35. Dere suyunda partikül fazda PAH konsantrasyonları (Dönem 4 – Temmuz 2020) (ng/mg)

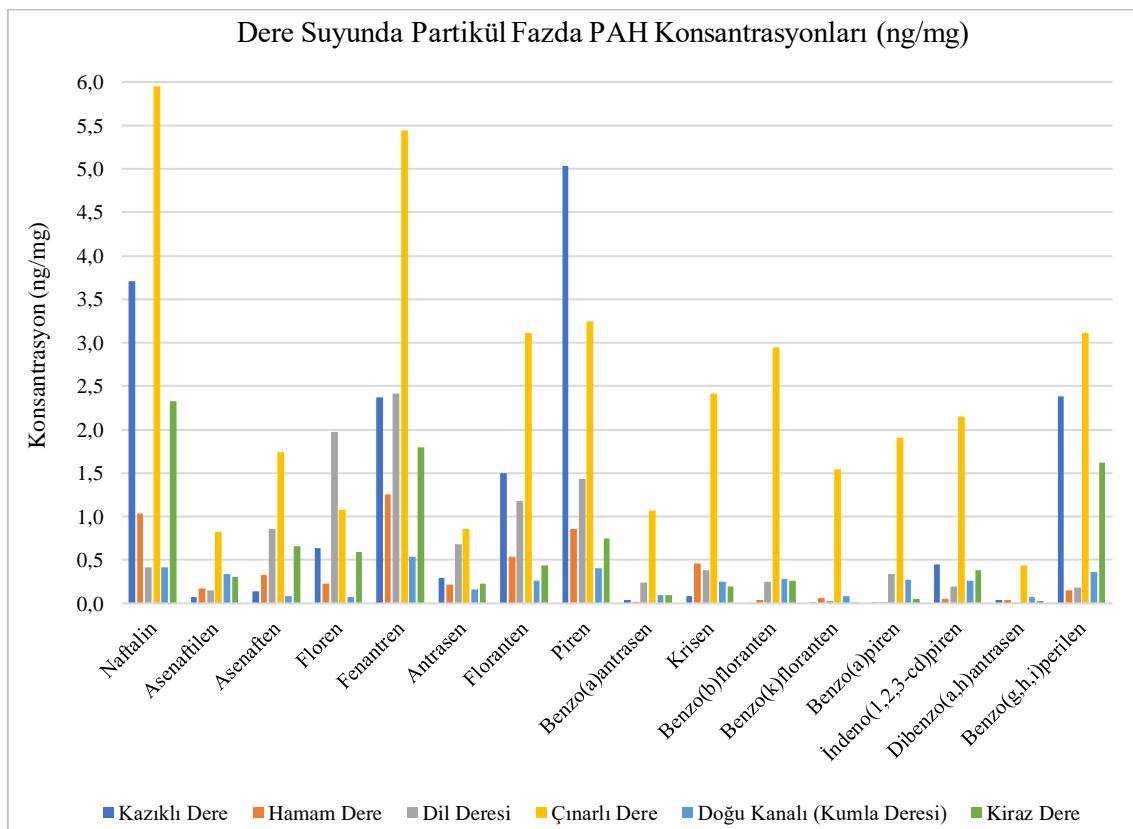
Dönem – 4 (Temmuz 2020)	Güney Kiyısı			Kuzey Kiyısı		Doğu Kiyısı	
	Kazıklı Dere	Hamam Dere	Cevizli Dere	Dil Deresi	Çınarlı Dere	Doğu Kanalı (Kumla Deresi)	Kiraz Dere
Naftalin	8,07E-01	1,52E-01	1,44E+00	3,69E-01	4,82E+00	2,73E-01	9,79E-01
Asenaftilen	5,79E-02	1,77E-02	1,01E-01	2,72E-02	6,69E-01	2,01E-02	1,62E-01
Asenaften	2,08E-01	1,45E-02	2,40E-01	7,14E-02	5,72E-01	3,50E-02	1,06E-04
Floren	5,62E-01	1,19E-02	1,32E-01	3,70E-02	4,51E-01	2,39E-02	9,07E-02
Fenantren	4,08E-01	6,63E-02	6,84E-01	1,45E-01	1,53E+00	1,06E-01	4,70E-01
Antrasen	5,63E-02	1,51E-02	3,64E-02	2,52E-02	1,56E-01	2,14E-02	9,32E-02
Floranten	9,87E-02	9,64E-02	1,46E-01	4,92E-01	7,66E-01	1,07E-01	3,51E-01
Piren	8,78E-02	8,64E-02	1,22E-01	6,25E-01	8,07E-01	1,85E-01	2,64E-01
Benzo(a)antrasen	1,38E-02	2,67E-02	8,90E-03	9,09E-02	1,39E-01	3,09E-02	9,81E-02
Krisen	4,37E-02	9,77E-02	2,73E-02	1,74E-01	3,49E-01	6,17E-02	2,87E-01
Benzo(b)floranten	4,04E-02	1,37E-01	1,67E-01	1,23E-01	2,32E+00	9,12E-02	3,86E-01
Benzo(k)floranten	4,69E-05	2,49E-02	4,69E-05	5,56E-02	4,69E-05	4,69E-05	4,69E-05
Benzo(a)piren	1,63E-02	3,84E-02	8,53E-03	5,78E-02	9,15E-02	1,21E-01	1,29E-01
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,78E+00	1,87E-01	3,21E-02	6,83E-02	4,65E-01	1,67E-01	8,14E-01
Dibenzo(a,h)antrasen	2,48E-03	3,43E-02	2,48E-03	2,99E-02	2,48E-03	2,24E-02	9,84E-02
Benzo(g,h,i)perilen	2,64E+00	2,41E-01	5,08E-02	2,20E-01	1,11E+00	2,13E-01	1,05E+00



Şekil 4.8. Tüm örnekleme dönemlerinde dere sularında ölçülmüş çözünmüş fazda PAH konsantrasyonları (ng/L)

Şekil 4.8 incelendiğinde, dere sularında çözünmüş fazda bulunan PAH bileşiklerinden en yüksek konsantrasyona sahip olanın Asenaften olduğu görülmektedir. Ayrıca Naftalin, Floren, Fenantren ve Benzo(a)piren'in diğer PAH bileşiklerine nazaran daha yüksek konsantrasyonlarda bulundukları söylenebilir. Naftalin, Asenaften, Floren ve Fenantren gibi düşük moleküler ağırlığa sahip PAH bileşiklerinin sudaki çözünürlükleri yüksek olduğundan, dere suyu örneklerinde çözünmüş fazda bulunmaları beklenmektedir ancak Benzo(a)piren gibi görece yüksek moleküler ağırlığa sahip bir PAH bileşiginin dere sularında çözünmüş fazda, bu kadar yüksek konsantrasyonda bulunması beklenmedik bir durumdur. Benzo(a)piren'in, dört örnekleme döneminden üçünde, dere sularındaki çözünmüş konsantrasyonlarının düşük olduğu ancak 3. örnekleme döneminde Kazıklı Dere'den alınan su örneğindeki konsantrasyonunun diğer dönem ve derelerdeki konsantrasyonlarına göre çok yüksek çıktıığı görülmüştür (Tablo 4.32). Bu durumun, örnekleme dönemine yakın bir zaman ve konumda, Benzo(a)piren içeren atıkların ani

deşarji sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Örnekleme yapılan dereler arasında, çözünmüştür fazda en yüksek konsantrasyonlara sahip PAH bileşikleri, Dil Deresi'nde görülmektedir.



Şekil 4.9. Tüm örneklemeye döneminde dere sularında ölçülmüş partikül fazda PAH konsantrasyonları (ng/mg)

Şekil 4.9 incelendiğinde örneklemeye yapılan derelerde, partikül fazda bulunan PAH bileşiklerinin, çözünmüş fazda bulunan PAH bileşiklerine (Şekil 4.8) göre daha düşük konsantrasyonlarda bulundukları görülmektedir. Moleküler ağırlığı yüksek olan PAH bileşiklerinin dere sularında partikül fazdaki konsantrasyonlarının, çözünmüş fazdaki konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Dere suyu örneklerinde partikül fazdaki PAH konsantrasyonlarının genel olarak en yüksek Çınarlı Dere'de tespit edildiği ve Kazıklı Dere ve Dil Deresi'ndeki konsantrasyonlarının diğer derelere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

4.2. Model Girdilerinin Oluşturulması

4.2.1. Kimyasal Parametreler

Modellenenek 16 PAH bileşığının çevresel akibetini etkileyen parametreler literatürden derlenerek model girdisi olacak kimyasal veri tabanı oluşturulmuştur. Kimyasal veri tabanında bulunan model parametrelerinin açıklaması Tablo 4.36'da sunulmuştur. Model simülasyonlarında kullanılan kimyasal parametre değerleri Tablo 4.37'de sunulmuştur. Model kimyasal veri tabanı oluştururken BETR-Global'ın kimyasal veri tabanından faydalanyılmıştır. PAH bileşiklerinin paylaşım katsayıları Ma ve dig.'den (2010) alınmıştır. (dBahA'nın paylaşım özellikleri için EPI Suite'in (US EPA, 2012) sağladığı değerler kullanılmıştır). Faz değişim enerjileri ve aktivasyon enerjileri MacLeod ve dig.'deki (2007) bağıntı kullanılarak tahmin edilmiştir. Yarı-ömür değerleri Mackay'in (2001) yarı-ömür sınıfları içerisinde tahmin edilmiştir.

Tablo 4.36. Kimyasal veri tabanında bulunan model parametrelerinin listesi

Model parametre isminin kısaltması	Açıklama
ID	Model kimyasal veri tabanındaki kimlik numarası
T0	Kimyasal parametre değerleri için standart sıcaklık (K)
molmass	Molar kütle (g/mol)
logKaw	Hava-su paylaşım katsayısı (birimsiz)
logKow	Oktanol-su paylaşım katsayısı (birimsiz)
logKoa	Oktanol-hava paylaşım katsayısı (birimsiz)
halflife_air	Havadaki yarı-ömür (saat)
halflife_ocean	Deniz suyundaki yarı-ömür (saat)
halflife_sediment	Sedimentteki yarı-ömür (saat)
DUoa	Oktanol-hava faz değişimi enerjisi (J/mol)
DUow	Oktanol-su faz değişimi enerjisi (J/mol)
EA_air	Havadaki aktivasyon enerjisi (J/mol)
EA_ocean	Deniz suyundaki aktivasyon enerjisi (J/mol)
EA_sediment	Sedimentteki aktivasyon enerjisi (J/mol)
notes	Yorumlar ve açıklamalar

Tablo 4.37. Model simülasyonlarında kullanılan kimyasal parametre değerleri

ID	Kimyasal İsmi	T0	molmass	logKaw	logKow	logKoa	halflife_air	halflife_ocean	halflife_sediment	DUoa	DUow	EA_air	EA_ocean	EA_sediment
1	naphthalene (Nap)	298,15	128,17	-1,72	3,39	5,19	17	170	5500	-54218,23	-20000	10000	20000	20000
2	acenaphthylene (Acy)	298,15	152,19	-2,31	3,8	6,52	55	170	17000	-65916,74	-20000	10000	20000	20000
3	acenaphthene (Ace)	298,15	154,21	-2,25	3,97	6,42	55	170	17000	-65037,16	-20000	10000	20000	20000
4	fluorene (Fluo)	298,15	166,22	-2,42	4,14	6,81	55	550	17000	-68467,55	-20000	10000	20000	20000
5	phenanthrene (Phe)	298,15	178,23	-2,75	4,49	7,61	55	550	17000	-75504,25	-20000	10000	20000	20000
6	anthracene (Ant)	298,15	178,23	-2,69	4,63	7,63	55	550	17000	-75680,16	-20000	10000	20000	20000
7	pyrene (Pyr)	298,15	202,25	-3,27	5,06	8,79	550	1700	55000	-85883,38	-20000	10000	20000	20000
8	fluoranthene (Flu)	298,15	202,25	-3,23	4,98	8,8	550	1700	55000	-85971,34	-20000	10000	20000	20000
9	chrysene (Chry)	298,15	228,29	-3,75	5,67	10,3	550	1700	55000	-99165,15	-20000	10000	20000	20000
10	benzo[a]anthracene (BaA)	298,15	228,29	-3,55	5,83	10,28	550	1700	55000	-98989,23	-20000	10000	20000	20000
11	benzo[b]fluoranthene (BbF)	298,15	252,31	-4,57	5,83	11,34	550	1700	55000	-108312,86	-20000	10000	20000	20000
12	benzo[k]fluoranthene (BkF)	298,15	252,31	-4,62	5,85	11,37	550	1700	55000	-108576,73	-20000	10000	20000	20000
13	benzo[a]pyrene (BaP)	298,15	252,31	-4,69	5,99	11,56	550	1700	55000	-62290,00	-25400	10000	20000	20000
14	benzo[g,h,i]perylene (BghiP)	298,15	276,33	-4,87	6,6	12,55	550	1700	55000	-118955,87	-20000	10000	20000	20000
15	dibenzo[a,h]antracene (dBahA)	298,15	278,36	-5,24	6,75	11,78	550	1700	55000	-110000	-20000	10000	20000	20000
16	indeno[1,2,3-c,d]pyrene (IP)	298,15	276,33	-4,85	6,53	12,43	550	1700	55000	-117900,37	-20000	10000	20000	20000

4.2.2. Çevresel Parametreler

Model girdisi olarak çevresel parametreler iki ayrı grupta tanımlanmaktadır: (i) zamana bağlı olarak değişmeyen parametreler (Tablo 4.38), (ii) mevsimsel olarak farklılık gösteren parametreler (Tablo 4.40). Geliştirilen akibet modeli dinamik simülasyonlarda aylık zamansal çözünürlüğe sahiptir. Mevsimsel olarak farklılık gösteren parametrelerin değerleri her ay için belirtilmelidir. İzmit Körfezi'nin çevresel özelliklerini tanımlayan parametre değerleri proje kapsamındaki saha çalışmaları ve analizler ile literatür araştırması sonucu belirlenmiştir (Tablo 4.39 - Tablo 4.41).

Tablo 4.38. Çevresel veri tabanında bulunan sabit model parametrelerinin listesi

Model parametre isminin kısaltması*	Açıklama
CELL	Hücre numarası
fp1	Üst denizdeki partikülerin hacim oranı
fp2	Alt denizdeki partikülerin hacim oranı
fw7	Sedimentteki boşluklardaki suyun hacim oranı
fs7	Sedimentteki katıların hacim oranı
focp1	Üst denizdeki partiküllerdeki organik karbonun kütle oranı
focp2	Alt denizdeki partiküllerdeki organik karbonun kütle oranı
focs7	Sedimentteki katılarda bulunan organik karbonun kütle oranı
rhop12	Havadaki partikül yoğunluğu (kg/m^3)
rho45	Suyun yoğunluğu (kg/m^3)
rhop45	Sudaki partikülerin yoğunluğu (kg/m^3)
rhos7	Sedimentteki katıların yoğunluğu (kg/m^3)
scavrain	Yağmur süpürme oranı
scavsnow	Kar süpürme oranı
A	Toplam yüzey alanı (m^2)
perc5	Kıyı sularının kapladığı yüzey oranı
partsett	Partikül çökelmesi (üst deniz) (m/h)
h7	Ortalama sediment kompartmanı derinliği (m)
diff7water	Sediment-su difüzyon kütle transfer katsayısı (m/h)
seddep	Sediment çökelimi (alt deniz) (m/h)
sedresup	Sediment resuspansiyonu (m/h)
sedburial	Sediment gömülü mü (m/h)
mtc25air	Hava tarafı hava-su kütle transfer katsayısı (m/h)
mtc25water	Su tarafı hava-su kütle transfer katsayısı (m/h)

*: Bu isimler model kodunda kullanılmaktadır.

Tablo 4.39. Model simülasyonlarında kullanılan sabit çevresel parametre değerleri

Hücreler			
	Merkez Baseni (1 numaralı)	Doğu Baseni (2 numaralı)	Kaynaklar
fp1	1,12E-05	9,88E-06	Bu çalışma
fp2	2,33E-05	2,27E-05	Bu çalışma
fw7	0,8	0,8	Mackay, 2001
fs7	0,2	0,2	Mackay, 2001
focp1	0,14	0,13	Bu çalışma
focp2	0,11	0,09	Bu çalışma
focs7	0,032	0,044	Bu çalışma
rho45	1000	1000	Hughes et al., 2012
rhop45	1500	1500	Mackay, 2001
rhos7	1500	1500	Mackay, 2001
scavrain	200000	200000	Mackay, 2001
scavsnow	1000000	1000000	Mackay, 2001
A	170000000	44000000	Baştürk et al., 1985
perc5	1	1	Yüzey alanı = Deniz
partsett	1,14E-07	1,14E-07	Mackay, 2001
h7	0,03	0,03	Mackay, 2001
diff7wate	0,01	0,01	Mackay, 2001
seddep	1,14E-07	1,14E-07	Mackay, 2001
sedresup	4,56E-08	4,56E-08	Mackay, 2001
sedburial	4,19E-08	4,19E-08	Mackay, 2001
mtc25air	10,455	10,455	Bu çalışma
mtc25wat	0,0175	0,0175	Bu çalışma

Tablo 4.40. Çevresel veri tabanında bulunan mevsimsel değişiklik gösterebilen model parametrelerinin listesi

Model parametre isminin kısaltması*	Açıklama
CELL	Hücre numarası
TS	Zaman adımı. (Genellikle bir aya karşılık gelir. 1'den 12'ye kadar olan değerler, tam bir yıl için parametre değerlerini tanımlayacaktır. Simülasyon bir yıldan uzun sürecekse, aynı değerler tekrarlanacaktır.)
tair2	Hava sıcaklığı (K)
tupperocean	Üst deniz sıcaklığı (K)
tlowerocean	Alt deniz sıcaklığı (K)
tsed	Sediment kompartman sıcaklığı (K)
h1	Ortalama üst deniz kompartman derinliği (m)
h	Ortalama toplam deniz kompartman derinliği (m)
perc8	Buz ile kaplı deniz suyu oranı (-)
Gup	Üst deniz kompartmanından çıkan su hızı (m^3/h)
Glow	Alt deniz kompartmanından çıkan su hızı (m^3/h)

*: Bu isimler model kodunda kullanılmaktadır.

Tablo 4.41. Model simülasyonlarında kullanılan mevsimsel çevresel parametre değerleri

CELL	TS	tair2	tupperocean	tlowerocean	tsed	h1	h	perc8	Gup	Glow
1	1	282,23	283,75	288,15	288,15	17	70,59	0	8352000	0
1	2	282,23	283,75	288,15	288,15	17	70,59	0	8352000	0
1	3	282,23	283,75	288,15	288,15	17	70,59	0	8352000	0
1	4	282,23	283,75	288,15	288,15	17	70,59	0	8352000	0
1	5	293,77	293,75	288,15	288,15	17	70,59	0	0	11959200
1	6	293,77	293,75	288,15	288,15	17	70,59	0	0	11959200
1	7	293,77	293,75	288,15	288,15	17	70,59	0	0	11959200
1	8	293,77	293,75	288,15	288,15	17	70,59	0	0	11959200
1	9	293,77	293,75	288,15	288,15	17	70,59	0	0	11959200
1	10	293,77	293,75	288,15	288,15	17	70,59	0	0	11959200
1	11	282,23	283,75	288,15	288,15	17	70,59	0	8352000	0
1	12	282,23	283,75	288,15	288,15	17	70,59	0	8352000	0
2	1	282,23	283,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	2	282,23	283,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	3	282,23	283,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	4	282,23	283,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	5	293,77	293,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	6	293,77	293,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	7	293,77	293,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	8	293,77	293,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	9	293,77	293,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	10	293,77	293,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	11	282,23	283,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
2	12	282,23	283,75	288,15	288,15	12	19,32	0	0	0
				Bu çalışma					Oğuz ve Sur, 1986; Irtem, 1991	Oğuz ve Sur, 1986; Irtem, 1991
MGM	MGM	MGM	MGM							

İzmit Körfezi'nin, merkez ve doğu basenleri ve bu basenlerin tabakaları arasındaki deniz suyu dolaşımı parametreleri literatürden (Irtem, 1991; Oğuz, 1986) derlenmiştir. İzmit Körfezi'ndeki su dolaşımının şematik gösterim Şekil 4.10'da verilmiştir. Basenler arası su akış parametreleri (Tablo 4.42) ve tabakalar arası su akış parametreleri (Tablo 4.43 - Tablo 4.44) aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.42. Basenler arası su akış parametreleri

Merkez Baseninden Sistemden Su Kaybı (G)					
		Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Yıllık
Kış	Üst	2942	1698	2320	8352000
Yaz	Üst	0	0	0	4176000
Kış	Alt	0	0	0	0
Yaz	Alt	4213	2431	3322	11959200
		m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
					m ³ /sa

Merkez Baseninden Doğu Basenine Su Akışı (1=>2)					
		Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Yıllık
Kış	Üst	0	0	0	0
Yaz	Üst	976	544	760	2736000
Kış	Alt	938	530	734	2642400
Yaz	Alt	0	0	0	0
		m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
					m ³ /sa

Doğu Baseninden Merkez Basenine Su Akışı (2=>1)					
		Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Yıllık
Kış	Üst	962	536	749	2696400
Yaz	Üst	0	0	0	0
Kış	Alt	0	0	0	0
Yaz	Alt	1019	576	797.5	2871000
		m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
					m ³ /sa

Batı Baseninden Merkez Basenine Su Akısı					
		Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Yıllık
Kış	Üst	0	0	0	0
Yaz	Üst	4181	2376	3278.5	11802600
Kış	Alt	2942	1698	2320	8352000
Yaz	Alt	0	0	0	0
		m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
					m ³ /sa

Veri kaynağı: İrtem, 1991; Oğuz, 1986

Tablo 4.43. Merkez baseninde kompartmanlar arası su akış parametreleri

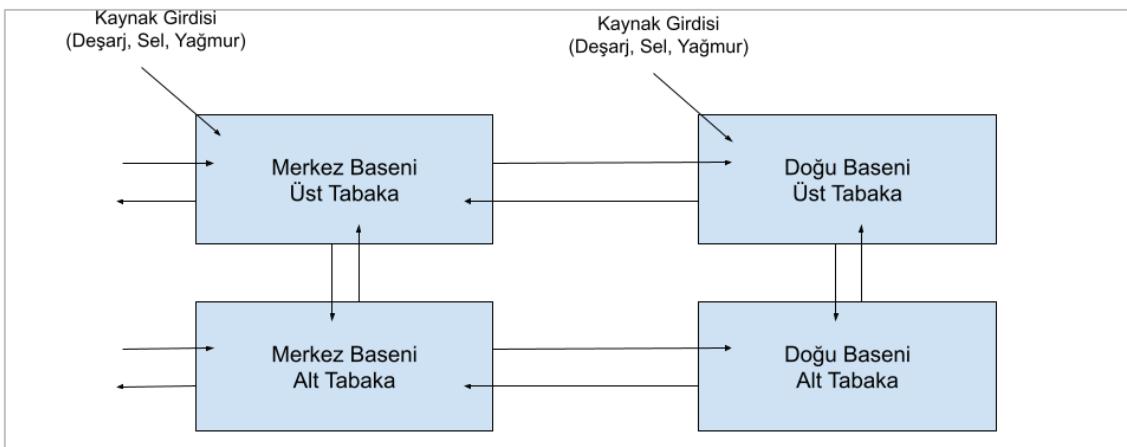
Merkez Baseni (Cell 1)				
Üst => Alt	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Kış	0	0	0	0
Yaz	3185	1892	2538,5	9138600
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
Alt => Üst	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Kış	1976	1172	1574	5666400
Yaz	0	0	0	0
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
Üst => Alt	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Yıllık	1592,5	946	1269,25	4569300
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
Alt => Üst	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Yıllık	988	586	787	2833200
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa

Veri kaynağı: İrtem, 1991; Oğuz, 1986

Tablo 4.44. Doğu baseninde kompartmanlar arası su akış parametreleri

Doğu Baseni (Cell 2)				
Üst => Alt	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Kış	0	0	0	0
Yaz	924	503	713,5	2568600
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
Alt => Üst	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Kış	991	540	765,5	2755800
Yaz	0	0	0	0
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
Üst => Alt	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Yıllık	462	251,5	356,75	1284300
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa
Alt => Üst	Senaryo 1	Senaryo 2	Ortalama	Ortalama
Yıllık	495,5	270	382,75	1377900
	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sn	m ³ /sa

Veri kaynağı: İrtem, 1991; Oğuz, 1986



Şekil 4.10. İzmit Körfezi’nde su dolaşımının şematik gösterimi

İzmit Körfezi’ndeki PAH kirliliğinin modellenebilmesi için emisyon girdi parametrelerine ihtiyaç vardır. Emisyon girdi parametrelerinin belirlenebilmesi için hava, dere ve deniz örneklemeleri sonucu elde edilen veriler işlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

Atmosferik çökelti girdileri, yağışlı havalarda ıslak çökelme ve yağsız havalarda da kuru çökelme örnekleme yapan IKÇÖ cihazından elde edilen örneklerin analizleri sonucunda elde edilmiştir. Aşağıda merkez basenine (Tablo 4.45) ve doğu basenine (Tablo 4.46) giren atmosferik çökeltilerin yıllık ortalamaları ile yaz ve kış ortalamaları verilmiş ve bu değerler Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görselleştirilmiştir.

Atmosferik PAH izleme istasyonunda bulunan PUF cihazı ile yapılan örneklemelerde elde edilen havada çözünmüş fazda PAH konsantrasyonu verileri kullanılarak İzmit Körfezi’ndeki hava-deniz difüzyif girdi değerleri Denklem (4.1) ile;

$$\text{Hava-deniz difüzyif girdi} = \frac{D_{diff}}{Z_{hava}} (C_{hava}) \quad (4.1)$$

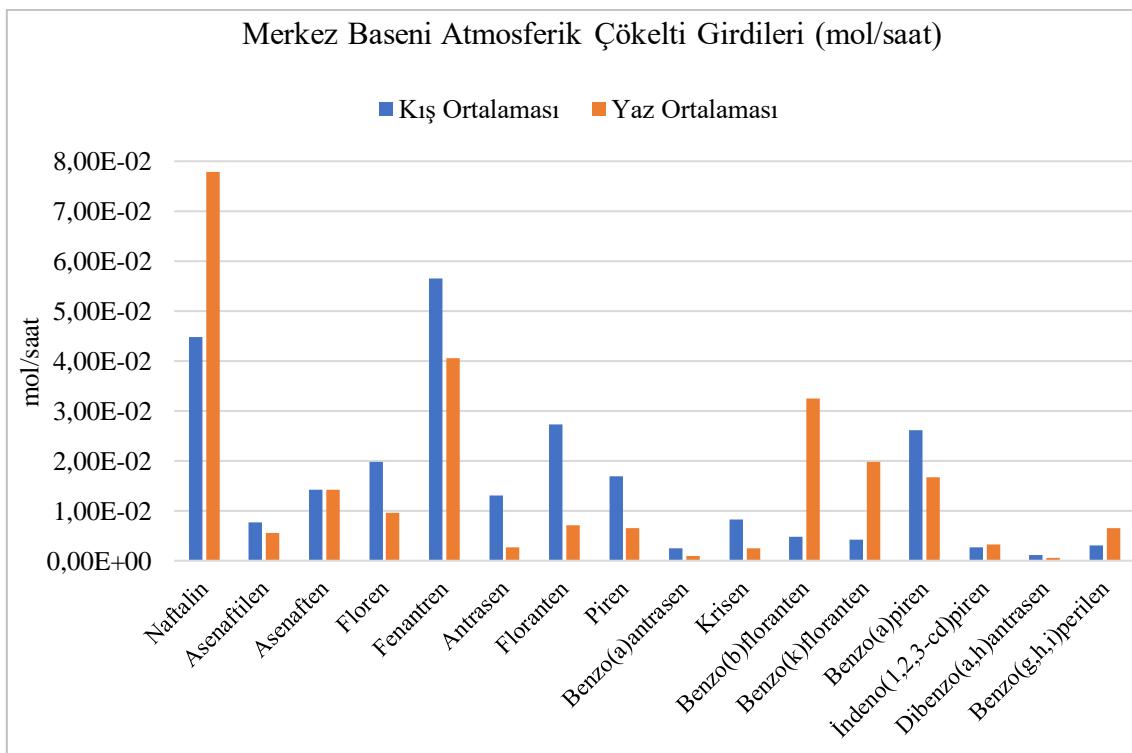
belirlenmiştir. Burada D_{diff} , Hava-deniz difüzyif transfer D değeri ($\text{mol h}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$); Z_{hava} , Deniz üstündeki hava için Z değeri ($\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$); C_{hava} , Hava kompartmanı konsantrasyonudur (mol m^{-3}). Tablo 4.47’de merkez baseni ve Tablo 4.48’de doğu baseni hava-deniz difüzyif girdi değerleri verilmiş ve bu değerler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’té görselleştirilmiştir.

Tablo 4.45. Merkez Baseni Atmosferik Çökelti Girdileri (mol/saat)

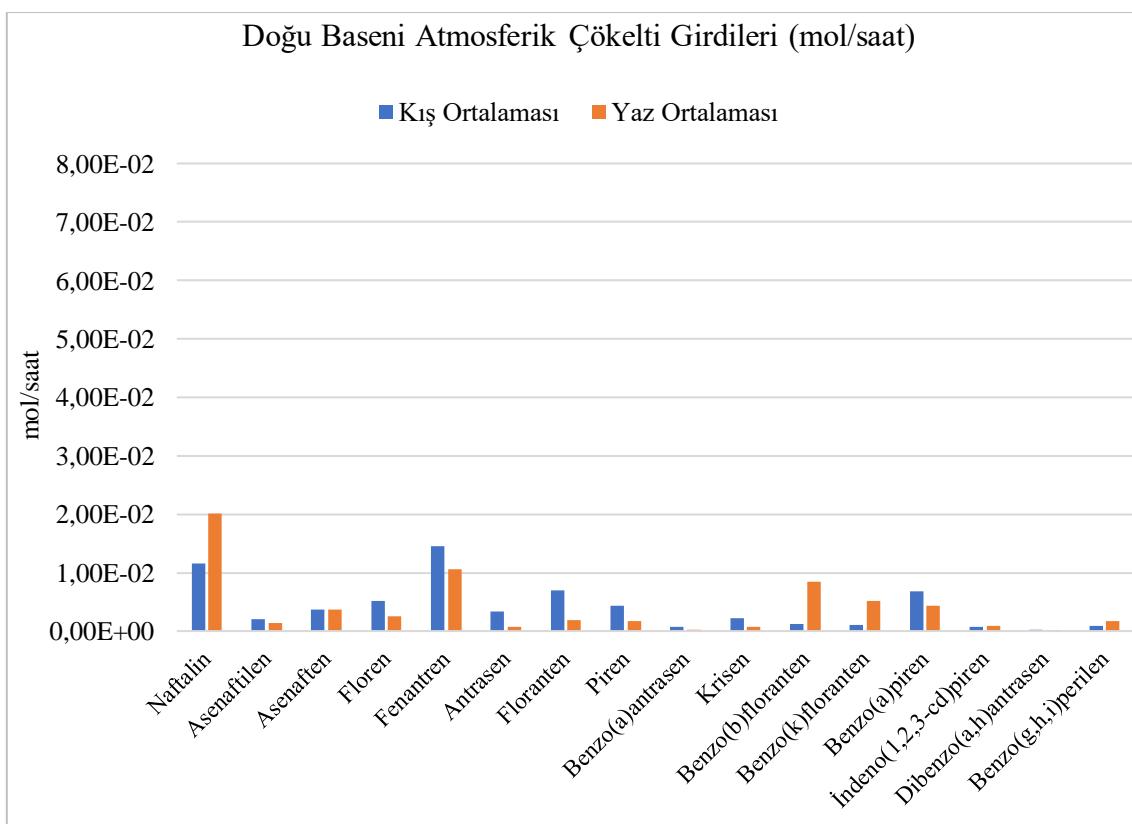
	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	6,10E-02	4,47E-02	7,78E-02
Asenaftilen	6,68E-03	7,74E-03	5,51E-03
Asenaften	1,40E-02	1,42E-02	1,43E-02
Floren	1,49E-02	1,97E-02	9,54E-03
Fenantren	4,94E-02	5,65E-02	4,06E-02
Antrasen	7,95E-03	1,30E-02	2,67E-03
Floranten	1,81E-02	2,72E-02	7,10E-03
Piren	1,22E-02	1,69E-02	6,43E-03
Benzo(a)antrasen	1,80E-03	2,58E-03	8,66E-04
Krisen	5,69E-03	8,32E-03	2,48E-03
Benzo(b)floranten	1,87E-02	4,86E-03	3,24E-02
Benzo(k)floranten	1,20E-02	4,20E-03	1,98E-02
Benzo(a)piren	2,25E-02	2,61E-02	1,67E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	2,86E-03	2,63E-03	3,19E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	7,75E-04	1,08E-03	4,79E-04
Benzo(g,h,i)perilen	4,72E-03	3,11E-03	6,55E-03

Tablo 4.46. Doğu Baseni Atmosferik Çökelti Girdileri (mol/saat)

	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	1,58E-02	1,16E-02	2,01E-02
Asenaftilen	1,73E-03	2,00E-03	1,43E-03
Asenaften	3,63E-03	3,66E-03	3,70E-03
Floren	3,86E-03	5,09E-03	2,47E-03
Fenantren	1,28E-02	1,46E-02	1,05E-02
Antrasen	2,06E-03	3,37E-03	6,92E-04
Floranten	4,69E-03	7,03E-03	1,84E-03
Piren	3,15E-03	4,37E-03	1,66E-03
Benzo(a)antrasen	4,66E-04	6,67E-04	2,24E-04
Krisen	1,47E-03	2,15E-03	6,42E-04
Benzo(b)floranten	4,84E-03	1,26E-03	8,39E-03
Benzo(k)floranten	3,12E-03	1,09E-03	5,12E-03
Benzo(a)piren	5,82E-03	6,77E-03	4,33E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	7,41E-04	6,80E-04	8,25E-04
Dibenzo(a,h)antrasen	2,01E-04	2,80E-04	1,24E-04
Benzo(g,h,i)perilen	1,22E-03	8,05E-04	1,69E-03



Şekil 4.11. Merkez baseni atmosferik çökelti girdileri (mol/saat)



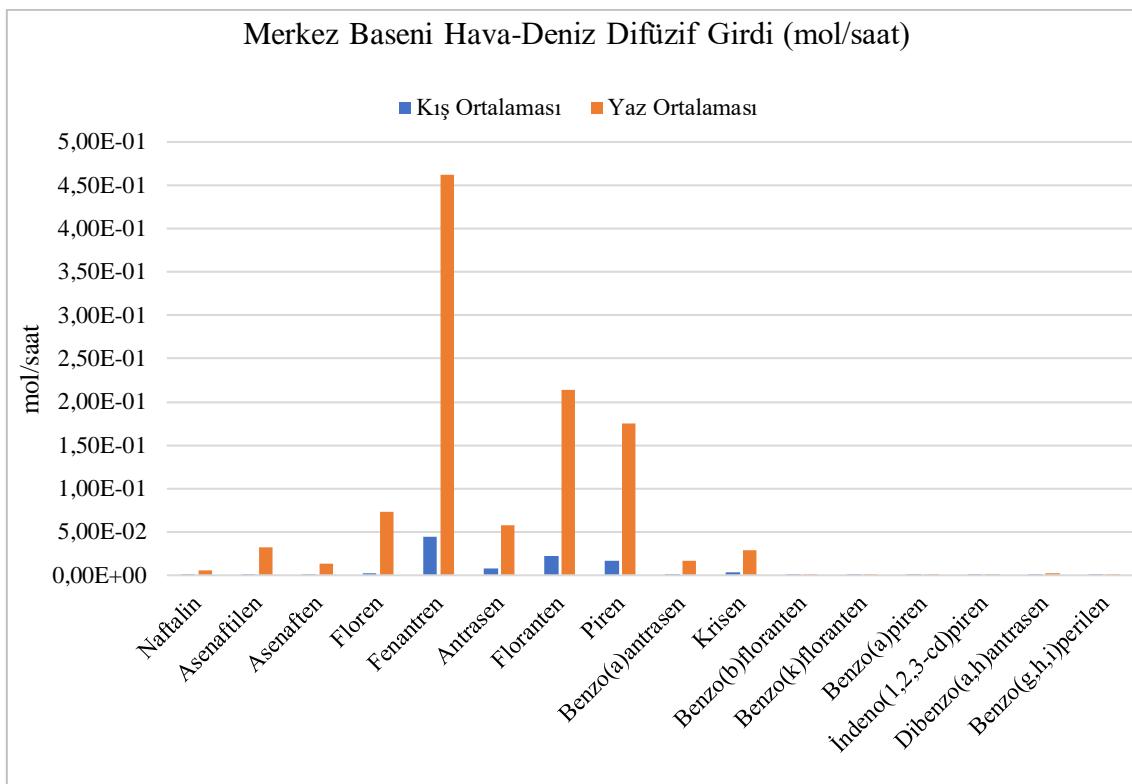
Şekil 4.12. Doğu baseni atmosferik çökelti girdileri (mol/saat)

Tablo 4.47. Merkez Baseni Hava-Deniz Difüzif Girdi (mol/saat)

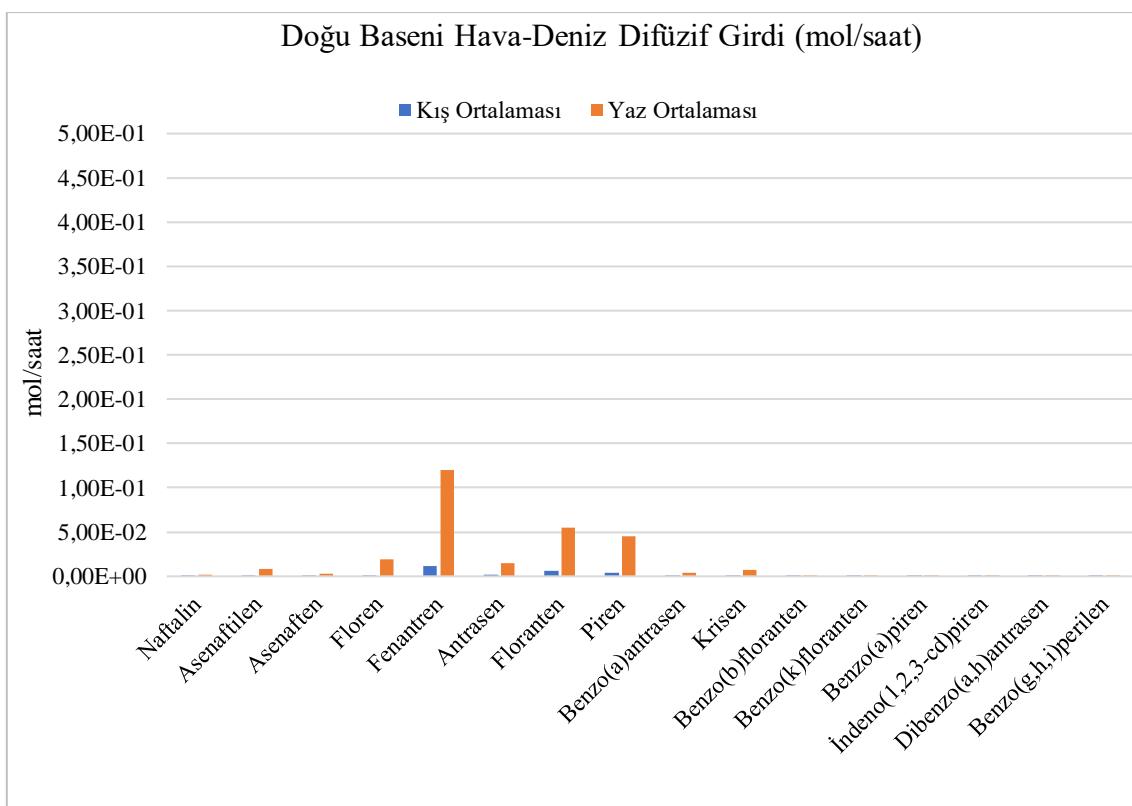
	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	3,20E-03	2,99E-04	6,10E-03
Asenaftilen	1,62E-02	4,76E-04	3,19E-02
Asenaften	6,72E-03	5,02E-04	1,29E-02
Floren	3,78E-02	2,75E-03	7,29E-02
Fenantren	2,53E-01	4,47E-02	4,62E-01
Antrasen	3,24E-02	7,53E-03	5,73E-02
Floranten	1,18E-01	2,24E-02	2,14E-01
Piren	9,58E-02	1,71E-02	1,75E-01
Benzo(a)antrasen	9,04E-03	1,19E-03	1,69E-02
Krisen	1,60E-02	3,18E-03	2,88E-02
Benzo(b)floranten	4,86E-04	1,56E-04	8,16E-04
Benzo(k)floranten	5,54E-04	2,58E-04	8,49E-04
Benzo(a)piren	3,06E-04	1,16E-04	4,95E-04
İndeno(1,2,3-cd)piren	2,59E-04	9,74E-05	4,21E-04
Dibenzo(a,h)antrasen	1,30E-03	1,82E-05	2,58E-03
Benzo(g,h,i)perilen	3,47E-04	1,73E-04	5,20E-04

Tablo 4.48. Doğu Baseni Hava-Deniz Difüzif Girdi (mol/saat)

	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	8,28E-04	7,73E-05	1,58E-03
Asenaftilen	4,19E-03	1,23E-04	8,26E-03
Asenaften	1,74E-03	1,30E-04	3,35E-03
Floren	9,79E-03	7,11E-04	1,89E-02
Fenantren	6,55E-02	1,16E-02	1,20E-01
Antrasen	8,39E-03	1,95E-03	1,48E-02
Floranten	3,05E-02	5,80E-03	5,53E-02
Piren	2,48E-02	4,43E-03	4,52E-02
Benzo(a)antrasen	2,34E-03	3,09E-04	4,37E-03
Krisen	4,14E-03	8,23E-04	7,46E-03
Benzo(b)floranten	1,26E-04	4,03E-05	2,11E-04
Benzo(k)floranten	1,43E-04	6,69E-05	2,20E-04
Benzo(a)piren	7,91E-05	3,00E-05	1,28E-04
İndeno(1,2,3-cd)piren	6,71E-05	2,52E-05	1,09E-04
Dibenzo(a,h)antrasen	3,36E-04	4,71E-06	6,68E-04
Benzo(g,h,i)perilen	8,98E-05	4,49E-05	1,35E-04



Şekil 4.13. Merkez baseni hava-deniz difüzif girdiler (mol/saat)



Şekil 4.14. Doğu baseni hava-deniz difüzif girdiler (mol/saat)

Derelerden alınan örneklerin analizi ve derelerde yapılan debi ölçümleri ile İzmit Körfezi'ne karasal yayılı kaynaklardan giren PAH'ların yükleri hesaplanmıştır. Farklı körfez basenleri için toplam girdi hesapları, derelerin havza alanları ile merkez ve doğu basenlerinin havza alanları arasındaki orantıya bakılarak (alan oranı yöntemi) gerçekleştirılmıştır. Aşağıdaki tablolarda karasal girdilerin, yıllık (Tablo 4.49), kış (Tablo 4.50) ve yaz (Tablo 4.51) ortalamaları verilmiştir. İzmit Körfezi'ne farklı yollarla (karasal girdiler, atmosferden difüzif girdiler, atmosferik çökelme) giren PAHların dağılımları Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15 incelendiğinde, İzmit Körfezi'ne PAH girişinin daha çok karasal girdiler ve atmosferden difüzif girdiler yollarıyla olduğu görülmektedir. Orta ağırlıklı olarak kabul edebilecek, 3-4 halkalı PAHlardan olan PhA, AN, FlA, Py, BaA ve Chy gibi PAHların atmosferden difüzif yollar ile körfeze girme eğiliminde oldukları görülmektedir.

Tablo 4.49. Karasal (sel, erozyon) girdiler (mol/saat) (Yıllık ortalamalar)

	Toplam Körfez Havzası	Doğu Basen Alt-Havzası	Merkez Basen Alt-Havzası
Naftalin	3,14E-01	1,58E-01	1,37E-01
Asenaftilen	1,69E-02	8,49E-03	7,36E-03
Asenaften	1,55E-01	7,82E-02	6,77E-02
Floren	2,99E-01	1,51E-01	1,31E-01
Fenantren	2,81E-01	1,41E-01	1,22E-01
Antrasen	5,09E-02	2,56E-02	2,22E-02
Floranten	6,91E-02	3,48E-02	3,01E-02
Piren	7,97E-02	4,01E-02	3,48E-02
Benzo(a)antrasen	1,03E-02	5,17E-03	4,48E-03
Krisen	2,11E-02	1,06E-02	9,20E-03
Benzo(b)floranten	7,38E-03	3,71E-03	3,22E-03
Benzo(k)floranten	4,78E-03	2,41E-03	2,09E-03
Benzo(a)piren	1,86E-01	9,37E-02	8,12E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	8,42E-03	4,23E-03	3,67E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	3,94E-04	1,98E-04	1,72E-04
Benzo(g,h,i)perilen	1,24E-02	6,23E-03	5,40E-03

İncelenen 16 PAH içerisinde, moleküller ağırlıkları uçlarda bulunan (en düşük ve en yüksek ağırlığa yakın olanlar) PAHların daha çok karasal girdiler ile körfeze taşındıkları görülmektedir. BbFlA ve BkFlA'nın atmosferik çökelmeler ile körfeze birikiminin diğer taşınım yollarına göre daha baskın olduğu görülmektedir. BbFlA ve BkFlA ile benzer fiziko-kimyasal özelliklere sahip olan BaP ve dBahA'nın de baskın taşınım yolunun BbFlA ve BkFlA ile benzer olması beklenmektedir ancak BaP'nin 3. örneklemde döneminde Kazıklı Dere'den alınan su örneklerindeki konsantrasyonunun diğer dönemlere göre çok daha fazla çıkışması sebebiyle baskın taşınım yolunun karasal girdiler olarak gözüktüğü düşünülmektedir.

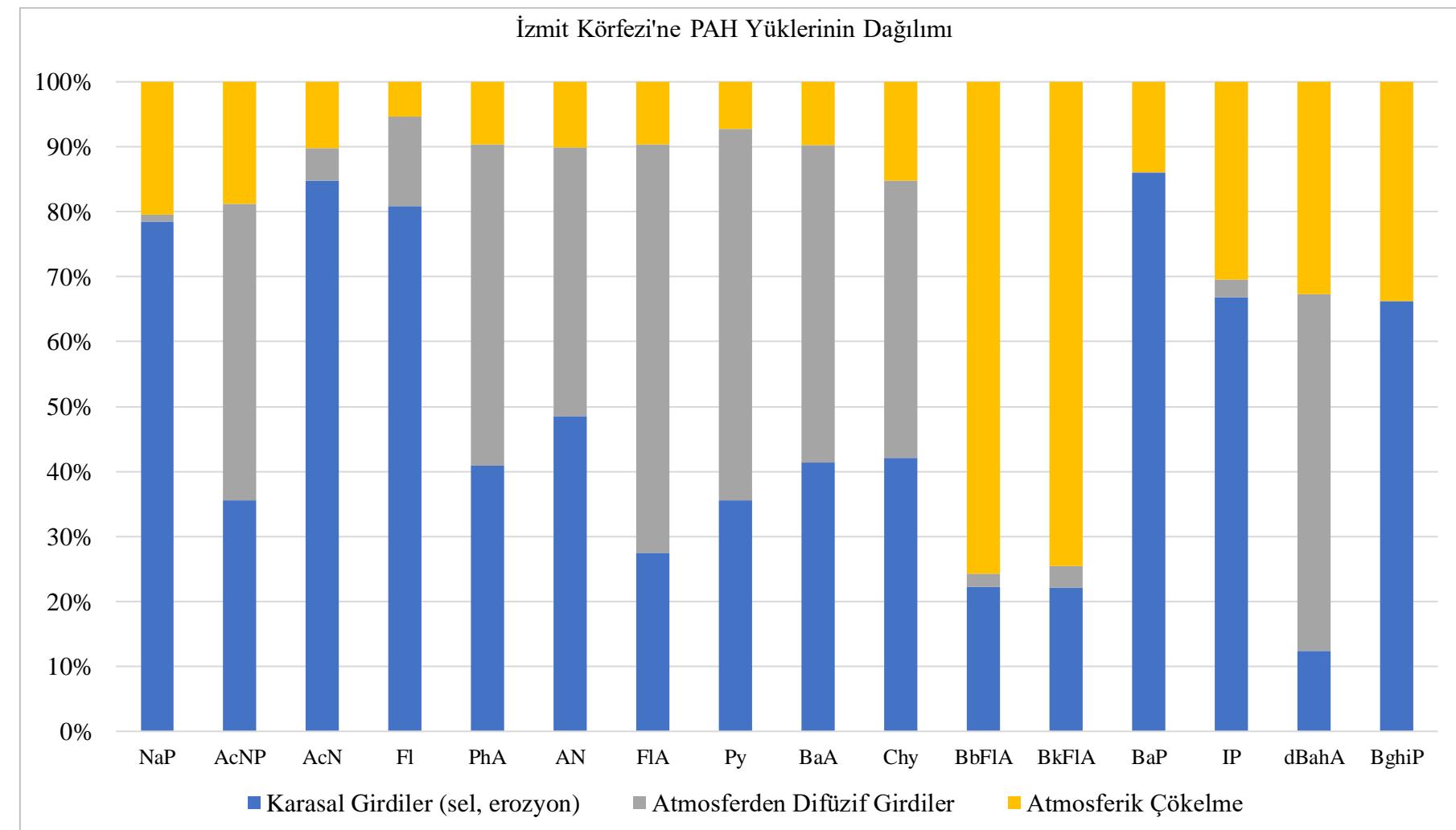
Tablo 4.50. Karasal (sel, erozyon) girdiler (mol/saat) (Kış ortalamaları)

	Toplam Körfez Havzası	Doğu Basen Alt-Havzası	Merkez Basen Alt-Havzası
Naftalin	4,74E-01	2,38E-01	2,07E-01
Asenaftilen	2,53E-02	1,27E-02	1,10E-02
Asenaften	2,37E-01	1,19E-01	1,03E-01
Floren	4,48E-01	2,25E-01	1,95E-01
Fenantren	4,21E-01	2,12E-01	1,84E-01
Antrasen	7,67E-02	3,86E-02	3,35E-02
Floranten	1,04E-01	5,23E-02	4,53E-02
Piren	1,20E-01	6,02E-02	5,22E-02
Benzo(a)antrasen	1,59E-02	8,01E-03	6,95E-03
Krisen	3,19E-02	1,61E-02	1,39E-02
Benzo(b)floranten	1,11E-02	5,60E-03	4,85E-03
Benzo(k)floranten	8,89E-03	4,48E-03	3,88E-03
Benzo(a)piren	2,79E-01	1,41E-01	1,22E-01
İndeno(1,2,3-cd)piren	7,81E-03	3,93E-03	3,41E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	6,91E-04	3,48E-04	3,01E-04
Benzo(g,h,i)perilen	1,16E-02	5,85E-03	5,07E-03

Tablo 4.51. Karasal (sel, erozyon) girdiler (mol/saat) (Yaz ortalamaları)

	Toplam Körfez Havzası	Doğu Basen Alt-Havzası	Merkez Basen Alt-Havzası
Naftalin	7,77E-03	3,91E-03	3,39E-03
Asenaftilen	8,12E-04	4,08E-04	3,54E-04
Asenaften	5,25E-03	2,64E-03	2,29E-03
Floren	3,68E-03	1,85E-03	1,61E-03
Fenantren	3,11E-03	1,56E-03	1,36E-03
Antrasen	3,53E-04	1,78E-04	1,54E-04
Floranten	8,42E-04	4,24E-04	3,67E-04
Piren	7,66E-04	3,86E-04	3,34E-04
Benzo(a)antrasen	9,75E-05	4,91E-05	4,25E-05
Krisen	2,71E-04	1,37E-04	1,18E-04
Benzo(b)floranten	2,33E-04	1,17E-04	1,02E-04
Benzo(k)floranten	1,81E-05	9,11E-06	7,90E-06
Benzo(a)piren	8,76E-05	4,41E-05	3,82E-05
İndeno(1,2,3-cd)piren	6,64E-03	3,34E-03	2,89E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	3,53E-05	1,78E-05	1,54E-05
Benzo(g,h,i)perilen	1,02E-02	5,15E-03	4,46E-03

3. dönem örnekleme zamanında, Kazıklı Dere'de, örnekleme noktasına yakın bir noktadaki BaP içerikli deşarjların sebep olduğu düşünülen konsantrasyondaki bu sapmanın olmadığı durumda BaP'nin baskın taşınım yolunun da BbFlA ve BkFlA ile benzer olacağı görülebilir. dBahA'nın ise diğer 5-6 halkalı PAHlardan farklı olarak, atmosferden difüzif girdiler ile körfeze taşınım yüzdesinin fazla olması, fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde diğer PAH'lara göre daha fazla belirsizlik barındırması olabilir. Zira literatürdeki bazı çalışmalarda da (Bandowe, 2017; Ma, 2010; Rodgers, 2021) 16 PAH içerisinde, dBahA harici diğer PAHların fiziko-kimyasal özellikleri belirtilmişken, dBahA'nın özellikleri belirtilmemiştir. Bu çalışmada da dBahA'nın özellikleri EPA'nın geliştirdiği kimyasal özellik tahmin programı (US EPA, 2012) ile hesaplanmıştır. PAHların İzmit Körfezi'ne hangi yollarla, ne kadar taşındığının tespit edilmesi PAH yüklerinin azaltılması ve körfezdeki PAH remediasyonu ile ilgili yapılacak çalışmalaraya fayda sağlayabilir.



Şekil 4.15. İzmit Körfezi'ne PAH yüklerinin dağılımı (%)

Batı baseninden merkez basenine giren PAH yükleri, batı baseni sularında ölçülmüş PAH değerleri ve Tablo 4.42'de verilen batı baseninden merkez basenine su akışı verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları, üst ve alt tabakada kış dönemi, yaz dönemi ve yıllık yükleri gösterecek şekilde Tablo 4.52'de verilmiştir.

Tablo 4.52. Batı baseninden merkez basenine giren PAH yükleri (mol/saat)

	Üst			Alt		
	Kış	Yaz	Yıllık	Kış	Yaz	Yıllık
Naftalin	0,00E+00	3,90E+00	1,95E+00	3,32E+00	0,00E+00	1,66E+00
Asenaftilen	0,00E+00	2,31E-01	1,16E-01	1,72E-01	0,00E+00	8,61E-02
Asenaften	0,00E+00	5,07E-01	2,54E-01	2,22E-01	0,00E+00	1,11E-01
Floren	0,00E+00	2,75E-01	1,37E-01	2,61E-01	0,00E+00	1,31E-01
Fenantren	0,00E+00	1,42E+00	7,09E-01	1,19E+00	0,00E+00	5,96E-01
Antrasen	0,00E+00	1,47E-01	7,34E-02	3,56E-01	0,00E+00	1,78E-01
Floranten	0,00E+00	2,90E-01	1,45E-01	3,37E-01	0,00E+00	1,68E-01
Piren	0,00E+00	3,39E-01	1,70E-01	5,12E-01	0,00E+00	2,56E-01
Benzo(a)antrasen	0,00E+00	2,52E-02	1,26E-02	3,92E-02	0,00E+00	1,96E-02
Krisen	0,00E+00	3,20E-02	1,60E-02	7,86E-02	0,00E+00	3,93E-02
Benzo(b)floranten	0,00E+00	3,42E-01	1,71E-01	7,97E-03	0,00E+00	3,99E-03
Benzo(k)floranten	0,00E+00	8,27E-02	4,13E-02	3,80E+00	0,00E+00	1,90E+00
Benzo(a)piren	0,00E+00	1,99E-02	9,94E-03	1,25E-03	0,00E+00	6,23E-04
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,00E+00	9,08E-02	4,54E-02	1,51E-02	0,00E+00	7,57E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	0,00E+00	5,13E-03	2,57E-03	1,78E-02	0,00E+00	8,92E-03
Benzo(g,h,i)perilen	0,00E+00	2,02E-01	1,01E-01	2,85E-02	0,00E+00	1,42E-02

İzmit Körfezi'ne atmosferden, karasal yayılı kaynaklardan, batı baseni sularından giren PAH yüklerinin hesaplanması之后 Izmit Körfezi model kompartmanları için emisyon değerleri hesaplanmış ve model girdi dosyaları oluşturulmuştur. Doğu baseni üst deniz kompartmanına olan toplam girdiler Tablo 4.53'te, merkez baseni üst deniz kompartmanına olan toplam girdiler Tablo 4.54'te ve merkez baseni alt deniz kompartmanına olan toplam girdiler Tablo 4.55'te verilmiştir.

Tablo 4.53. Doğu Baseni Üst Deniz Kompartmanına Toplam Girdiler (mol/saat)

	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	1,75E-01	2,50E-01	2,56E-02
Asenaftilen	1,44E-02	1,49E-02	1,01E-02
Asenafthen	8,35E-02	1,23E-01	9,70E-03
Floren	1,64E-01	2,31E-01	2,32E-02
Fenantren	2,20E-01	2,38E-01	1,32E-01
Antrasen	3,61E-02	4,39E-02	1,57E-02
Floranten	7,00E-02	6,51E-02	5,76E-02
Piren	6,81E-02	6,90E-02	4,72E-02
Benzo(a)antrasen	7,98E-03	8,99E-03	4,64E-03
Krisen	1,62E-02	1,90E-02	8,24E-03
Benzo(b)floranten	8,68E-03	6,89E-03	8,72E-03
Benzo(k)floranten	5,67E-03	5,63E-03	5,35E-03
Benzo(a)piren	9,96E-02	1,47E-01	4,50E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	5,04E-03	4,64E-03	4,27E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	7,35E-04	6,33E-04	8,10E-04
Benzo(g,h,i)perilen	7,54E-03	6,70E-03	6,98E-03

Tablo 4.54. Merkez Baseni Üst Deniz Kompartmanına Toplam Girdiler (mol/saat)

	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	2,15E+00	2,52E-01	3,99E+00
Asenaftilen	1,46E-01	1,93E-02	2,69E-01
Asenafthen	3,42E-01	1,18E-01	5,37E-01
Floren	3,21E-01	2,18E-01	3,59E-01
Fenantren	1,13E+00	2,85E-01	1,92E+00
Antrasen	1,36E-01	5,40E-02	2,07E-01
Floranten	3,11E-01	9,49E-02	5,11E-01
Piren	3,12E-01	8,62E-02	5,20E-01
Benzo(a)antrasen	2,79E-02	1,07E-02	4,30E-02
Krisen	4,69E-02	2,54E-02	6,34E-02
Benzo(b)floranten	1,93E-01	9,87E-03	3,75E-01
Benzo(k)floranten	5,60E-02	8,34E-03	1,03E-01
Benzo(a)piren	1,14E-01	1,48E-01	3,71E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	5,22E-02	6,13E-03	9,73E-02
Dibenzo(a,h)antrasen	4,81E-03	1,40E-03	8,21E-03
Benzo(g,h,i)perilen	1,12E-01	8,36E-03	2,14E-01

Tablo 4.55. Merkez Baseni Alt Deniz Kompartmanına Toplam Girdiler (mol/saat)

	Yıllık Ortalama	Kış Ortalaması	Yaz Ortalaması
Naftalin	1,66E+00	3,32E+00	0,00E+00
Asenaftilen	8,61E-02	1,72E-01	0,00E+00
Asenaften	1,11E-01	2,22E-01	0,00E+00
Floren	1,31E-01	2,61E-01	0,00E+00
Fenantren	5,96E-01	1,19E+00	0,00E+00
Antrasen	1,78E-01	3,56E-01	0,00E+00
Floranten	1,68E-01	3,37E-01	0,00E+00
Piren	2,56E-01	5,12E-01	0,00E+00
Benzo(a)antrasen	1,96E-02	3,92E-02	0,00E+00
Krisen	3,93E-02	7,86E-02	0,00E+00
Benzo(b)floranten	3,99E-03	7,97E-03	0,00E+00
Benzo(k)floranten	1,90E+00	3,80E+00	0,00E+00
Benzo(a)piren	6,23E-04	1,25E-03	0,00E+00
İndeno(1,2,3-cd)piren	7,57E-03	1,51E-02	0,00E+00
Dibenzo(a,h)antrasen	8,92E-03	1,78E-02	0,00E+00
Benzo(g,h,i)perilen	1,42E-02	2,85E-02	0,00E+00

4.3. Model Doğrulama Verileri

Model sonuçlarının doğrulanması için merkez ve doğu basenindeki su ve sediment örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonları kullanılmıştır. Bu doğrulama verileri aşağıda sunulmuştur.

4.3.1. Deniz Suyu Konsantrasyon Verileri

İzmit Körfezi merkez ve doğu baseninde çözünmüş fazdaki PAH konsantrasyonları Tablo 4.56 ve Tablo 4.57'de, merkez ve doğu baseninde partikül fazdaki PAH konsantrasyonları Tablo 4.58 ve Tablo 4.59'da, merkez ve doğu baseninde çözünmüş ve partikül fazların toplamını ifade eden (bulk) konsantrasyonlar Tablo 4.60 ve Tablo 4.61'de verilmiştir.

Tablo 4.56. Merkez baseni çözünmüş fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/L)

PAHLAR	Dönem - 1 (Ağustos 2019)		Dönem - 2 (Kasım 2019)		Dönem - 3 (Şubat 2020)		Dönem - 4 (Temmuz 2020)	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	3,36E+01	7,28E+01	1,20E+01	1,70E+01	3,30E+01	2,70E+01	3,30E+01	2,70E+01
Asenaftilen	5,40E-01	8,98E-01	4,58E-01	8,97E-01	8,09E+00	4,35E+00	8,09E+00	4,35E+00
Asenaften	1,44E+00	3,07E+00	1,41E+00	2,95E+00	8,18E+00	8,38E-01	8,18E+00	8,38E-01
Floren	1,78E+00	7,94E-01	1,08E+00	1,47E+00	1,12E+01	6,94E+00	1,12E+01	6,94E+00
Fenantren	1,65E+01	1,09E+01	5,25E+00	8,05E+00	4,26E+01	4,23E+01	4,26E+01	4,23E+01
Antrasen	1,72E+01	3,65E-02	8,68E-01	7,71E+00	5,16E+00	5,85E+00	5,16E+00	5,85E+00
Floranten	4,63E+00	3,65E+00	2,36E+00	4,57E+00	1,26E+01	2,03E+01	1,26E+01	2,03E+01
Piren	1,30E+01	3,40E+00	2,12E+00	3,34E+00	1,08E+01	1,57E+01	1,08E+01	1,57E+01
Benzo(a)antrasen	3,55E-01	5,97E-03	4,90E-01	5,97E-01	6,69E-01	1,26E+00	6,69E-01	1,26E+00
Krisen	1,51E-01	4,43E-02	6,10E-01	1,32E+00	2,10E+00	5,47E+00	2,10E+00	5,47E+00
Benzo(b)floranten	1,30E-02	1,30E-02	2,95E-02	1,30E-02	4,63E-01	3,36E-01	4,63E-01	3,36E-01
Benzo(k)floranten	3,50E+00	2,02E+00	4,72E+00	3,56E+00	8,76E-01	6,27E-01	8,76E-01	6,27E-01
Benzo(a)piren	1,11E-02	1,11E-02	5,61E-01	3,91E-01	1,11E-02	1,11E-02	1,11E-02	1,11E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,09E+00	2,59E-02	1,97E+00	1,73E+00	2,59E-02	2,59E-02	2,59E-02	2,59E-02
Dibenzo(a,h)antrasen	9,56E-01	9,39E-02	1,99E-01	9,39E-02	9,39E-02	9,39E-02	9,39E-02	9,39E-02
Benzo(g,h,i)perilen	1,97E+00	1,34E+00	2,96E+00	2,97E+00	2,91E-02	2,91E-02	2,91E-02	2,91E-02

Tablo 4.57. Doğu baseni çözünmüş fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/L)

PAHLAR	Dönem - 1 (Ağustos 2019)		Dönem - 2 (Kasım 2019)		Dönem - 3 (Şubat 2020)		Dönem - 4 (Temmuz 2020)	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	7,39E+01	3,98E+01	3,48E+01	2,93E+01	7,60E+01	1,97E+01	2,28E+00	2,40E+00
Asenaftilen	9,03E-01	5,30E-01	6,42E+00	8,16E-01	2,07E+01	5,57E+00	2,48E+00	5,05E+00
Asenaften	2,13E+00	8,90E-01	6,51E+00	2,41E+00	3,18E+01	2,28E+01	5,04E+00	4,32E+00
Floren	2,16E+00	1,12E+00	4,91E+00	1,74E+00	1,66E+01	5,44E+00	9,73E-01	9,09E-01
Fenantren	2,21E+01	1,21E+01	2,27E+01	7,88E+00	3,21E+01	3,17E+01	5,78E+00	4,56E+00
Antrasen	1,01E+00	3,65E-02	2,56E+00	8,58E+00	3,21E+00	5,23E+00	9,55E-01	7,02E-01
Floranten	6,60E+00	4,47E+00	1,03E+01	3,19E+00	3,38E+01	1,28E+01	2,01E+00	1,52E+00
Piren	4,72E+00	4,94E+00	7,71E+00	3,24E+00	2,18E+01	2,02E+01	1,30E+00	3,48E-01
Benzo(a)antrasen	4,60E-01	9,72E-02	1,81E+00	8,10E-01	1,18E+00	8,91E-01	6,09E-02	4,96E-02
Krisen	4,43E-02	4,43E-02	8,73E+00	9,46E-01	3,29E+00	2,50E+00	4,43E-02	1,43E-01
Benzo(b)floranten	1,30E-02	1,30E-02	5,22E+01	1,30E-02	5,41E-01	5,40E-01	5,84E-02	1,71E-01
Benzo(k)floranten	6,17E+00	1,44E+00	1,94E+01	3,25E+00	2,24E+00	1,80E+00	1,78E-02	1,78E-02
Benzo(a)piren	1,11E-02	1,11E-02	1,08E+01	4,97E-01	1,11E-02	1,11E-02	3,37E-02	2,54E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	4,82E-01	2,59E-02	5,63E+01	8,28E-01	2,59E-02	2,59E-02	2,59E-02	7,28E-02
Dibenzo(a,h)antrasen	1,43E+00	9,39E-02	5,89E+00	9,39E-02	9,39E-02	9,39E-02	9,39E-02	9,39E-02
Benzo(g,h,i)perilen	8,13E-01	5,50E-01	7,17E+01	1,12E+00	2,91E-02	2,91E-02	2,91E-02	1,38E-01

Tablo 4.58. Merkez baseni partikül fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/mg)

PAHLAR	Dönem - 1 (Ağustos 2019)		Dönem - 2 (Kasım 2019)		Dönem - 3 (Şubat 2020)		Dönem - 4 (Temmuz 2020)	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	6,16E-01	3,91E-01	1,84E+00	1,52E+00	1,46E+00	2,21E+00	1,25E-01	1,34E-01
Asenaftilen	2,08E-05	2,16E-02	5,20E-02	4,27E-02	2,08E-05	8,71E-02	1,73E-02	6,43E-02
Asenaften	3,63E-02	3,99E-02	1,06E-04	2,20E-02	2,20E+00	1,95E-01	4,00E-02	2,86E-02
Floren	6,49E-02	4,74E-02	1,06E-01	7,87E-02	1,81E-01	3,40E-01	1,46E-02	1,81E-02
Fenantren	5,88E-01	3,24E-01	3,82E-01	3,58E-01	4,56E-01	9,28E-01	1,07E-01	1,03E-01
Antrasen	1,34E-01	3,81E-01	3,88E-01	2,46E-02	1,78E-01	1,86E-01	4,62E-05	2,48E-02
Floranten	1,18E-01	8,72E-02	2,56E-01	2,55E-01	1,25E-01	2,71E-01	3,53E-02	3,61E-02
Piren	1,31E-01	1,03E-01	1,09E+00	8,84E-01	1,50E-01	2,73E-01	3,67E-02	4,53E-02
Benzo(a)antrasen	4,24E-05	4,24E-05	1,78E-02	3,76E-02	2,65E-02	4,24E-05	1,70E-02	2,57E-02
Krisen	9,44E-05	9,44E-05	4,12E-02	7,22E-02	8,11E-02	1,24E-01	3,72E-02	327E-02
Benzo(b)floranten	1,86E+00	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,70E-01	4,79E-02	7,.30E-02
Benzo(k)floranten	1,96E+00	1,08E+00	4,69E-05	4,69E-05	1,35E-01	4,84E-01	4,69E-05	4,69E-05
Benzo(a)piren	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,45E-02	2,88E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	9,90E-02	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	1,41E-01	7,48E-02
Dibenzo(a,h)antrasen	8,68E-02	3,43E-02	4,99E-02	4,00E-02	2,48E-03	2,48E-03	1,86E-02	1,81E-02
Benzo(g,h,i)perilen	1,50E-01	8,66E-02	6,29E-02	4,95E-02	3,31E-03	3,31E-03	1,64E-01	1,05E-01

Tablo 4.59. Doğu baseni partikül fazdaki PAH konsantrasyonları (ng/mg)

PAHLAR	Dönem - 1 (Ağustos 2019)		Dönem - 2 (Kasım 2019)		Dönem - 3 (Şubat 2020)		Dönem - 4 (Temmuz 2020)	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	2,50E+00	4,75E-01	1,67E+00	1,36E+00	1,83E+00	7,89E-01	1,39E-01	7,90E-02
Asenaftilen	3,96E-01	2,08E-05	4,43E-02	4,84E-02	2,08E-05	2,08E-05	1,58E-02	3,32E-02
Asenaften	1,88E+00	2,78E-01	5,66E-02	3,81E-02	1,03E+00	1,49E-01	4,07E-02	2,10E-02
Floren	3,69E-01	2,71E-01	9,83E-02	1,40E-01	2,38E-01	9,19E-02	1,83E-02	4,42E-05
Fenantren	2,61E+00	1,54E+00	3,13E-01	4,37E-01	7,81E-01	2,55E-01	1,39E-01	8,57E-02
Antrasen	4,76E-01	5,95E-01	4,03E-02	4,67E-01	2,33E-01	1,06E-01	6,08E-02	2,59E-02
Floranten	6,75E-01	5,26E+00	1,84E-01	2,04E-01	1,98E-01	5,72E-02	3,84E-02	4,47E-02
Piren	8,18E-01	6,85E+00	8,79E-01	8,17E-01	2,87E-01	7,60E-02	4,20E-02	4,82E-02
Benzo(a)antrasen	1,78E-01	9,67E+00	1,78E-02	1,77E-02	9,72E-02	2,48E-02	1,34E-02	1,40E-02
Krisen	1,46E-01	8,67E+00	2,90E-02	9,44E-05	1,43E-01	3,24E-02	1,21E-02	2,92E-02
Benzo(b)floranten	1,07E-04	1,02E+01	1,07E-04	1,07E-04	2,95E-01	1,07E-04	3,45E-02	5,06E-02
Benzo(k)floranten	3,85E+00	9,47E+00	4,69E-05	4,69E-05	6,54E-01	4,69E-05	4,69E-05	3,07E-02
Benzo(a)piren	6,83E-02	8,17E+00	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,70E-03	1,87E-02	3,09E-02
İndeno(1,2,3-cd)piren	9,10E-02	1,51E+01	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,24E-03	4,47E-02	8,24E-02
Dibenzo(a,h)antrasen	2,91E-01	1,19E+01	3,47E-02	4,84E-02	2,48E-03	2,48E-03	2,48E-03	1,60E-02
Benzo(g,h,i)perilen	3,65E-01	1,42E+01	3,69E-02	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,56E-02	9,52E-02

Tablo 4.60. Merkez Baseni Toplam (Bulk) PAH konsantrasyonları (mg/m³)

PAHLAR	Dönem - 1 (Ağustos 2019)		Dönem - 2 (Kasım 2019)		Dönem - 3 (Şubat 2020)		Dönem - 4 (Temmuz 2020)	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	4,60E-02	7,72E-02	4,02E-02	4,81E-02	4,74E-02	5,31E-02	3,57E-02	3,17E-02
Asenaftilen	5,40E-04	1,14E-03	1,25E-03	1,77E-03	8,09E-03	5,38E-03	8,47E-03	6,61E-03
Asenaften	2,17E-03	3,52E-03	1,41E-03	3,40E-03	2,99E-02	3,14E-03	9,05E-03	1,84E-03
Floren	3,08E-03	1,33E-03	2,71E-03	3,08E-03	1,30E-02	1,09E-02	1,16E-02	7,57E-03
Fenantren	2,83E-02	1,46E-02	1,11E-02	1,54E-02	4,72E-02	5,33E-02	4,50E-02	4,59E-02
Antrasen	1,99E-02	4,32E-03	6,80E-03	8,22E-03	6,92E-03	8,05E-03	5,16E-03	6,72E-03
Floranten	7,00E-03	4,63E-03	6,27E-03	9,79E-03	1,39E-02	2,35E-02	1,34E-02	2,16E-02
Piren	1,56E-02	4,56E-03	1,88E-02	2,15E-02	1,23E-02	1,90E-02	1,16E-02	1,73E-02
Benzo(a)antrasen	3,56E-04	6,45E-06	7,62E-04	1,37E-03	9,31E-04	1,26E-03	1,04E-03	2,16E-03
Krisen	1,52E-04	4,53E-05	1,24E-03	2,80E-03	2,91E-03	6,93E-03	2,91E-03	6,62E-03
Benzo(b)floranten	3,74E-02	1,42E-05	311E-05	1,52E-05	4,64E-04	2,34E-03	1,51E-03	2,89E-03
Benzo(k)floranten	4,28E-02	1,41E-02	4,72E-03	3,56E-03	2,21E-03	6,34E-03	8,77E-04	6,29E-04
Benzo(a)piren	4,52E-05	3,02E-05	5,87E-04	4,26E-04	2,79E-05	3,11E-05	3,26E-04	1,02E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,08E-03	6,23E-05	2,02E-03	1,80E-03	5,80E-05	6,41E-05	3,10E-03	2,64E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	2,70E-03	4,80E-04	9,62E-04	9,14E-04	1,18E-04	1,23E-04	5,00E-04	7,26E-04
Benzo(g,h,i)perilen	4,98E-03	2,31E-03	3,92E-03	3,98E-03	6,18E-05	6,81E-05	3,61E-03	3,69E-03

Tablo 4.61. Doğu Baseni Toplam (Bulk) PAH konsantrasyonları (mg/m³)

PAHLAR	Dönem - 1 (Ağustos 2019)		Dönem - 2 (Kasım 2019)		Dönem - 3 (Şubat 2020)		Dönem - 4 (Temmuz 2020)	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	9,59E-02	4,48E-02	6,38E-02	6,02E-02	9,73E-02	3,38E-02	5,25E-03	5,09E-03
Asenaftilen	4,39E-03	5,31E-04	7,19E-03	1,91E-03	2,07E-02	5,57E-03	2,82E-03	6,18E-03
Asenaften	1,87E-02	3,87E-03	7,49E-03	3,27E-03	4,38E-02	2,55E-02	5,91E-03	5,04E-03
Floren	5,41E-03	4,03E-03	6,62E-03	4,89E-03	1,93E-02	7,09E-03	1,37E-03	9,11E-04
Fenantren	4,50E-02	2,87E-02	2,81E-02	1,77E-02	4,12E-02	3,63E-02	8,76E-03	7,48E-03
Antrasen	5,20E-03	6,40E-03	3,26E-03	1,91E-02	5,94E-03	7,12E-03	2,26E-03	1,58E-03
Floranten	1,25E-02	6,08E-02	1,35E-02	7,82E-03	3,61E-02	1,38E-02	2,83E-03	3,05E-03
Piren	1,19E-02	7,82E-02	2,30E-02	2,17E-02	2,51E-02	2,16E-02	2,20E-03	1,99E-03
Benzo(a)antrasen	2,02E-03	1,04E-01	2,11E-03	1,21E-03	2,31E-03	1,34E-03	3,48E-04	5,26E-04
Krisen	1,33E-03	9,28E-02	9,24E-03	9,48E-04	4,97E-03	3,08E-03	3,04E-04	1,14E-03
Benzo(b)floranten	1,39E-05	1,09E-01	5,22E-02	1,54E-05	3,99E-03	5,42E-04	7,96E-04	1,90E-03
Benzo(k)floranten	4,01E-02	1,03E-01	1,94E-02	3,25E-03	9,90E-03	1,80E-03	1,88E-05	1,06E-03
Benzo(a)piren	6,12E-04	8,74E-02	1,08E-02	5,36E-04	3,09E-05	4,15E-05	4,33E-04	1,08E-03
İndeno(1,2,3-cd)piren	1,28E-03	1,62E-01	5,64E-02	9,01E-04	6,38E-05	8,39E-05	9,82E-04	2,88E-03
Dibenzo(a,h)antrasen	3,99E-03	1,28E-01	6,49E-03	1,19E-03	1,23E-04	1,38E-04	1,47E-04	6,41E-04
Benzo(g,h,i)perilen	1,03E-03	1,52E-01	7,23E-02	1,20E-03	6,78E-05	8,83E-05	1,22E-03	3,38E-03

4.3.2. Sediment Konsantrasyon Verileri

Girdi verileri ile çalıştırılan modelin sonuçları incelenmiştir. Elde edilen model sonuçlarının doğruluğu Tablo 4.62'de verilen merkez ve doğu baseni sediment örneklerindeki PAH konsantrasyonları ile kontrol edilmiştir.

Tablo 4.62. Merkez ve doğu baseni sediment örneklerindeki PAH konsantrasyonları (ng/g)

PAHLAR	Merkez		Doğu	
	Şubat	Şubat	Aralık	Ortalama
Naftalin	1,20E+01	2,86E+00	1,30E+02	6,65E+01
Asenaftilen	1,32E+02	1,20E+01	6,44E+01	3,82E+01
Asenaften	7,53E+00	1,87E+00	1,42E+01	8,04E+00
Floren	9,44E+00	3,27E+00	4,70E+01	2,52E+01
Fenantron	2,00E+02	1,77E+01	1,29E+02	7,36E+01
Antrasen	2,15E+02	1,96E+01	6,84E+01	4,40E+01
Floranten	1,18E+02	2,80E+01	1,54E+02	9,09E+01
Piren	1,53E+02	2,70E+01	2,57E+02	1,42E+02
Benzo(a)antrasen	1,15E+02	2,45E+01	5,50E+01	3,98E+01
Krisen	1,21E+02	2,65E+01	6,12E+01	4,38E+01
Benzo(b)floranten	2,73E+02	8,00E+01	2,72E+02	1,76E+02
Benzo(k)floranten	1,85E+02	3,84E+01	9,07E+01	6,45E+01
Benzo(a)piren	1,80E+02	3,84E+01	1,93E+02	1,15E+02
İndeno(1,2,3-cd)piren	3,03E+02	7,62E+01	3,75E+02	2,26E+02
Dibenzo(a,h)antrasen	5,15E+01	1,28E+01	6,23E+01	3,76E+01
Benzo(g,h,i)perilen	3,19E+02	7,30E+01	4,21E+02	2,47E+02

4.4. Model Simülasyonları

İzmit Körfezi'nde PAH akibetini simüle etmek üzere parametrize edilmiş körfez akibet modeli (BETR-QWASI-LU) ile kararlı durum simülasyonları, dinamik simülasyonlar ve Monte Carlo simülasyonları gerçekleştirılmıştır. Sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.4.1. Kararlı Durum Simülasyonları

Bölüm 4.2'de (Model Girdilerinin Oluşturulması) sunulan girdi verileri ile 16 PAH'ın İzmit Körfezi'ndeki akıbetinin kararlı-durum simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Kararlı durum simülasyonları "runALL_ss_QWASI_2BasinIzmit.py" dosyası çalıştırılarak gerçekleştirilebilir (URL-6). Sonuçlar Bölüm 4.3'te (Model Doğrulama Verileri) sunulmuş olan gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.63 - Tablo 4.67; Şekil 4.16 - Şekil 4.25). Model performansının nicel olarak değerlendirilebilmesi amacıyla her bir PAH ve kompartman için hata oranı Denklem (4.2)'deki şekilde;

$$\text{Hata Oranı} = \frac{\text{Model Sonucu}}{\text{Ölçüm Sonucu}} \quad (4.2)$$

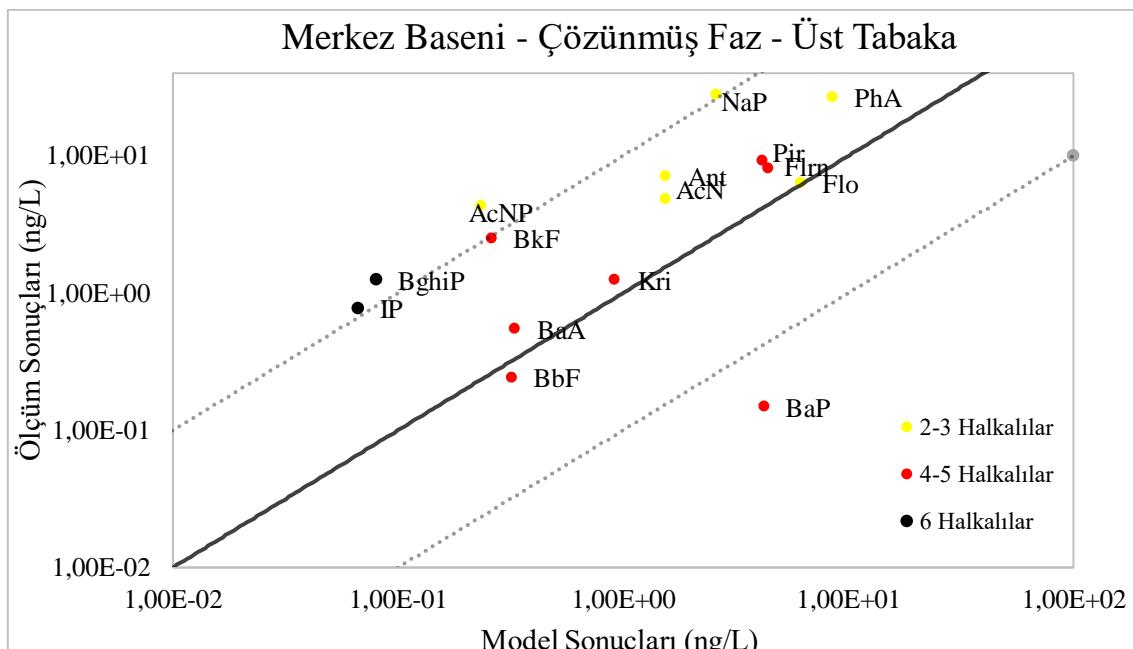
hesaplanmıştır. Hata oranı değerinin 1/2 ile 2 arasında olması durumu iki faktöre kadar olan hatayı göstermektedir. Bu seviyede hata, çok ortamlı akıbet modellerinde iyi model performansına karşılık gelmektedir. Hata oranı değerinin 1/10 ile 10 arasında olması durumu on faktöre kadar olan hatayı göstermektedir. Bu seviyede hata, çok ortamlı akıbet modellerinde kabul edilebilir performansa karşılık gelmektedir.

Şekil 4.16 - Şekil 4.23 incelendiğinde modelin, deniz kompartmanlarında, çözünmüş faz için partikül fazına kıyasla gözlem sonuçlarına daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Çözünmüş fazda orta molekül ağırlıklı (3-4 halkalı) PAH bileşikleri için model sonuçları genelde iki faktör içerisinde kalan hata oranlarına sahiptir (Tablo 4.63 - Tablo 4.64). Partikül faz sonuçlarının ise daha yüksek molekül ağırlıklı (4-5 halkalı) PAHlar için daha iyi olduğu görülmektedir (Tablo 4.65 - Tablo 4.66). Düşük molekül ağırlıklı PAHların konsantrasyonları genel olarak ölçülmüş değerden yüksek tahmin edilmektedir. Model sonuçlarının, saha çalışmaları neticesinde elde edilen örneklerin analizlerinde tespit edilen PAH miktarlarından yüksek bulunmasının sebebi, model oluşturulurken kullanılan İzmit Körfezi'ndeki su akış modelindeki belirsizlikler olabilir. Su akış modelinin güncellenmesi durumunda model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının birbirine daha yakın bulunması ihtimaller dahilindedir. Aynı şekilde model oluşturulurken, literatürden alınan diğer parametrelerin de güncellenmesi durumunda model sonuçları ile ölçüm sonuçları birbirlerine daha yakın değerler alabilir.

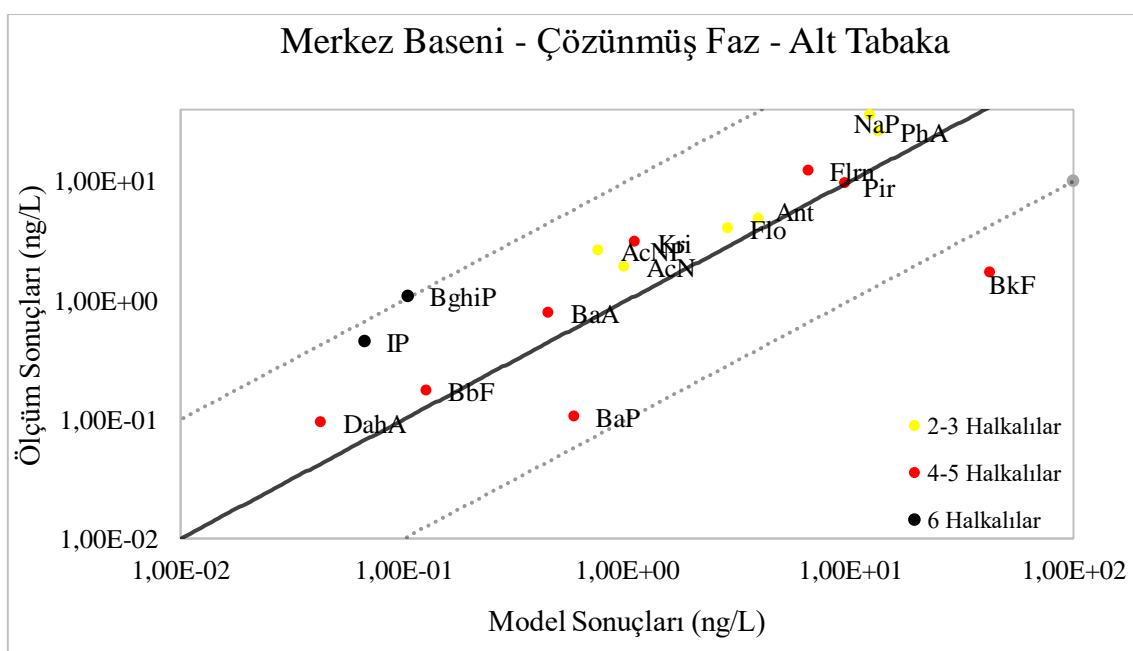
Tablo 4.63. Merkez baseni, çözünmüş faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

PAHlar	Ölçüm Sonuçları (ng/L)		Model Sonuçları (ng/L)		Hata Oranı	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	27,90	35,98	3,57	11,78	0,13	0,33
Asenaftilen	4,29	2,63	0,28	0,73	0,06	0,28
Asenaften	4,80	1,92	1,30	1,11	0,27	0,58
Floren	6,34	4,04	4,58	3,95	0,72	0,98
Fenantren	26,76	25,91	8,23	13,63	0,31	0,53
Antrasen	7,11	4,86	1,81	3,77	0,25	0,78
Floranten	8,05	12,21	4,25	6,61	0,53	0,54
Piren	9,17	9,56	4,89	9,06	0,53	0,95
Benzo(a)antrasen	0,55	0,78	0,33	0,45	0,60	0,57
Krisen	1,24	3,08	0,85	1,12	0,69	0,36
Benzo(b)floranten	0,24	0,17	0,23	0,17	0,93	0,98
Benzo(k)floranten	2,49	1,71	13,32	36,45	5,34	21,34
Benzo(a)piren	0,15	0,11	2,64	1,26	17,77	11,92
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,78	0,45	0,06	0,07	0,08	0,15
Dibenzo(a,h)antrasen	0,34	0,09	0,02	0,04	0,06	0,41
Benzo(g,h,i)perilen	1,25	1,09	0,08	0,10	0,07	0,09

Not: Mavi renkli hata oranları iki faktöre kadar olan hatayı, yeşil renkli hata oranları on faktöre kadar olan hatayı göstermektedir.



Şekil 4.16. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

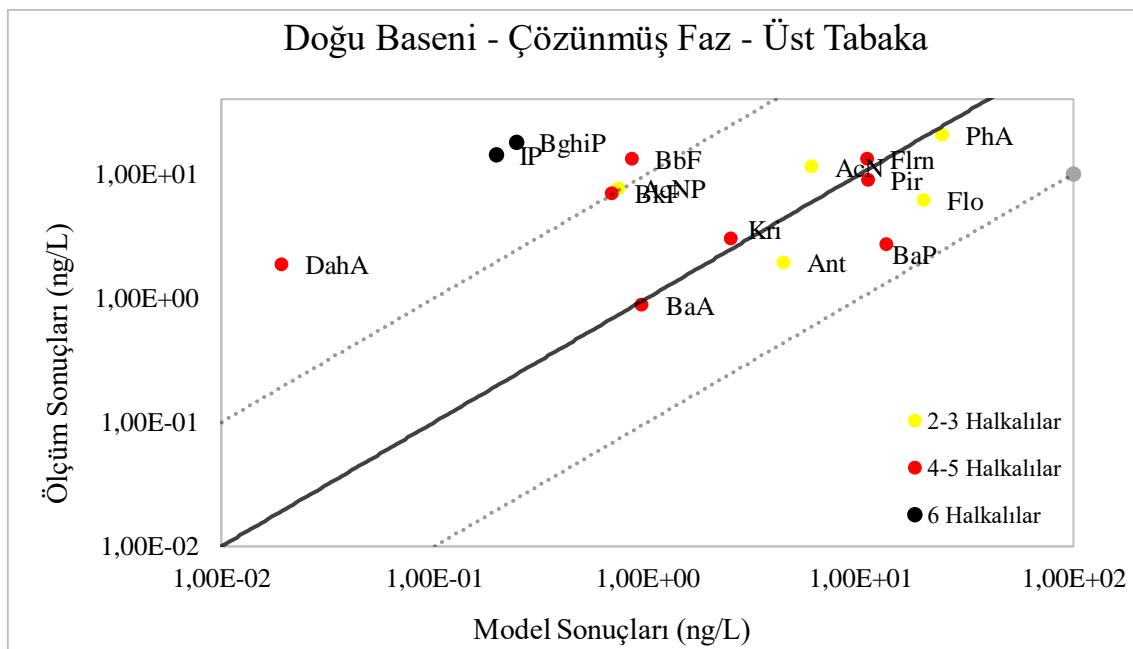


Şekil 4.17. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

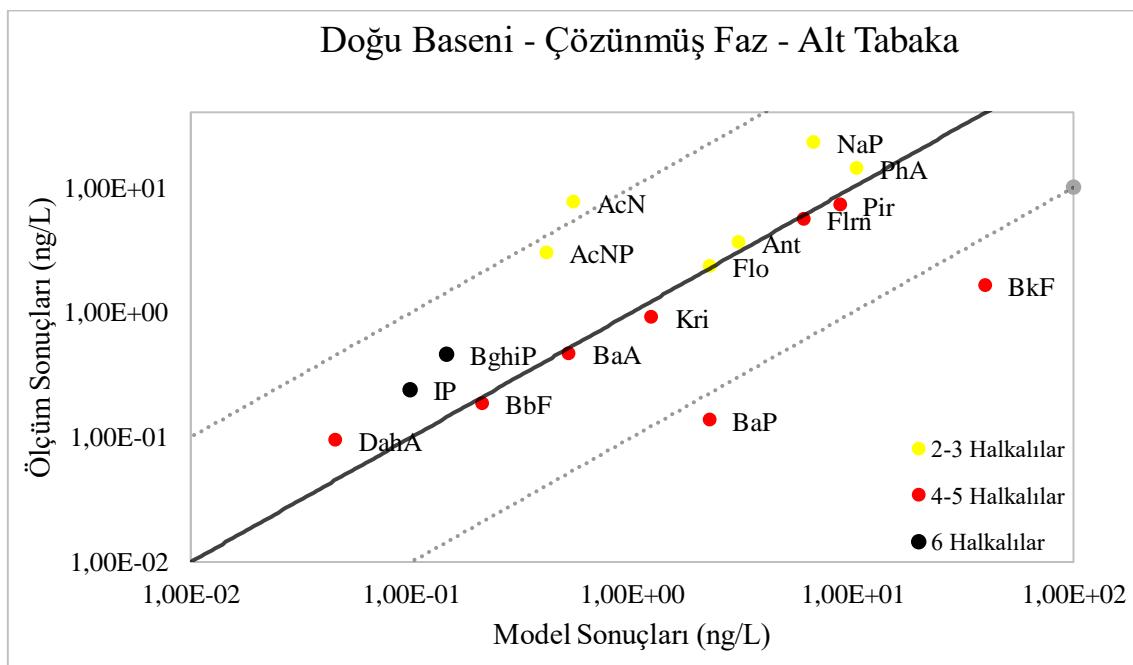
Tablo 4.64. Doğu baseni, çözünmüş faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

PAHlar	Ölçüm Sonuçları (ng/L)		Model Sonuçları (ng/L)		Hata Oranı	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	46,74	22,79	9,39	7,25	0,20	0,32
Asenaftilen	7,62	2,99	0,69	0,48	0,09	0,16
Asenaften	11,37	7,60	4,83	2,01	0,42	0,26
Floren	6,15	2,30	15,29	7,95	2,48	3,45
Fenantren	20,66	14,08	20,97	14,38	1,02	1,02
Antrasen	1,93	3,64	4,21	3,33	2,18	0,92
Floranten	13,18	5,49	9,55	7,22	0,72	1,32
Piren	8,88	7,18	10,91	8,96	1,23	1,25
Benzo(a)antrasen	0,88	0,46	0,86	0,58	0,99	1,26
Krisen	3,03	0,91	2,15	1,46	0,71	1,60
Benzo(b)floranten	13,20	0,18	0,63	0,35	0,05	1,89
Benzo(k)floranten	6,97	1,63	22,14	27,56	3,18	16,94
Benzo(a)piren	2,72	0,14	9,51	4,49	3,50	32,99
İndeno(1,2,3-cd)piren	14,21	0,24	0,18	0,11	0,01	0,45
Dibenzo(a,h)antrasen	1,88	0,09	0,04	0,04	0,02	0,38
Benzo(g,h,i)perilen	18,13	0,46	0,24	0,15	0,01	0,33

Not: Mavi renkli hata oranları iki faktöre kadar olan hatayı, yeşil renkli hata oranları on faktöre kadar olan hatayı göstermektedir.



Şekil 4.18. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

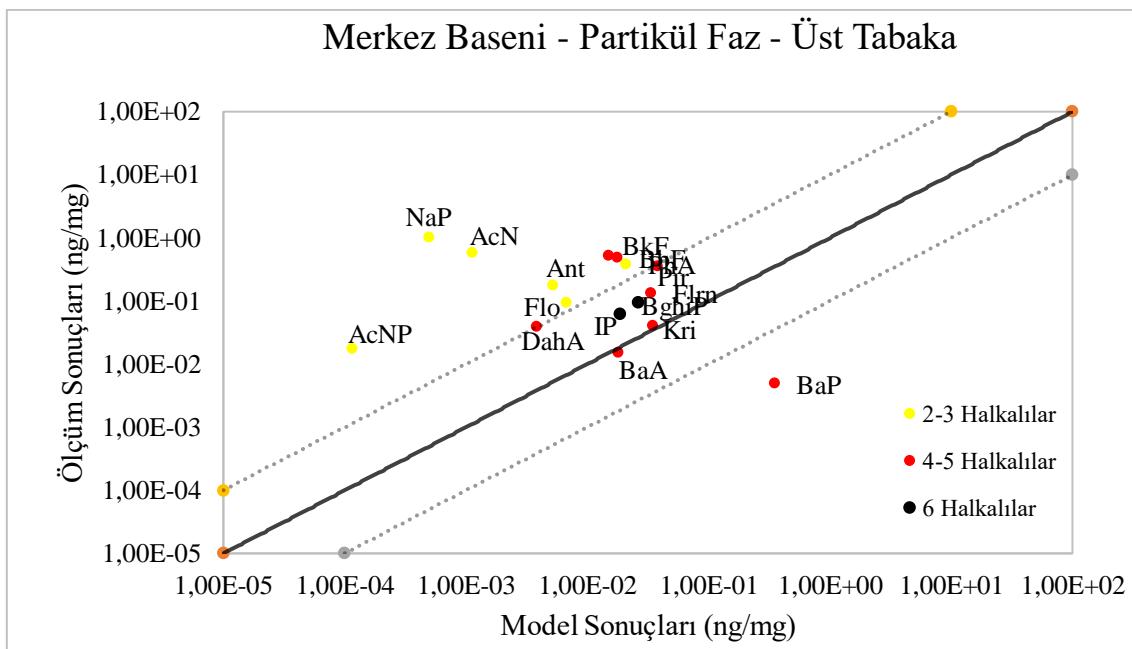


Şekil 4.19. Çözünmüş faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

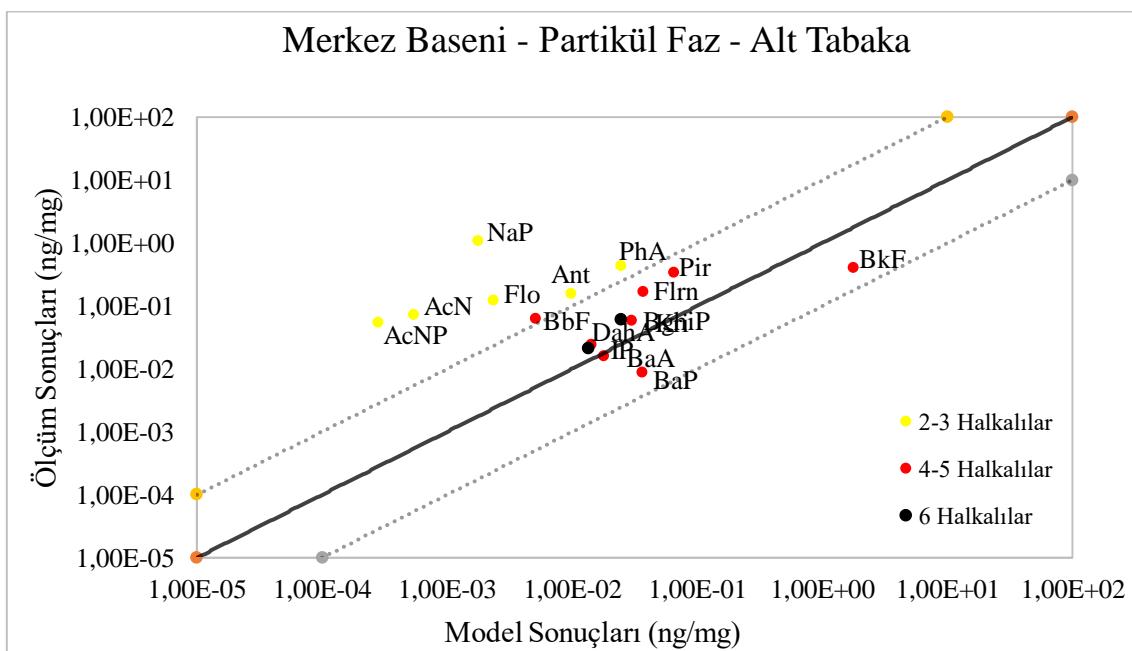
Tablo 4.65. Merkez baseni, partikül faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

PAHlar	Ölçüm Sonuçları (ng/mg)		Model Sonuçları (ng/mg)		Hata Oranı	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	1,01	1,06	0,0007	0,0017	0,001	0,002
Asenaftilen	0,02	0,05	0,0001	0,0003	0,008	0,005
Asenaften	0,57	0,07	0,0010	0,0006	0,002	0,009
Floren	0,09	0,12	0,0050	0,0033	0,055	0,027
Fenantren	0,38	0,43	0,0203	0,0251	0,053	0,059
Antrasen	0,17	0,15	0,0062	0,0096	0,035	0,062
Floranten	0,13	0,16	0,0327	0,0377	0,245	0,232
Piren	0,35	0,33	0,0452	0,0621	0,129	0,190
Benzo(a)antrasen	0,02	0,02	0,0180	0,0180	1,175	1,134
Krisen	0,04	0,06	0,0325	0,0312	0,816	0,546
Benzo(b)floranten	0,48	0,06	0,0125	0,0069	0,026	0,113
Benzo(k)floranten	0,52	0,39	0,7716	1,5398	1,475	3,947
Benzo(a)piren	0,00	0,01	0,2213	0,0796	45,292	9,392
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,06	0,02	0,0174	0,0138	0,283	0,651
Dibenzo(a,h)antrasen	0,04	0,02	0,0091	0,0129	0,230	0,543
Benzo(g,h,i)perilen	0,10	0,06	0,0274	0,0244	0,288	0,401

Not: Mavi renkli hata oranları iki faktöre kadar olan hatayı, yeşil renkli hata oranları on faktöre kadar olan hatayı göstermektedir.



Şekil 4.20. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

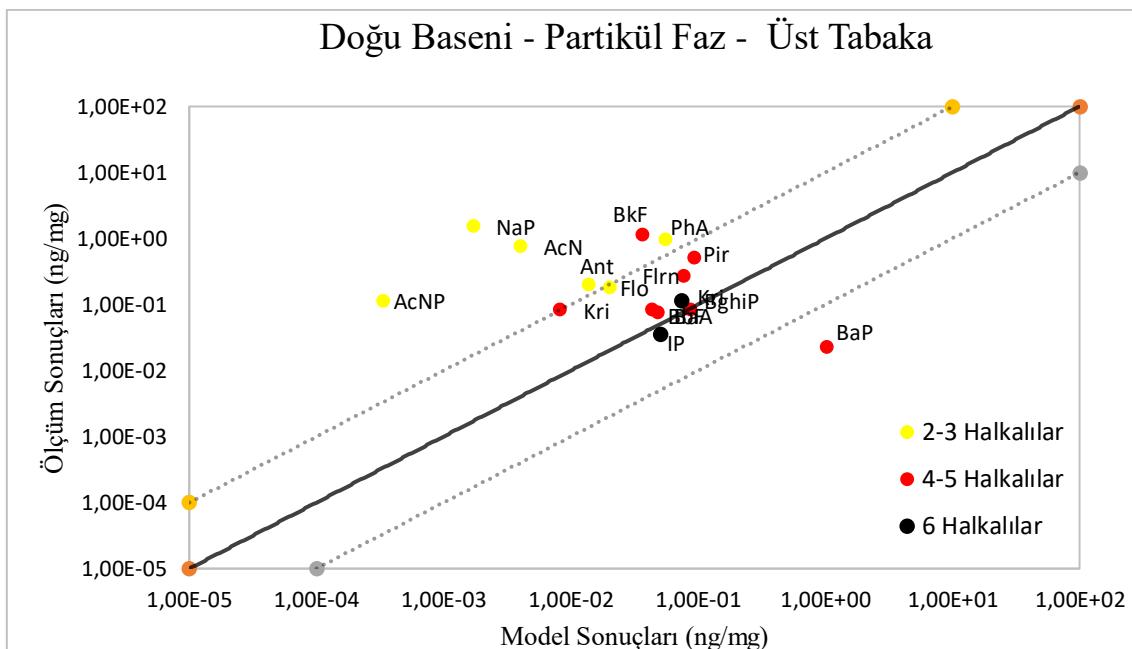


Şekil 4.21. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

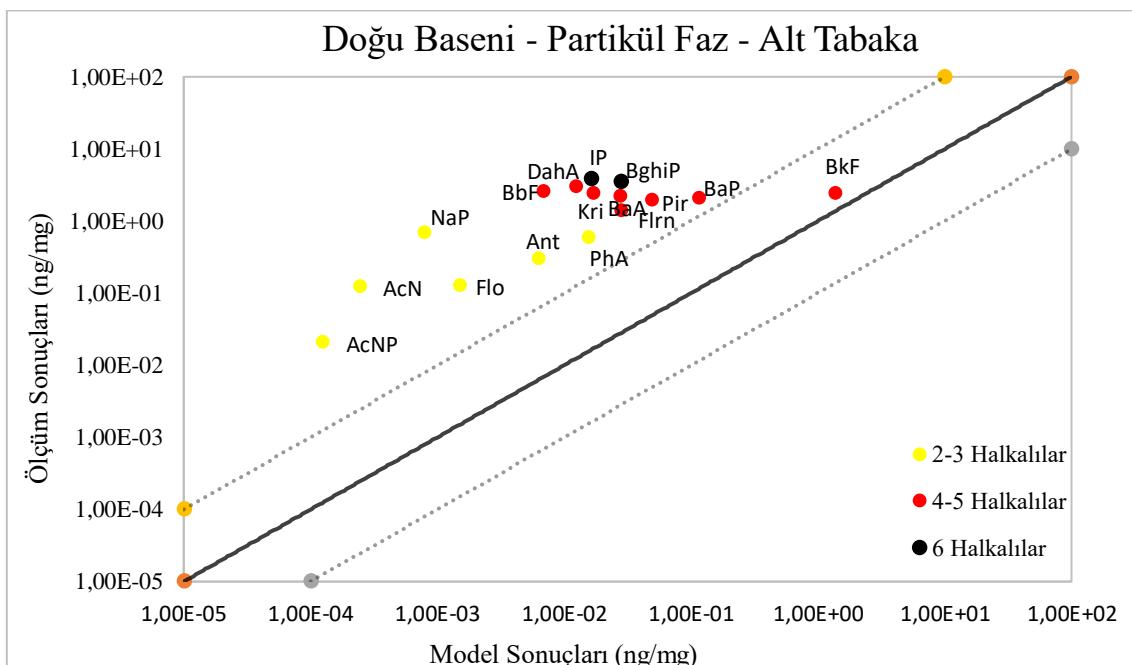
Tablo 4.66. Doğu baseni, partikül faz için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

PAHlar	Ölçüm Sonuçları (ng/mg)		Model Sonuçları (ng/mg)		Hata Oranı	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Naftalin	1,53	0,68	0,0017	0,0009	0,001	0,001
Asenaftilen	0,11	0,02	0,0003	0,0001	0,003	0,007
Asenaften	0,75	0,12	0,0033	0,0009	0,004	0,008
Floren	0,18	0,13	0,0156	0,0054	0,086	0,043
Fenantren	0,96	0,58	0,0481	0,0217	0,050	0,037
Antrasen	0,20	0,30	0,0133	0,0069	0,066	0,023
Floranten	0,27	1,39	0,0682	0,0337	0,249	0,024
Piren	0,51	1,95	0,0937	0,0503	0,185	0,026
Benzo(a)antrasen	0,08	2,43	0,0441	0,0192	0,576	0,008
Krisen	0,08	2,18	0,0761	0,0332	0,921	0,015
Benzo(b)floranten	0,08	2,56	0,0325	0,0115	0,395	0,004
Benzo(k)floranten	1,13	2,38	1,1911	0,9525	1,057	0,401
Benzo(a)piren	0,02	2,05	0,7407	0,2313	32,791	0,113
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,04	3,81	0,0462	0,0179	1,300	0,005
Dibenzo(a,h)antrasen	0,08	3,00	0,0167	0,0099	0,202	0,003
Benzo(g,h,i)perilen	0,12	3,57	0,0717	0,0291	0,622	0,008

Not: Mavi renkli hata oranları iki faktöre kadar olan hatayı, yeşil renkli hata oranları on faktöre kadar olan hatayı göstermektedir.



Şekil 4.22. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Üst Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)



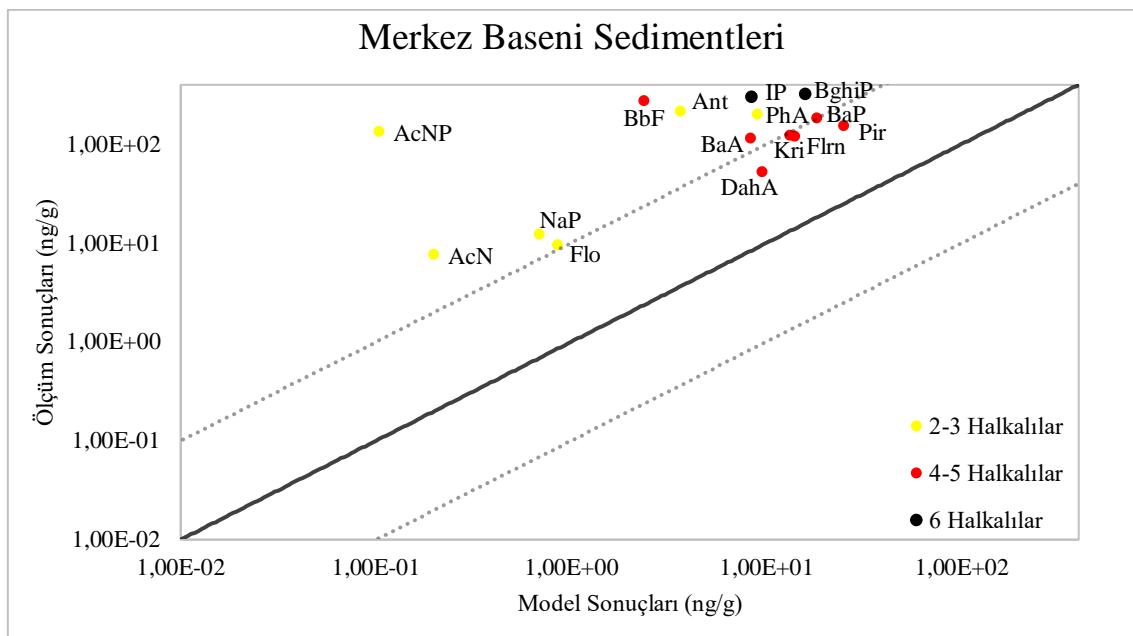
Şekil 4.23. Partikül faz model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Alt Tabaka) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

Sediment kompartmanı için model sonuçları, en düşük ve en yüksek molekül ağırlıklı PAHlar dışında on faktörlük hata içerisinde kalmaktadır. Doğu baseni sedimentlerinde benzo(a)piren konsantrasyonu iki faktörlük hata ile (%37 daha yüksek) tahmin edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, sediment konsantrasyonlarının (benzo(a)piren ve benzo(k)floranten dışında) tüm PAHlar için yüksek tahmin edilmiş olmasıdır (Şekil 4.24 - Şekil 4.25). Bu durum emisyon tahminlerine dahil edilemeyen doğrudan deşarjların İzmit Körfezi için önemli bir PAH kaynağı olduğunu gösteriyor olabilir. Model performansının sediment kompartmanı için bir miktar daha kötü olduğu merkez baseni için doğrudan deşarjların belirlenmesi daha da kritik önem taşımaktadır.

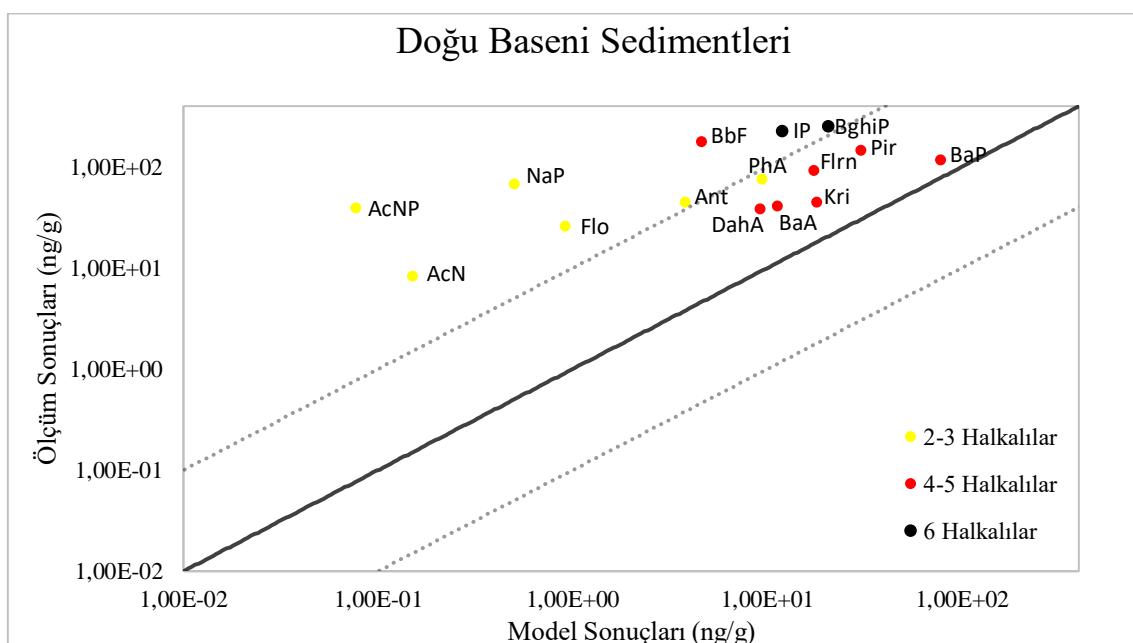
Tablo 4.67. Sediment kompartmanları için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

PAHlar	Ölçüm Sonuçları (ng/g)		Model Sonuçları (ng/g)		Hata Oranı	
	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu
Naftalin	12,04	66,54	0,66	0,55	0,055	0,008
Asenaftilen	132,35	38,17	0,10	0,09	0,001	0,002
Asenaften	7,53	8,04	0,23	0,56	0,030	0,070
Floren	9,44	25,15	1,20	3,28	0,127	0,130
Fenantren	200,03	73,59	9,22	13,15	0,046	0,179
Antrasen	214,97	44,05	3,52	4,18	0,016	0,095
Floranten	117,98	90,87	14,41	20,95	0,122	0,231
Piren	152,53	142,23	23,96	31,35	0,157	0,220
Benzo(a)antrasen	114,66	39,79	8,38	12,77	0,073	0,321
Krisen	120,68	43,83	13,76	21,69	0,114	0,495
Benzo(b)floranten	272,53	175,76	3,22	7,66	0,012	0,044
Benzo(k)floranten	184,93	64,54	723,44	635,15	3,912	9,841
Benzo(a)piren	180,13	115,48	40,14	157,95	0,223	1,368
İndeno(1,2,3-cd)piren	302,79	225,56	8,59	13,10	0,028	0,058
Dibenzo(a,h)antrasen	51,53	37,57	8,65	7,44	0,168	0,198
Benzo(g,h,i)perilen	319,17	247,02	15,65	21,48	0,049	0,087

Not: Mavi renkli hata oranları iki faktöre kadar olan hatayı, yeşil renkli hata oranları on faktöre kadar olan hatayı göstermektedir.



Şekil 4.24. Model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Merkez Baseni Sedimentleri) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

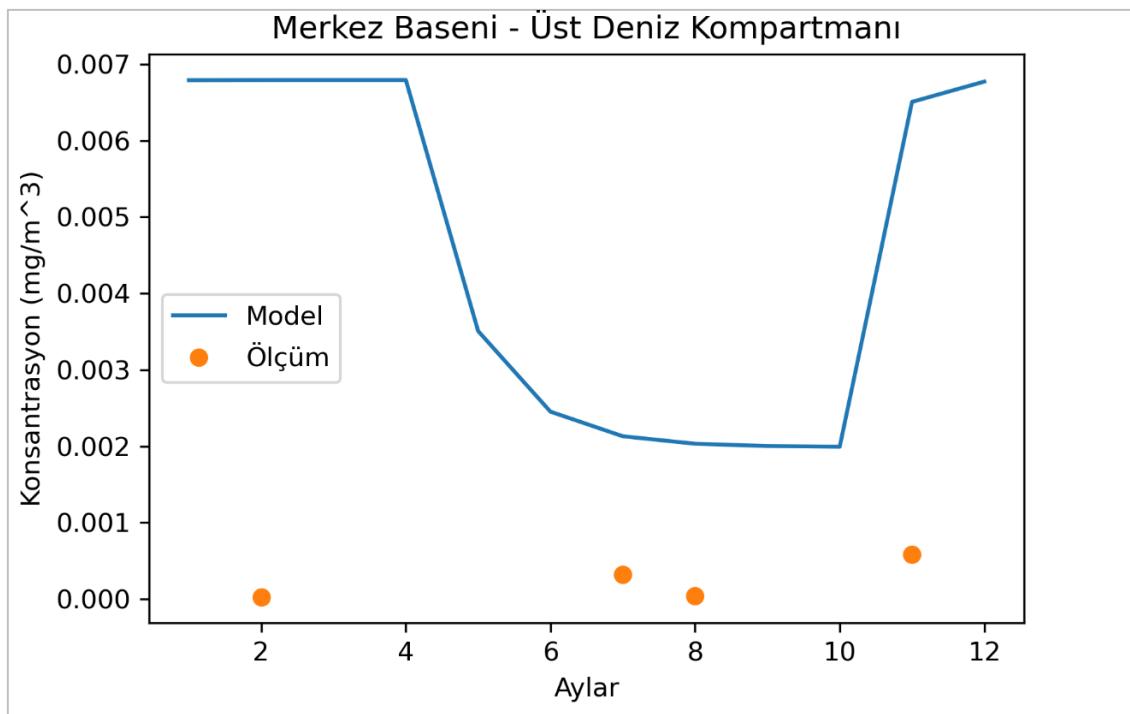


Şekil 4.25. Model sonuçlarının gözlem verileri ile karşılaştırılması (Doğu Baseni Sedimentleri) (Kararlı Durum) (Kesikli diyagonal çizgilerin arasında kalan noktalar için hata seviyesi on faktör içerisindeidir)

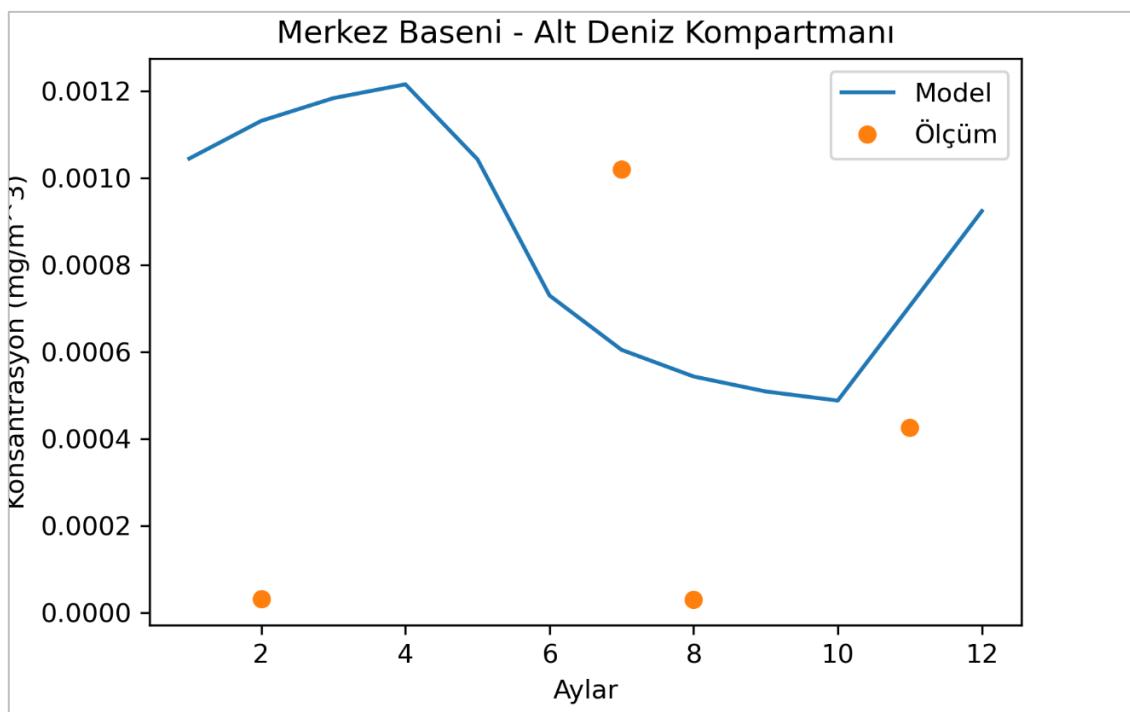
4.4.2. Dinamik Simülasyonlar

Bölüm 2.1'de bahsedildiği üzere PAH bileşikleri, tümör oluşumlarına ve kansere sebebiyet vermektedir ancak tüm PAH bileşikleri eşit şekilde zararlı değildir. Kaynak potansiyellerine, çevrede kalıcılıklarına, canlı vücudundaki birikimlerine göre tehlike seviyeleri de değişmektedir. Tehlike riski yüksek olan PAH bileşiklerinden birisi de Benzo(a)piren' dir. Hayvanlar üzerinde yapılan pek çok çalışmada, Benzo(a)piren' e maruz kalmanın üremede, doğumda ve gelişimde zararlı etkileri olduğu, artan mesleki çalışmalar ile Benzo(a)piren maruziyetinin akciğer kanseri gibi kanser çeşitleri ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur (US EPA, 2017). Ayrıca Benzo(a)piren, kanserojen riski, yaşam beklentisinde azalma gibi faktörlerin hesaplamalarında referans kırletici olarak da kullanılmaktadır (Shi ve diğ., 2020). Bölüm 4.2'de (Model Girdilerinin Oluşturulması) sunulan girdi verileri ile literatürde en fazla incelenen ve zararları konusunda bilgi sahibi olunan PAH bileşiklerinden biri olan Benzo(a)piren' in İzmit Körfezi'ndeki akıbetinin dinamik simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Dinamik simülasyonlar "runBaP_dyn_QWASI_2BasinIzmit" dosyası çalıştırılarak gerçekleştirilebilir (URL-6). Sonuçlar Bölüm 4.3'te (Model Doğrulama Verileri) sunulmuş olan gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.26-Şekil 4.31).

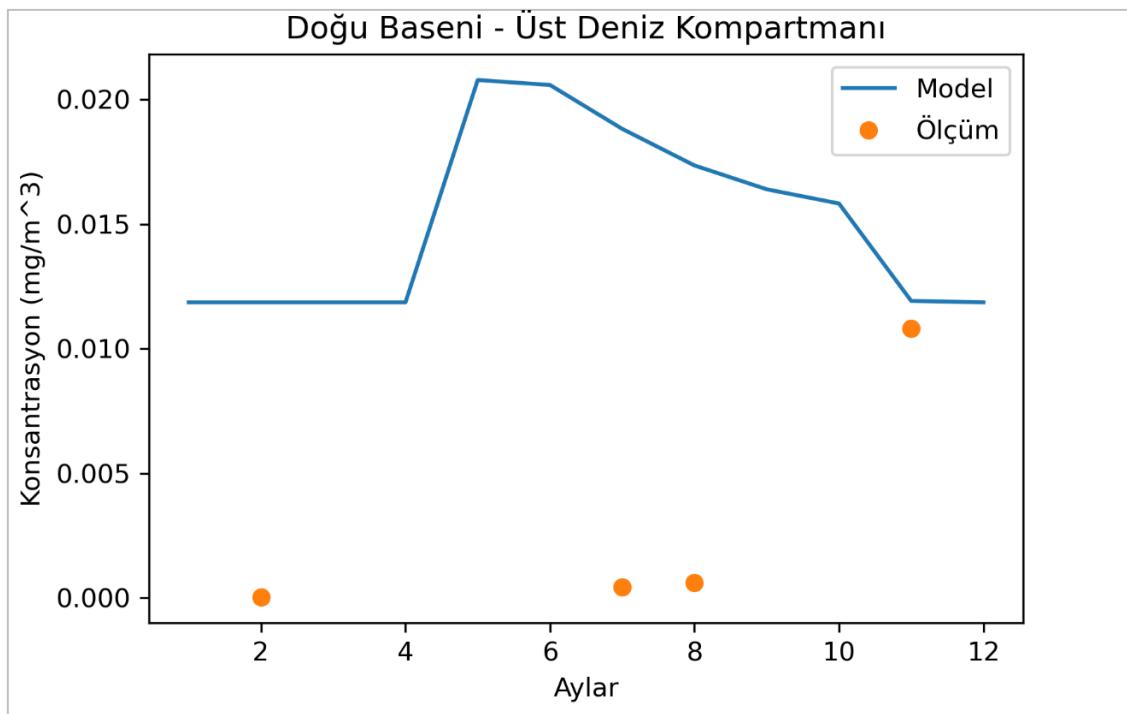
Dinamik simülasyonlar mevsimsel değişiklik gösteren çevresel parametreler ve mevsimsel değişim gösteren deniz suyu dolaşımı verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu dolaşım verileri için literatürde bulunabilen en güncel ve körfez akıbet modelinin yapısı ile uyumlu olan Oğuz ve Sur'un (1986) model sonuçları kullanılmıştır. Oğuz ve Sur (1986) körfezdeki iki tabakalı su yapısını dikkate alarak üç körfez baseni arasında su dolaşımını belirlemişlerdir. Modelleri, mevsimsel farklılıklarını dikkate alırken yalnızca yaz ve kış mevsimleri için dolaşım verisi üretmiştir. Oğuz ve Sur'un (1986) sonuçlarını model girdisi olarak kullanan dinamik PAH akıbeti modelleri, model simülasyon programının aylık çözünürlüğünü kullanmalarına rağmen mevsimsel çözünürlüğü su dolaşımı modelinin 6-aylık zaman çözünürlüğü ile sınırlanmak zorunluluğu ortaya çıkmıştır.



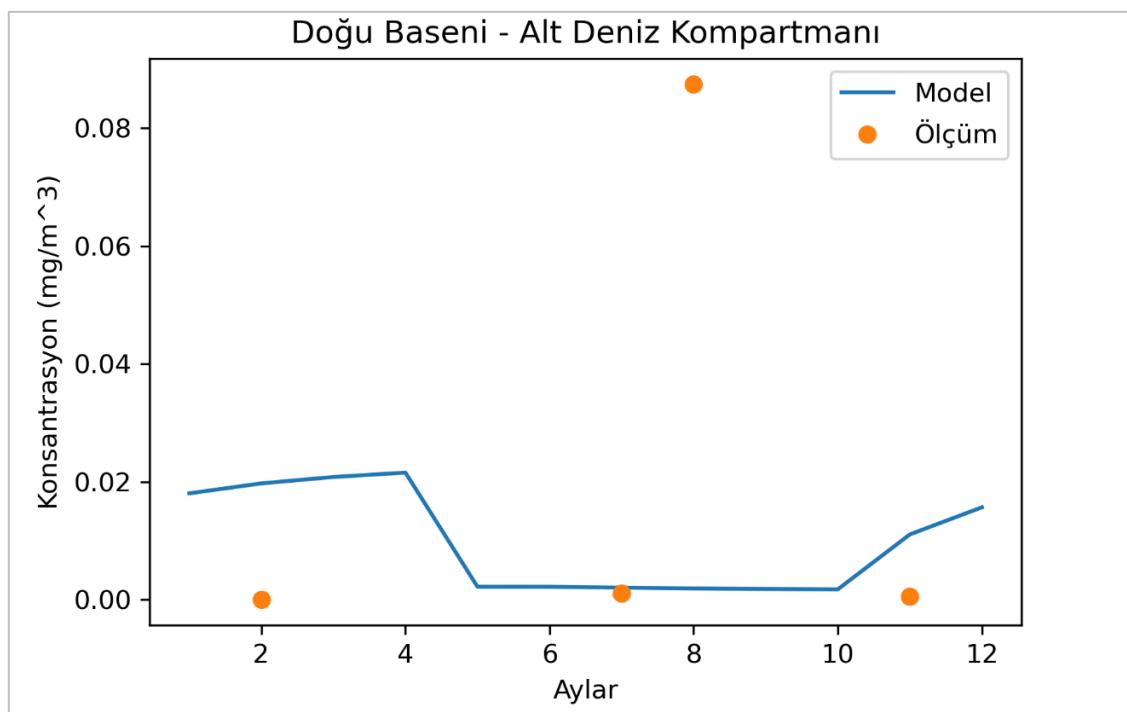
Şekil 4.26. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Üst Deniz Kompartmanı)



Şekil 4.27. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Merkez Baseni – Alt Deniz Kompartmanı)



Şekil 4.28. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Üst Deniz Kompartmanı)



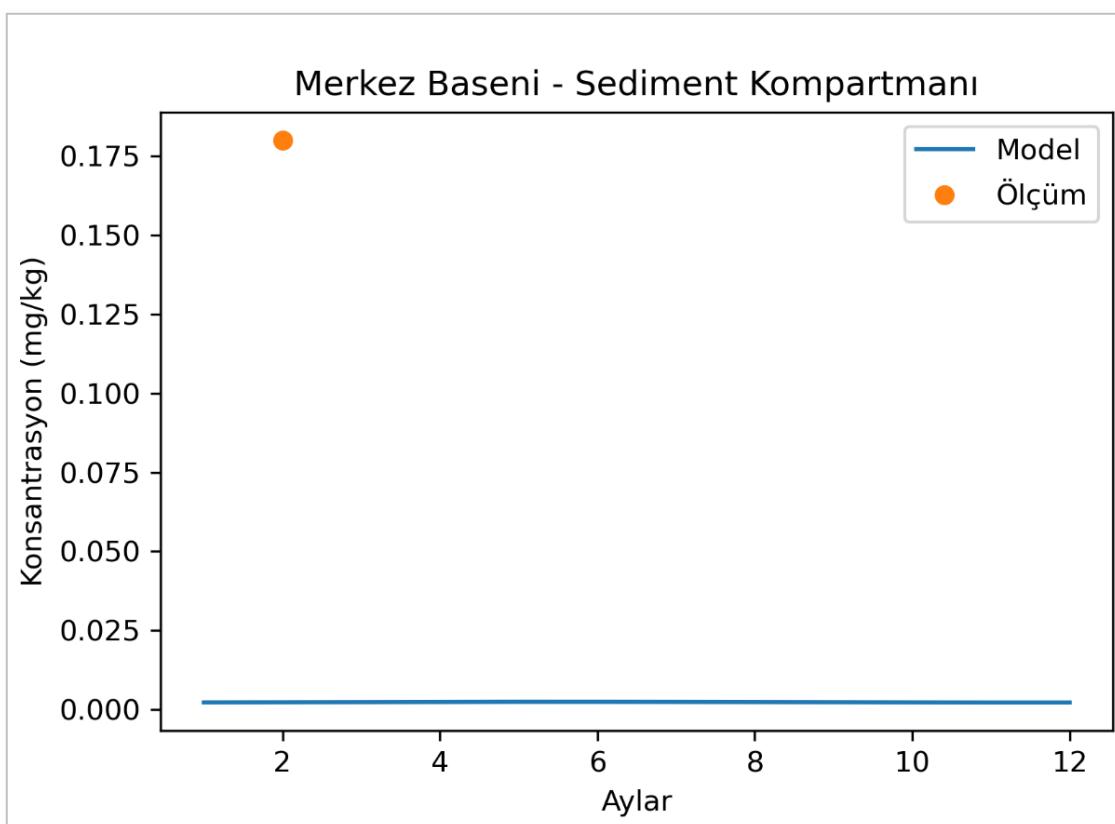
Şekil 4.29. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Alt Deniz Kompartmanı)

Dinamik simülasyon sonuçları, körfez su kompartmanları için mevsimsel farklılıkların sediment kompartmanına (Şekil 4.32) kıyasla daha önemli olduğunu göstermektedir. Körfezin hidrodinamik yapısı sonucu yaz aylarında tabakalar arası akıntıların hâkim yönü üst tabakadan alt tabakaya doğrudur. Bu durum yaz aylarında üst deniz kompartmanlarında konsantrasyonların azalmasında (emisyonlardaki azalma ile birlikte) etkili olmaktadır. Model sonuçları yaz döneminde deniz kompartmanlarındaki ölçüm sonuçlarını daha iyi tahmin edebilmektedirler (Şekil 4.26-Şekil 4.29). Ağustos ayı doğu baseni alt deniz konsantrasyonu ölçümü istisnadır (Şekil 4.29). Bu dönem örneklemede, örnekleme noktasında yerel bir kirlilik kaynağı nedeniyle yüksek konsantrasyona rastlanmış olabilir. Örnekleme noktası seçilirken kıyı kaynaklarından uzak bir nokta seçilmiştir. Ancak yine de böyle bir durumla karşılaşılması, örneklemenin mümkün olduğunda çok sayıda noktadan yapılmasının önemini ortaya çıkarmaktadır. Kış aylarında ise emisyon artışıları ve tabakalar arası baskın transfer yönünün alt tabakadan üst tabakaya olması nedeniyle modellenen üst deniz kompartmanı konsantrasyonlarında artış ortaya çıkmıştır. Bu durumun ölçüm sonuçlarına da yansığı söylenebilir. Ancak, çalışma kapsamında üretilen su kompartmanı verileri su kolonundaki PAH konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi hakkında bilgi verecek sıklıkta (örn. aylık) yapılamamışlardır. İzmit Körfezi’nde organik kimyasal kirliliğinin mevsimsel değişiminin ortaya konulabilmesi için deniz suyu örneklemelerinin en az ayda bir olacak sıklıkla ve körfez basenlerinin farklı noktalarından olacak şekilde yapılması gereklidir. İzmit Körfezi’nde kirletici akbet ve taşınımının mevsimsel değişiminin ortaya konulabilmesi için körfezde basenler arası ve tabakalar arası su dolaşımının en az aylık zamansal çözünürlükte modellenmesi gereklidir. Daha yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüğe sahip bir hidrodinamik model ise daha ayrıntılı simülasyonların yapılmasına olanak sağlayacaktır.

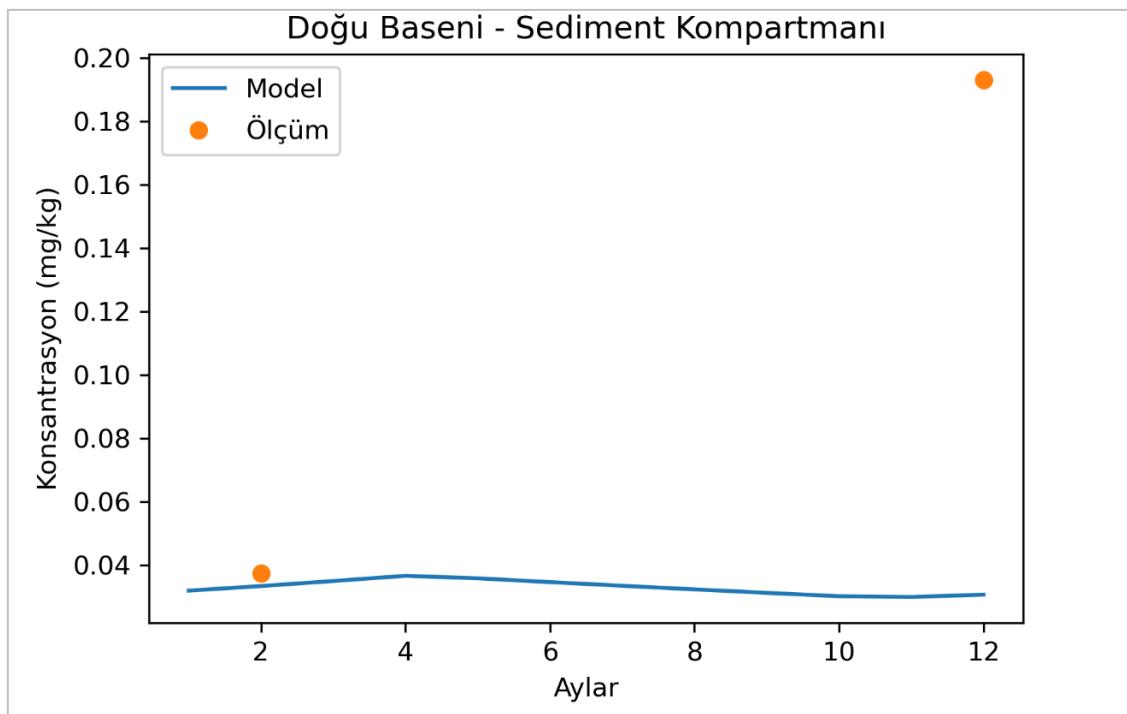
Sediment kompartmanlarında dinamik simülasyonlar sonucu tahmin edilen kirletici konsantrasyonları, ölçülmüş konsantrasyonlardan çok daha düşük olmuştur (Şekil 4.30-Şekil 4.31). Bu durum kararlı durum simülasyon sonuçlarında (Bölüm 4.4.1) da tartışıldığı gibi, emisyon tahminlerine dahil edilemeyen doğrudan deşarjların İzmit Körfezi için önemli bir PAH kaynağı olduğunu gösteriyor olabilir. Model performansının sediment kompartmanı için bir miktar daha kötü olduğu merkez baseni için doğrudan deşarjların belirlenmesi daha da kritik önem taşımaktadır. Bununla beraber ölçüm

sayısının azlığı model performansının ayrıntılı değerlendirilmesine engel teşkil etmektedir. Sediment konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ihmali edilebilir düzeydedir (Şekil 4.32). Sediment örneklemelerinde örnekleme noktası sayısı artırılırken zamansal farklılık yerine mekânsal çeşitliliğe odaklanmak gözlem çalışmalarının verimliliğini ve etkinliğini artıracaktır.

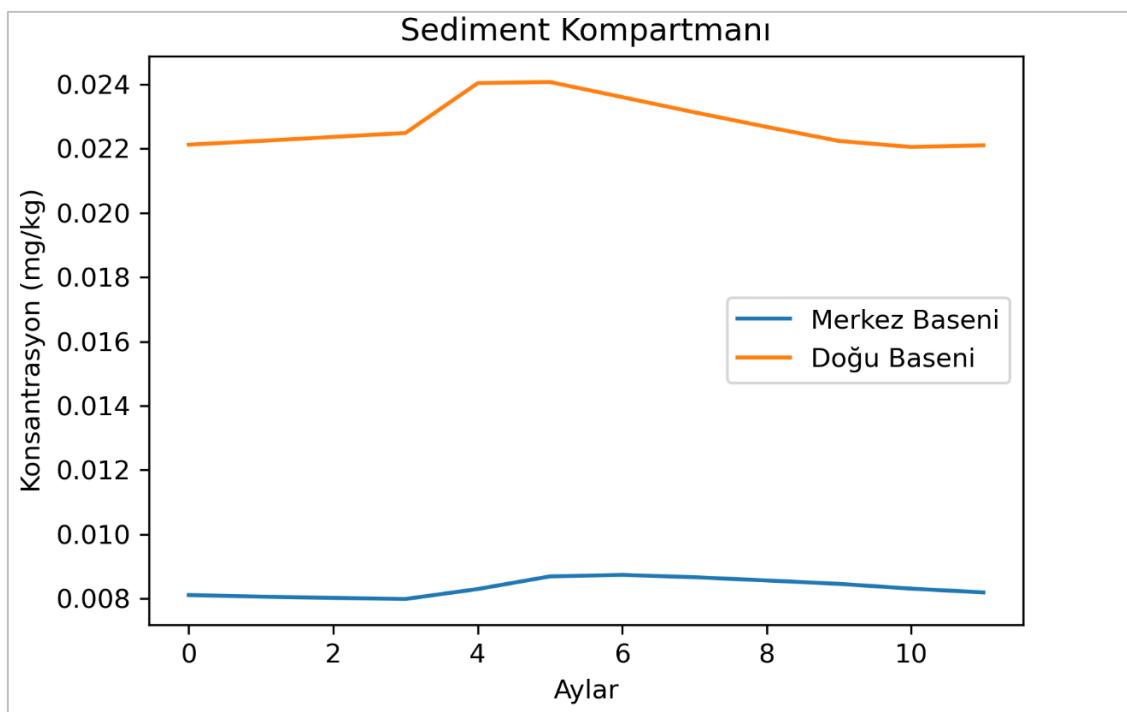
Sediment konsantrasyonlarının doğu baseninde merkez basenine göre daha yüksek modellendiği görülmektedir (Şekil 4.32). Bu durumun doğruluğunun gelecek saha çalışmaları ile daha kapsamlı araştırılması gerekmektedir. Bunu takiben, geliştirilen modelin de yardımı ile doğu baseni için sediment remediasyon alternatifleri değerlendirilebilir.



Şekil 4.30. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözleme göre karşılaştırılması (Merkez Basen - Sediment Kompartmanı)



Şekil 4.31. Benzo(a)piren dinamik simülasyon sonuçlarının gözlem sonuçları ile karşılaştırılması (Doğu Baseni – Sediment Kompartmanı)



Şekil 4.32. Dinamik simülasyon sonuçlarına göre Benzo(a)piren sediment konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

4.4.3. Monte Carlo Simülasyonları

Belirsizlik ve duyarlılık analizi amacıyla Bölüm 4.2'de (Model Girdilerinin Oluşturulması) sunulan girdi verileri ile kirleticilik açısından en önemli PAH bileşiklerinden Benzo(a)piren'in (BaP), İzmit Körfezi'ndeki akibetinin kararlı durum simülasyonu üzerinde Monte Carlo simülasyonları gerçekleştirılmıştır. Monte Carlo simülasyonları “runBaP_ss_U_QWASI_2BasinIzmit.py” dosyası çalıştırılarak gerçekleştirilebilir (URL-6).

Monte Carlo simülasyonları ile belirsizlik analizi yapmak üzere seçilen model girdi parametreleri aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.68). Söz konusu parametreler seçilirken, literatür, İzmit Körfezi'ne ait çevresel verilerdeki belirsizlik durumu ve ön modelleme çalışmaları (Hasanoğlu, 2019) göz önünde bulundurulmuştur. Parametrelerin k değerleri atanırken literatürde önerilen değerler kullanılmıştır. Körfeze özgü parametreler için ise literatürde benzer belirsizlikte olan parametreler için önerilen k değerleri kullanılmıştır. Belirsiz parametrelerin ana değerleri Bölüm 4.2'de (Model Girdilerinin Oluşturulması) sunulan girdi parametre değerleridir.

Monte Carlo simülasyonları girdi parametrelerinin %95 güvenilirlik aralığı alt ve üst sınır değerleri aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.69 - Tablo 4.70). Monte Carlo simülasyonları sonucunda elde edilen çıktı parametre setlerinden elde edilen %95 güvenilirlik aralığı alt ve üst sınır değerleri de aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.71). Çıktı parametreleri, üst deniz (1), alt deniz (2), ve sediment (3) kompartmanlarındaki toplam (bulk) konsantrasyon değerleridir.

Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen girdi ve çıktı parametre setleri kullanılarak, girdi ve çıktılar arasında Spearman Sıralama Korelasyon katsayıları (Spearman Rank Correlation Coefficient) hesaplanmıştır. Spearman sıralama korelasyon katsayılarının karelerini gösteren, ısı haritaları (heatmap) aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.33 - Şekil 4.34).

Model çıktı parametrelerindeki belirsizlik hesaba katıldığından dahi Benzo(a)piren için su kompartmanlarında gözlemlenen (bu çalışmada ölçülmüş) konsantrasyon değerlerinin genelde modellenen değerlerin altında kaldığı görülmektedir (Tablo 4.71). Kararlı durum

(Bölüm 4.4.1) ve dinamik simülasyon (Bölüm 4.4.2) sonuçlarının değerlendirilmesinde de tartışıldığı gibi, bu durum kompartmanlar arasında su dolaşımı verilerinin güncel olmamasından ve su kompartmanı ölçüm verilerinin sıklığının yetersizliğinden kaynaklanabilir. Sediment ölçüm değerleri ise çıktı değer aralıklarının üstünde kalmaktadır. Bu durum yine önceki bölümlerde tartışıldığı gibi toplam emisyon girdilerine dahil edilmemiş doğrudan deşarjların, toplam emisyon katkısının önemini bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Tablo 4.68. Belirsiz parametreler ve k değerleri

Model değişkeni	Parametre	k değeri	k değeri için kaynak
Çevresel parametreler			
fp1	Üst denizdeki partiküllerin hacim oranı	3	Macleod vd. 2002
fp2	Alt denizdeki partiküllerin hacim oranı	3	Macleod vd. 2002
partsett	Partikül çökelmesi (üst deniz) (m/h)	3	seddep ile aynı kabul edilmiştir.
seddep	Sediment çökelimi (alt deniz) (m/h)	3	Macleod vd. 2002
focs7	Sedimentteki katılarda bulunan organik karbonun kütle oranı	1,5	Macleod vd. 2002
fs7	Sedimentteki katıların hacim oranı	3	Macleod vd. 2002
rhos7	Sedimentteki katıların yoğunluğu (kg/m^3)	1,5	Macleod vd. 2002
sedburial	Sediment gömülmüş (m/sa)	3	Macleod vd. 2002
sedresup	Sediment resüspansiyonu (m/sa)	3	Macleod vd. 2002
h7	Ortalama sediment kompartmanı derinliği (m)	2	Macleod vd. 2002
tair2	Hava sıcaklığı (K)	1,1	varsayımdır (düşük belirsizlik)
Gup	Üst deniz kompartmanından çıkan su hızı (m^3/sa)	3	varsayımdır (yüksek belirsizlik)
Glow	Alt deniz kompartmanından çıkan su hızı (m^3/sa)	3	varsayımdır (yüksek belirsizlik)
Kimyasal parametreler			
logKaw	Hava-su paylaşım katsayısı	1,5	Macleod vd. 2002'deki buhar basıncı ve çözünürlük ile aynı k değeri
logKow	Oktanol-su paylaşım katsayısı	1,1	Macleod vd. 2002
halflife_sediment	Sedimentteki yarı-ömür	3	Macleod vd. 2002

Tablo 4.69. Belirsiz parametrelerin %95 güvenilirlik alt ve üst sınır değerleri (Merkez Basen)

Model değişkeni	Parametre	%95 Güvenilirlik	
		Alt sınır	Üst Sınır
Çevresel parametreler			
fp1	Üst denizdeki partiküllerin hacim oranı	3,20E-06	2,93E-05
fp2	Alt denizdeki partiküllerin hacim oranı	6,67E-06	5,92E-05
partsett	Partikül çökelmesi (üst deniz) (m/h)	3,25E-08	2,92E-07
seddep	Sediment çökelimi (alt deniz) (m/h)	3,25E-08	2,92E-07
focs7	Sedimentteki katılarda bulunan organik karbonun kütle oranı	2,08E-02	4,69E-02
fs7	Sedimentteki katıların hacim oranı	5,72E-05	5,11E-01
rhos7	Sedimentteki katıların yoğunluğu (kg/m ³)	9,69E+02	2,20E+03
sedburial	Sediment gömülümlü (m/sa)	1,18E-08	1,08E-07
sedresup	Sediment resüspansiyonu (m/sa)	1,32E-08	1,16E-07
h7	Ortalama sediment kompartmanı derinliği (m)	1,41E-02	5,67E-02
tair2	Hava sıcaklığı (K)	2,62E+02	3,16E+02
Gup	Üst deniz kompartmanından çıkan su hızı (m ³ /sa)	1,22E+06	1,06E+07
Glow	Alt deniz kompartmanından çıkan su hızı (m ³ /sa)	1,65E+06	1,54E+07
Kimyasal parametreler			
logKaw	Hava-su paylaşım katsayıısı	-4,87	-4,52
logKow	Oktanol-su paylaşım katsayıısı	5,43	6,59
halflife_sediment	Sedimentteki yarı-ömür (saat)	15583	146195

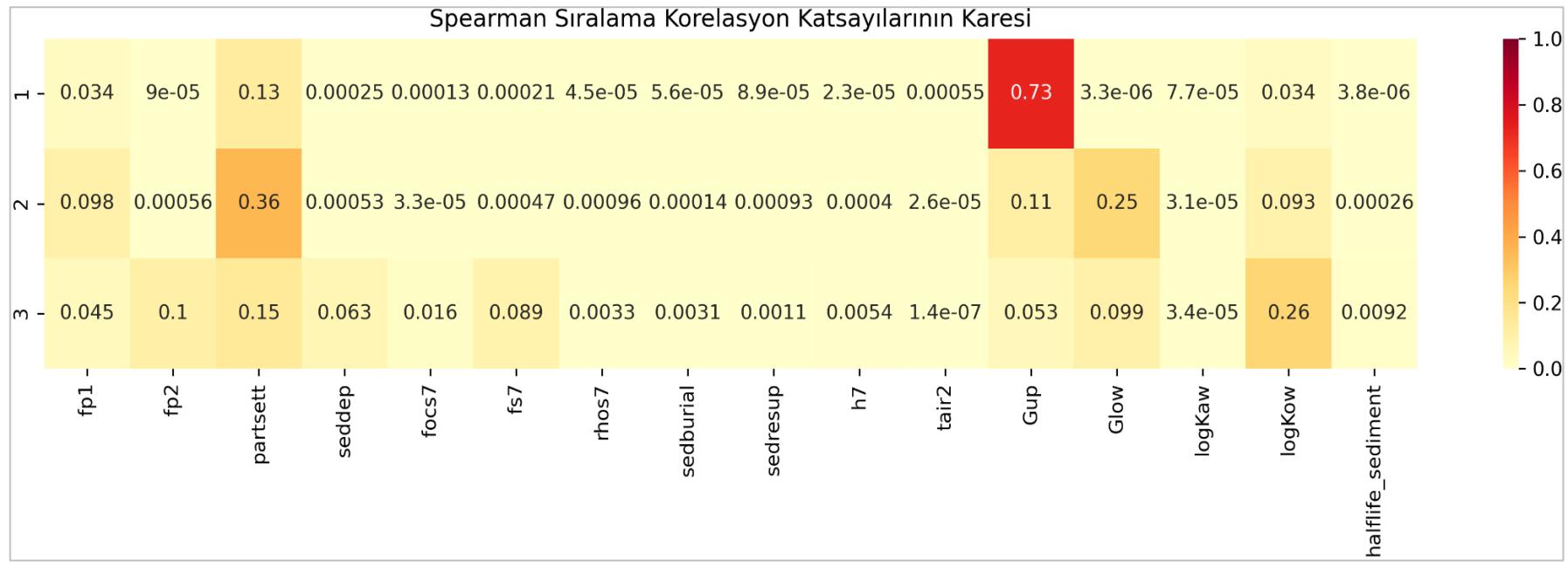
Tablo 4.70. Belirsiz parametrelerin %95 güvenilirlik alt ve üst sınır değerleri (Doğu Basen)

Model değişkeni	Parametre	%95 Güvenilirlik	
		Alt sınır	Üst Sınır
Çevresel parametreler			
fp1	Üst denizdeki partiküllerin hacim oranı	2,83E-06	2,59E-05
fp2	Alt denizdeki partiküllerin hacim oranı	6,50E-06	5,76E-05
partsett	Partikül çökelmesi (üst deniz) (m/h)	3,25E-08	2,92E-07
seddep	Sediment çökelimi (alt deniz) (m/h)	3,25E-08	2,89E-07
focs7	Sedimentteki katılarda bulunan organik karbonun kütle oranı	2,87E-02	6,45E-02
fs7	Sedimentteki katıların hacim oranı	5,72E-02	5,11E-01
rhos7	Sedimentteki katıların yoğunluğu (kg/m ³)	9,69E+02	2,20E+03
sedburial	Sediment gömülümlü (m/sa)	1,18E-08	1,08E-07
sedresup	Sediment resüspansiyonu (m/sa)	1,32E-08	1,16E-07
h7	Ortalama sediment kompartmanı derinliği (m)	1,41E-02	5,67E-02
tair2	Hava sıcaklığı (K)	2,62E+02	3,16E+02
Gup	Üst deniz kompartmanından çıkan su hızı (m ³ /sa)	-	-
Glow	Alt deniz kompartmanından çıkan su hızı (m ³ /sa)	-	-
Kimyasal parametreler			
logKaw	Hava-su paylaşım katsayısı	-4,87	-4,52
logKow	Oktanol-su paylaşım katsayısı	5,43	6,59
halflife_sediment	Sedimentteki yarı-ömür (saat)	15583	146195

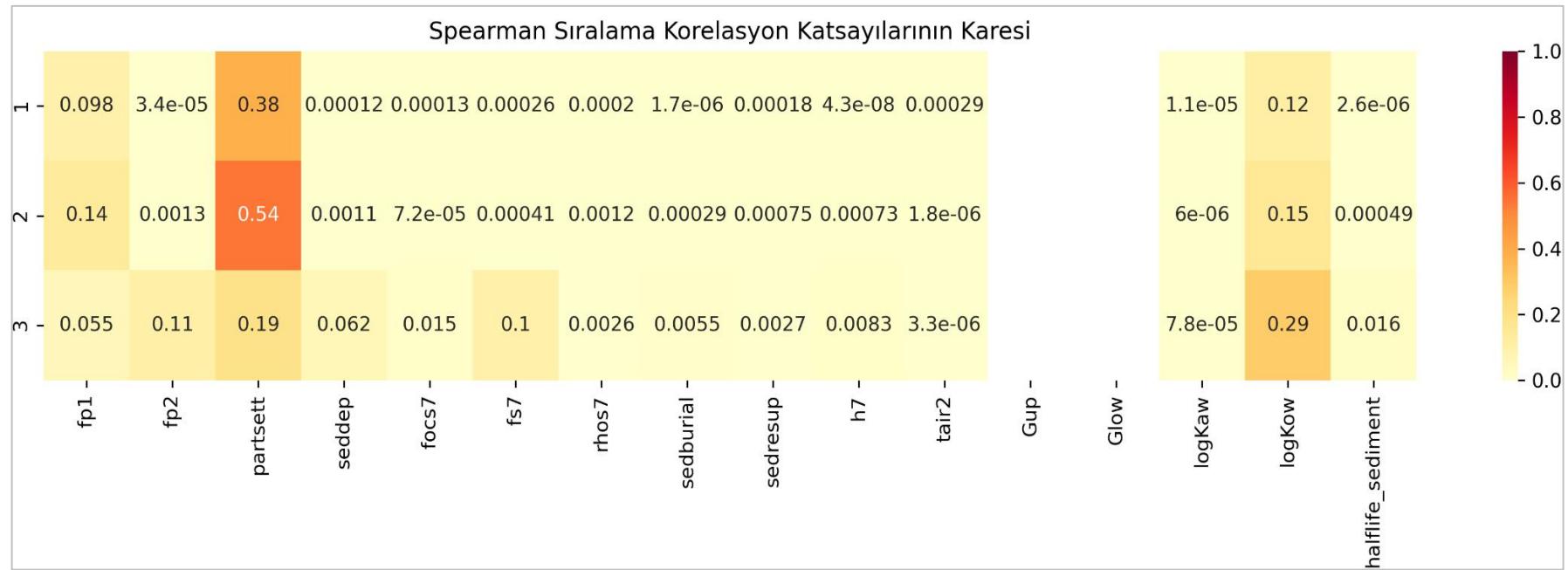
Tablo 4.71. Monte Carlo simülasyonları sonucunda elde edilen model çıktılarının %95 güvenilirlik alt ve üst sınır değerleri. (Benzo(a)piren)

Kompartman numarası	Parametre	%95 Güvenilirlik		Ölçüm Sonucu
		Alt sınır	Üst Sınır	
Merkez Basenİ				
1	Üst deniz kompartmanı toplam (bulk) konsantrasyonu (mg/m ³)	4,69E-03	2,15E-02	2,46E-04
2	Alt deniz kompartmanı toplam (bulk) konsantrasyonu (mg/m ³)	4,41E-04	5,82E-03	3,76E-04
3	Sediment kompartmanı toplam (bulk) konsantrasyonu (mg/kg)	4,76E-04	2,65E-02	1,80E-01
Doğu Basenİ				
1	Üst deniz kompartmanı toplam (bulk) konsantrasyonu (mg/m ³)	1,88E-02	4,10E-02	2,98E-03
2	Alt deniz kompartmanı toplam (bulk) konsantrasyonu (mg/m ³)	1,63E-03	1,49E-02	2,23E-02
3	Sediment kompartmanı toplam (bulk) konsantrasyonu (mg/kg)	2,27E-03	8,89E-02	1,15E-01

Duyarlılık analizi sonuçları su dolaşımı verilerinin önemini ortaya koymaktadır. Merkez basenİ için model çıktılarında belirsizlige en çok katkı yapan parametre üst ve alt su kompartmanlarından batı basenine su akış değeridir (Gup ve Glow) (Şekil 4.33 - Şekil 4.34). Doğu baseninde partikül maddelerinin su kolonunda çökelme hızı parametresinin (partsett), su kompartmanları için model çıktılarında belirsizlige en çok katkı yapan parametre olduğu görülmektedir (Şekil 4.34). Doğu ve merkez basenleri sediment kompartmanları için duyarlılık analizi sonuçları, birlikte değerlendirildiğinde partikül maddeye bağlı akibet parametrelerinin (logKow, fp2, seddep) diğer kritik parametre grubu olduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.33 - Şekil 4.34). Model sonuçlarında belirsizliğin azaltılması ve modelin gerçek durumu temsil etme yeteneğinin artırılması için bu parametre değerlerinin hassasiyetle belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.33. Monte Carlo simülasyonları sonucu elde edilen model girdi ve çıktı parametre setleri arasında Spearman sıralama korelasyon katsayılarının karesi (Merkez Basen) (Benzo(a)piren)



Şekil 4.34. Monte Carlo simülasyonları sonucu elde edilen model girdi ve çıktı parametre setleri arasında Spearman sıralama korelasyon katsayılarının karesi (Doğu Basen) (Benzo(a)piren)

4.5. Model Uygulamaları

İzmit Körfezi için geliştirilen akibet modelinin, çevre yönetimi sorunlarına uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, farklı çevre kirliliği senaryolarının simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Her bir uygulamanın kısa açıklaması ve model kaynak koduyla birlikte sunulan çalışma dosyasının adı Tablo 4.72'de verilmiştir. Model kaynak kodlarına; model ile ilgili program kodlarının, çevresel ve kimyasal özelliklerin, model için gerekli girdi verilerinin, model üzerinde çalıştırılabilen simülasyon dosyalarının yer aldığı adres (URL-6) ulaşılabilir.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan uygulamalar çalıştırılıp daha detaylı incelemeler yapılmak istenirse veya hazırlanan senaryolar üzerinde değişiklikler yapılarak yeni analizler gerçekleştirilmek istenirse uygulamalar çalıştırılıp kullanılabilir.

Tablo 4.72. Model uygulama senaryoları ve çalışma dosyaları

Senaryo	Açıklama	Çalıştırma dosyası
İzmit Körfezi'nde PAH yüklemelerinin tahmini	İzmit Körfezi merkez basenine doğrudan deşarjla krisen girdilerini tahmin etmek amacıyla körfez akibet modeli ile kararlı durum simülasyonları	runKri_ss_QWASI_2BasinIzmit.py
İzmit Körfezi'nde PAH kirliliği remediasyonu için sediment örtüsü yönteminin etkinliğinin incelenmesi	İzmit Körfezi'nde PAH kirliliğinin remediasyonu için mevcut kırıcı sedimentlerin bir kısmının temiz sedimentler ile kaplanması gelecekteki benzo(a)piren konsantrasyonlarını nasıl etkileyeceğini incelemek üzere dinamik model simülasyonları	runBaP_dyn_SedCap0.py runBaP_dyn_SedCap10E.py runBaP_dyn_SedCap50E.py runBaP_dyn_SedCap100E.py runBaP_dyn_SedCap100E10W.py

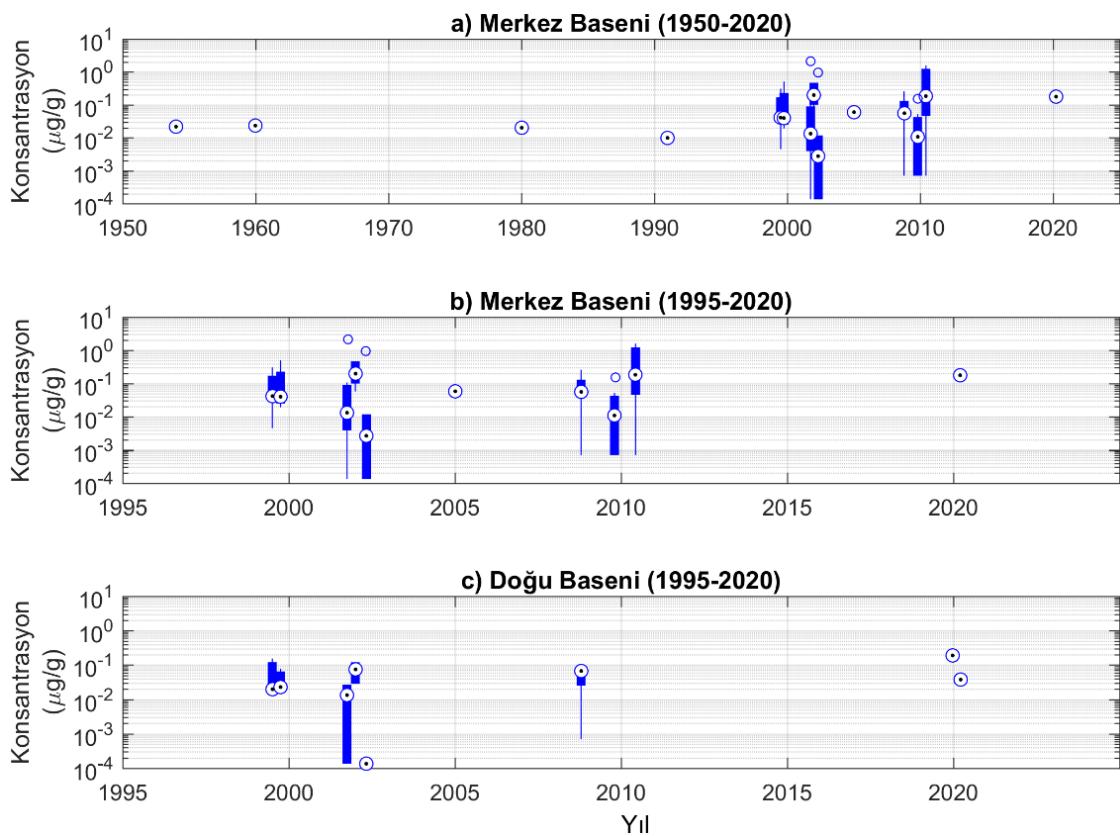
4.5.1. İzmit Körfezi’nde PAH Yüklemelerinin Tahmini

İzmit Körfezi sedimentlerinde geçmişen günümüze PAH konsantrasyonlarının değişimi, İzmit Körfezi’ne PAH yüklemelerinin tarihsel değişiminin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da benzo(a)piren ve krisen bileşikleri için literatürde bulunan geçmiş tarihli çalışmalarla belirlenmiş tüm sediment konsantrasyonu verileri, bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalarla belirlenmiş konsantrasyon verileri ile birlikte, gerçek ölçüm zamanlarına dikkat edilerek bir araya getirilmiştir. Bu iki PAH bileşiginin sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimini gösteren kutu grafikleri incelendiğinde, 1950’li yıllarda bugüne belirli bir artış ya da azalış eğiliminin olmadığı görülmektedir. Sınırlı sayıda çalışma ile belirlenmiş olsa da sediment konsantrasyonlarının yıllar içinde sabit bir değerin etrafında kalmış olması körfeze yapılan benzo(a)piren ve krisen yüklemelerinin de zaman içinde belli bir sabit değerin etrafında kalmış olabileceğini göstermektedir. Nitekim Giuliani ve diğ., (2017) merkez baseninden aldıkları sediment göbeği üzerinde yaptıkları analizler sonucu 1980 öncesi ve 1999 sonrasında körfeze, benzer miktarda PAH yüklemeleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

1999 depreminin yarattığı karışım nedeniyle 1980-1999 yılları arasındaki sediment kirliliği kayıtları silinmiş olduğundan, Giuliani ve diğ., (2017) bu zaman aralığı için Morkoç ve diğ., (2001) ve Telli-Karakoç ve diğ., (2002a) çalışmalarına dayanarak önemli bir değişikliğe uğramayan yüklemeler (endüstriyel yüklemelerdeki azalmanın şehirleşmeye dayalı yüklemeler ile dengelenmesi) senaryosunu önermiştir. Ergül ve diğ., (2011) çalışması ve bu proje kapsamında üretilmiş olan sediment konsantrasyonu verileri de bu iki PAH bileşiginin körfez yüklemelerinde 2005’ten günümüze önemli bir değişimin olmadığını ortaya koymuştur.

İzmit Körfezi merkez ve doğu basenleri sedimentlerdeki benzo(a)piren ve krisen konsantrasyonlarının yıllar içerisinde sabit değerler etrafında seyretmiş olmasının sebebi, körfeze yapılan benzo(a)piren ve krisen yüklemelerinin, bu iki kimyasalın bozunum süreleri ile dengelenmiş olması olabilir.

Benzo(a)piren (sediment)



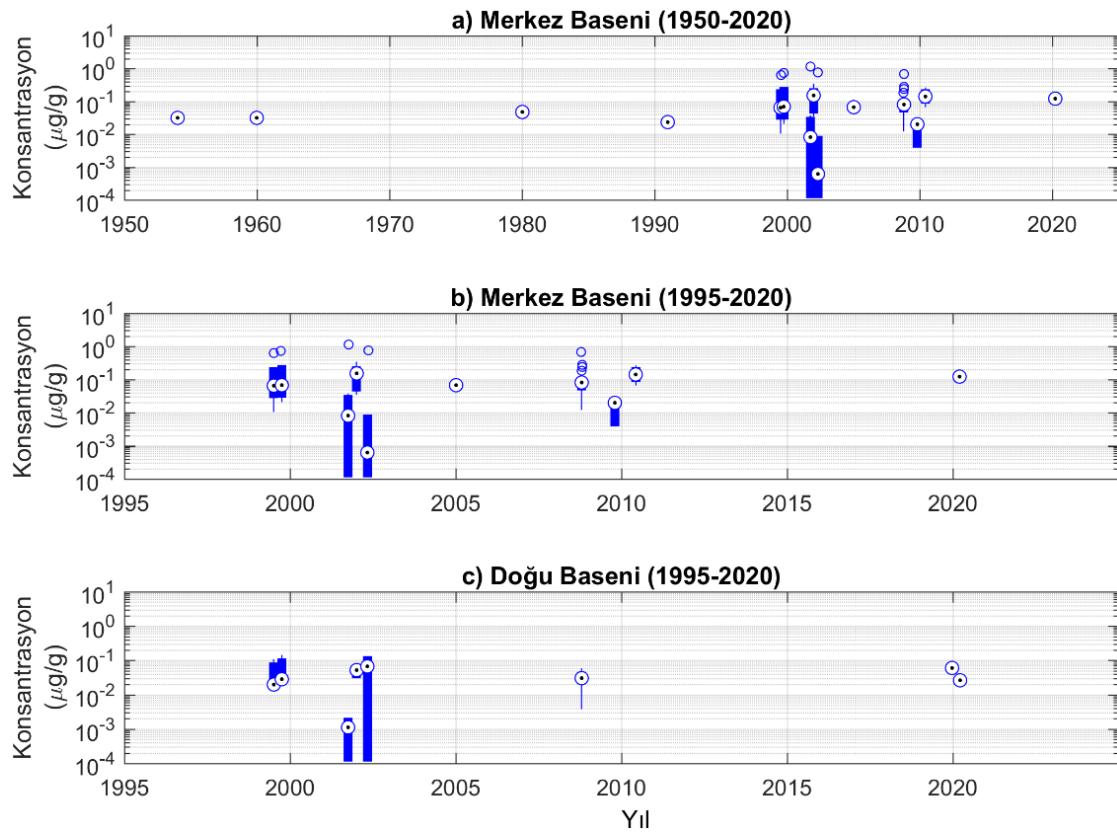
Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil 4.35. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) benzo(a)piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Mevcut sediment konsantrasyonu verileri, benzo(a)piren ve krisenin körfəz yüklemelerinin uzun yıllar içerisinde önemli bir değişikliğe uğramadığını ve sabit bir değer etrafında dalgalandığı varsayıminın makul olabileceğine işaret etmektedir. Bu varsayıma dayanarak çalışma kapsamında geliştirilen körfəz akıbet modeli kullanılarak benzo(a)piren ve krisenin İzmit Körfezi yüklemelerinin uzun yıllar ortalamasının tahmin edilmesine yönelik model uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4.2'de (Model Girdilerinin Oluşturulması) açıklandığı üzere çalışma kapsamında gerçekleştirilen saha çalışmaları ve laboratuvar analizleri sonuçları kullanılarak İzmit Körfezi'ne PAH yüklemeleri hesaplanmıştır.

Krisen (sediment)



Not: 1995 önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianyi ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil 4.36. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) krisen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Bu hesaplamalar atmosfer ve karasal yayılı kaynakların PAH yüklemelerine toplam katkısını tahmin etmektedir. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen emisyon verileri ile çalıştırılan körfez akıbet modeli ile elde edilen sediment konsantrasyonu verileri ve Şekil 4.35 ve Şekil 4.36 verilmiş olan, geçmişten günümüze yapılmış tüm gözlem çalışmalarında elde edilmiş sediment konsantrasyonu verilerine ait istatistikler Tablo 4.73'de benzo(a)piren ve krisen için karşılaştırılmıştır. Tablo 4.73, geçmişte yapılmış çalışmalar sonucu elde edilmiş değerler ile bu çalışmada yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen emisyon verilerinin özeti olarak nitelendirilebilir.

Tablo 4.73. Benzo(a)piren ve krisen sediment konsantrasyonları için uzun yıllar gözlem verilerine (Şekil 4.35 - Şekil 4.36) ait istatistikler ve proje kapsamındaki çalışmalar ve hesaplanan atmosferik ve karasal girdiler ile çalıştırılan akibet modelince hesaplanan sediment konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Gözlem ng/g	Benzo(a)piren		Krisen		
	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	
	Minimum	0,13	0,13	0,11	
	Maksimum	2122,90	192,61	1154,80	144,70
	Ortanca	41,30	30,22	44,74	28,75
	Aritmetik ortalama	148,30	51,96	121,94	40,83
	Geometrik ortalama	28,18	16,70	31,56	18,53
Atmosfer ve karasal yayılı kaynak emisyonları ile elde edilen model sonucu	40,14	157,95	13,76	21,69	
Tahmin edilen toplam emisyon değeri ile elde edilen model sonucu	40,14	157,95	31,60	53,43	

Tablo 4.73 incelendiğinde benzo(a)piren için elde edilen sediment konsantrasyonu model sonuçlarının, merkez baseni için gözlem verileri ile uyumlu olduğu söylenebilir. Doğu baseni için hesaplanan sediment konsantrasyonları ise ölçülen değerlere ait sınırlar içerisinde kalmakla birlikte ortalama değerlerden yüksek olmuştur. Bu durumda benzo(a)piren için doğrudan deşarjla körfeze yapılan yüklemelerin, atmosferik ve karasal yayılı kaynaklardan yapılan yüklemeler yanında düşük miktarda kaldığı söylenebilir. Benzo(a)piren için toplam yüklemelerin uzun yıllar ortalamasının merkez basen için 0,114 mol/saat, doğu baseni için 0,01 mol/saat olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.74).

Tablo 4.73 incelendiğinde krisen için elde edilen sediment konsantrasyonu model sonuçlarının, merkez baseni için ölçülmüş konsantrasyon değerlerinden düşük kaldığı görülmektedir. Doğu baseni için hesaplanan sediment konsantrasyonlarının ise gözlem

verileri ile uyumlu olduğu söylenebilir. Bu durumda krisen için merkez basene doğrudan deşarjla körfeze yapılan yüklemelerin, atmosferik ve karasal yayılı kaynaklardan yapılan yüklemelere kıyasla ihmal edilemeyecek büyülükté olduğu söylenebilir. Merkez baseni kıyılarında petrol rafinerisinin ve çok sayıda limanının varlığı bu çıkarımı kuvvetlendirmektedir.

Merkez basenine doğrudan deşarjla krisen girdilerini tahmin etmek amacıyla körfez akıbet modeli ile kararlı durum simülasyonları gerçekleştirılmıştır. Atmosfer ve karasal yayılı kaynaklardan geldiği hesaplanan yüklemelere ek olarak merkez baseninden doğrudan deşarjla üst deniz kompartmanına farklı miktarda krisen girdisi ile tekrarlanan simülasyonların sonuçları, gözlemlenmiş sediment konsantrasyonu değerleri ile karşılaştırılmış ve olası toplam emisyon değeri tahmin edilmiştir (Tablo 4.73, Tablo 4.74). Krisen için merkez basenine ortalama olarak 0,319 mol/saatlik bir doğrudan deşarjin olduğu hesaplanmıştır. Bu miktar merkez basenine yapılan toplam yüklemelerin yaklaşık %87'sini oluşturmaktadır. Merkez basenine doğrudan krisen deşarjlarının yüksek olması endişe vericidir. Körfeze doğrudan PAH deşarjı yapabilecek kaynakların (endüstriyel arıtma tesisleri, yük gemileri atıkları, petrol kazaları vb.) öncelikle belirlenmesi ve deşarjları engelleyecek önlemlerin alınması gereklidir.

Tablo 4.74. Model simülasyonları sonucu tahmin edilen benzo(a)piren ve krisen yüklemeleri

	mol/saat	Benzo(a)piren		Krisen	
		Merkez	Doğu	Merkez	Doğu
Atmosfer ve karasal yayılı kaynak emisyonları		0,114	0,010	0,047	0,0162
Tahmin edilen doğrudan deşarj miktarı		0	0	0,319	0
Toplam emisyon		0,114	0,010	0,366	0,0162

4.5.2. İzmit Körfezi’nde PAH Kirliliği Remediasyonu İçin Sediment Örtüsü Yönteminin Etkinliğinin İncelenmesi

Bu uygulamada İzmit Körfezi’nde PAH kirliliğinin remediasyonu için mevcut kirli sedimentlerin bir kısmının aynı karakteristiklerde (aynı partikül oranı, yoğunluk, organik karbon içeriğine sahip) temiz sedimentler ile kaplanmasıının gelecekteki PAH konsantrasyonlarını nasıl etkileyeceği model simülasyonları ile incelenmiştir. Uygulama kapsamında farklı körfez alt-bölgelerinin (doğu, merkez) farklı oranlarda (%10, %50, %100) temiz sedimentlerle örtülmesi senaryoları simüle edilmiştir. Simüle edilen toplam 5 senaryo ve açıklaması Tablo 4.75’de verilmiştir. Geniş alana ve derin çukurlara sahip merkez baseninde sediment örtüsü uygulamasının sadece sıç kıyı alanlara uygulanabileceği, doğu baseninin ise tamamının uygulamaya elverişli olduğu varsayılmıştır.

Beş ayrı senaryo için 15 yıllık dinamik simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda mevsimsel değişiklikler yerine yıllar içerisindeki konsantrasyon değişikliklerine odaklanılmıştır. Bu sebeple mevsimsel parametreler ve körfezde su dolaşımı verileri için yıllık ortalama değerler kullanılmıştır. Sediment örtüsü uygulaması zamanlaması için simülasyonların 6. yılı seçilmiştir. Sediment örtüsü uygulamaları 6. yılın başında, sediment kompartmanındaki PAH miktarının örtü uygulaması oranında azaltılması ile simüle edilmiştir. Simülasyonlar benzo(a)piren bileşiği için gerçekleştirilmiştir.

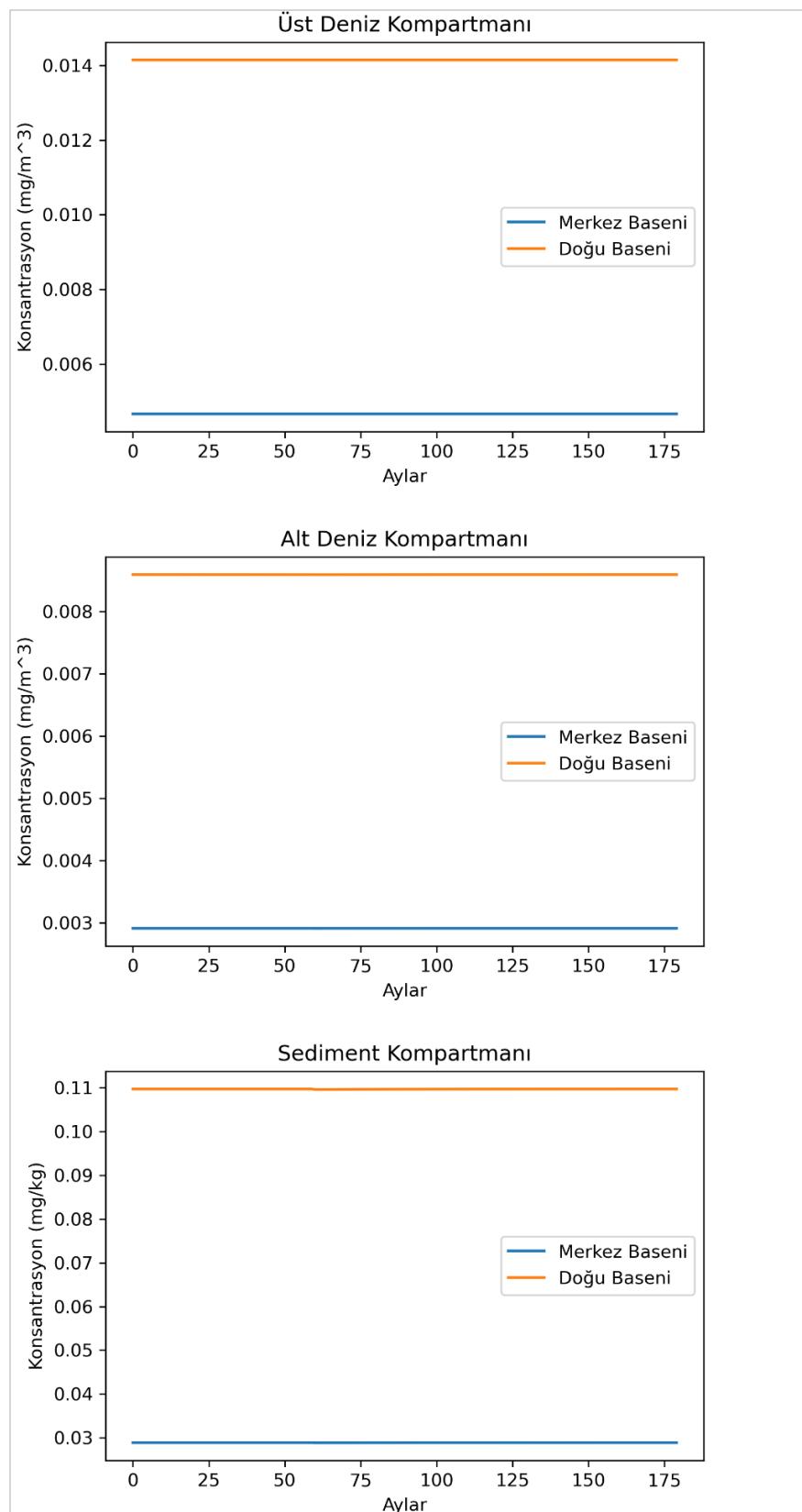
Senaryo 0 için simülasyon sonuçları Şekil 4.37’de, Senaryo 1 için simülasyon sonuçları Şekil 4.38’de, Senaryo 2 için simülasyon sonuçları Şekil 4.39’da, Senaryo 3 için simülasyon sonuçları Şekil 4.40’ta ve Senaryo 4 için simülasyon sonuçları Şekil 4.41’de verilmiştir.

Sediment örtüsü uygulamasının yapıldığı alan arttıkça sediment ve deniz kompartmanlarındaki benzo(a)piren konsantrasyonlarında daha belirgin düşüşler olduğu görülmektedir. Ancak doğu basenindeki uygulamanın, yüksek alanları kapsadığı durumda dahi, merkez basenine çok kısıtlı bir etkisi olmaktadır.

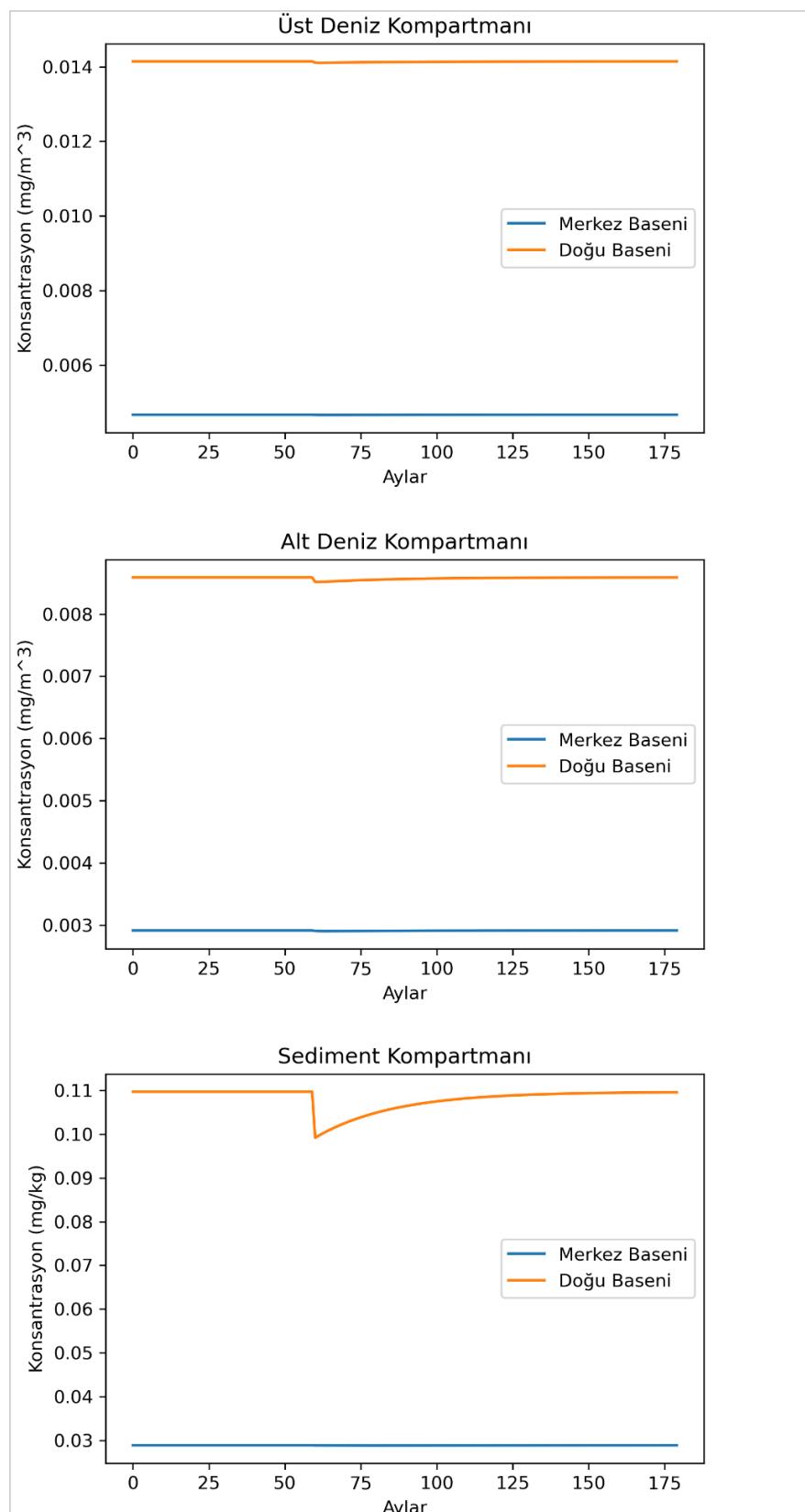
Tablo 4.75. Sediment örtüsü uygulama senaryoları

Senaryo	Örtü Oranı		Açıklama
	Doğu Baseni	Merkez Baseni	
Senaryo 0	%0	%0	Sediment örtüsü uygulaması yok
Senaryo 1	%10	%0	Doğu baseni sıg kıyı bölgelerine sediment örtüsü uygulaması
Senaryo 2	%50	%0	Doğu basenine önemli oranda sediment örtüsü uygulaması
Senaryo 3	%100	%0	Doğu baseninin tamamına sediment örtüsü uygulaması
Senaryo 4	%100	%10	Doğu baseninin tamamına ve merkez baseninin sıg kıyı bölgelerine sediment örtüsü uygulaması

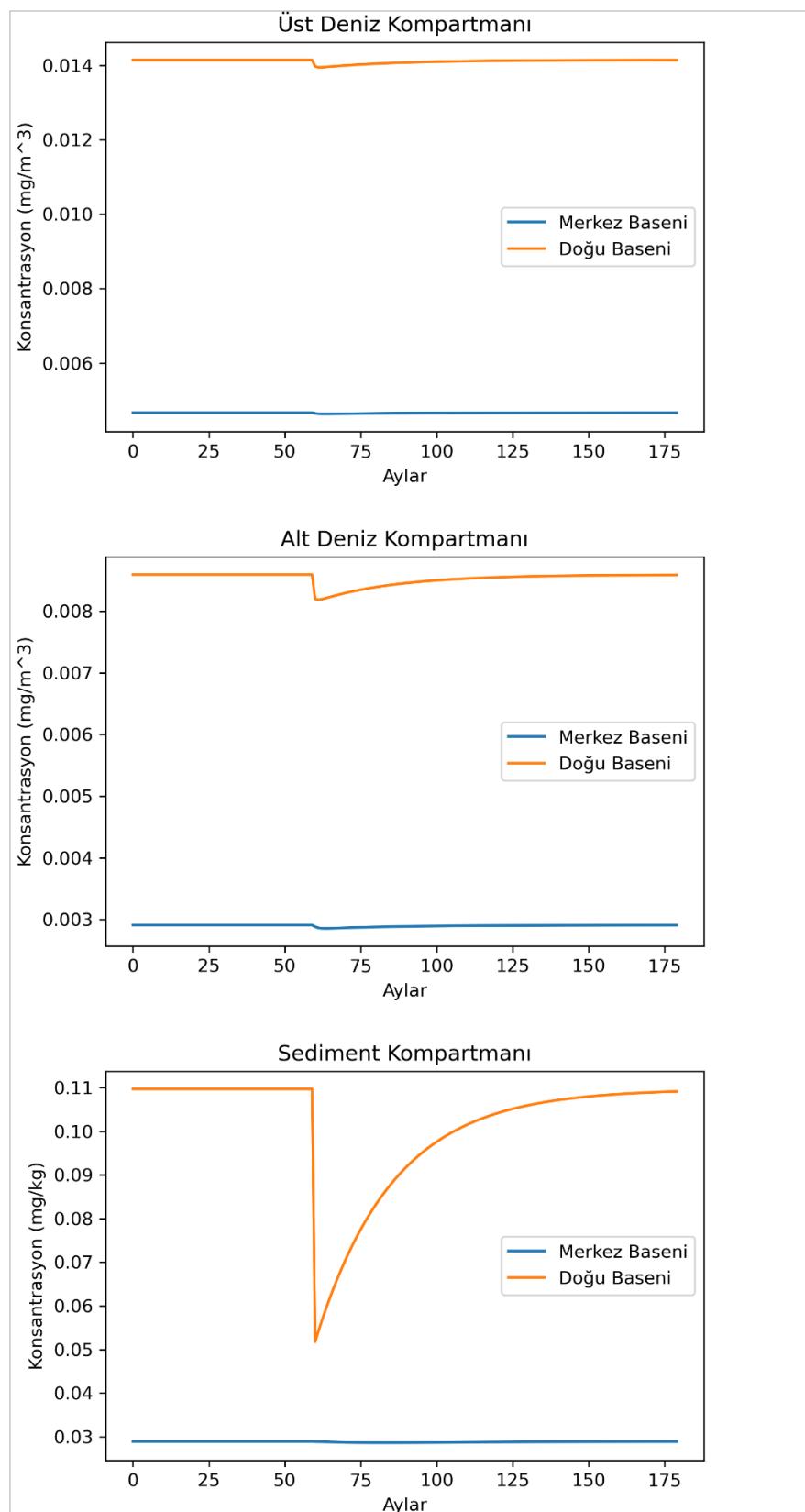
Sediment örtüsü uygulamasının etkisi alt deniz kompartmanlarında daha belirgin olmaktadır. Ancak sedimentte doğrudan ilişkisi olmayan ve emisyonların hemen tamamını doğrudan alan üst deniz kompartmanında, çok daha düşük bir etki görülmektedir. Tüm uygulama senaryolarında, emisyon girdileri sediment uygulaması öncesi ve sonrasında aynı miktarda devam etmektedir. Bunun sonucu olarak uygulama sonrasında kompartman konsantrasyonlarında ne kadar büyük bir düşüş yaşanmış olsa da yaklaşık 10 yıl içerisinde kompartman konsantrasyonlarının uygulama öncesi seviyelere geri döndüğü görülmektedir. Bu sonuçlar, İzmit Körfezi’nde sediment örtüsü uygulamasının, PAH yüklerinde bir azalma olmadan uygulanmasının anlamlı olmayacağı göstermektedir. Saloranta ve diğ., (2008) benzer bir analizi Norveç fiyortları ve PCDD/F kirleticileri için gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışma, bölgedeki PCDD/F emisyonlarının sıfırlanmasının ardından gerçekleştirilmiştir ve fiyort dip sedimentlerinin ikincil bir kirlilik kaynağı olarak davranışının önüne geçmek üzere sediment örtüsü uygulamasının kalıcı olumlu etkileri olabileceğini göstermektedir. İzmit Körfezi’nde de emisyonları sıfırlanmış ya da önemli ölçüde azaltılmış kirleticiler için sediment örtüsü uygulaması etkili bir remediasyon yöntemi olabilir.



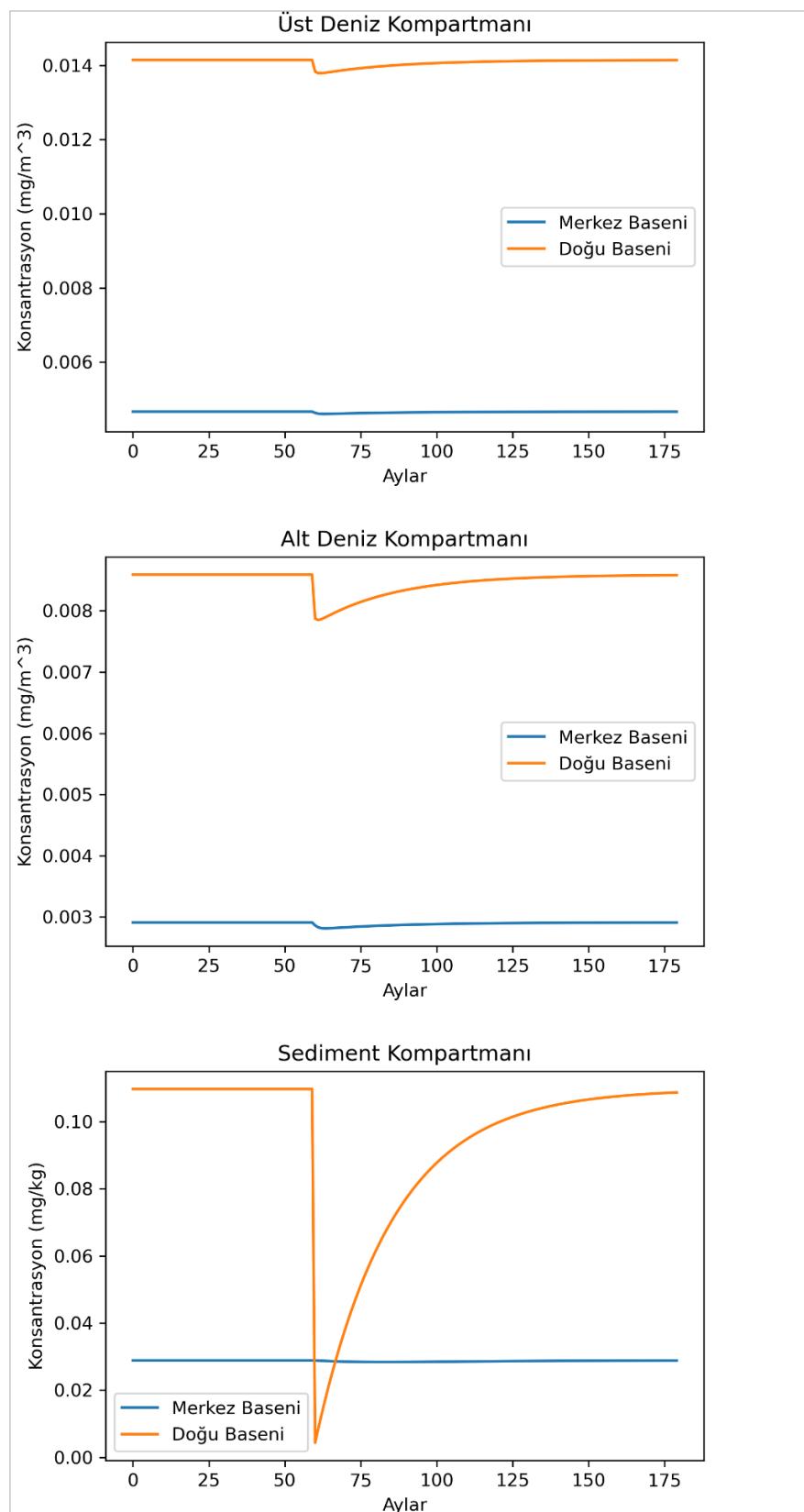
Şekil 4.37. Sediment örtüsü uygulamasının yapılmadığı simülasyon sonuçları (Senaryo 0)



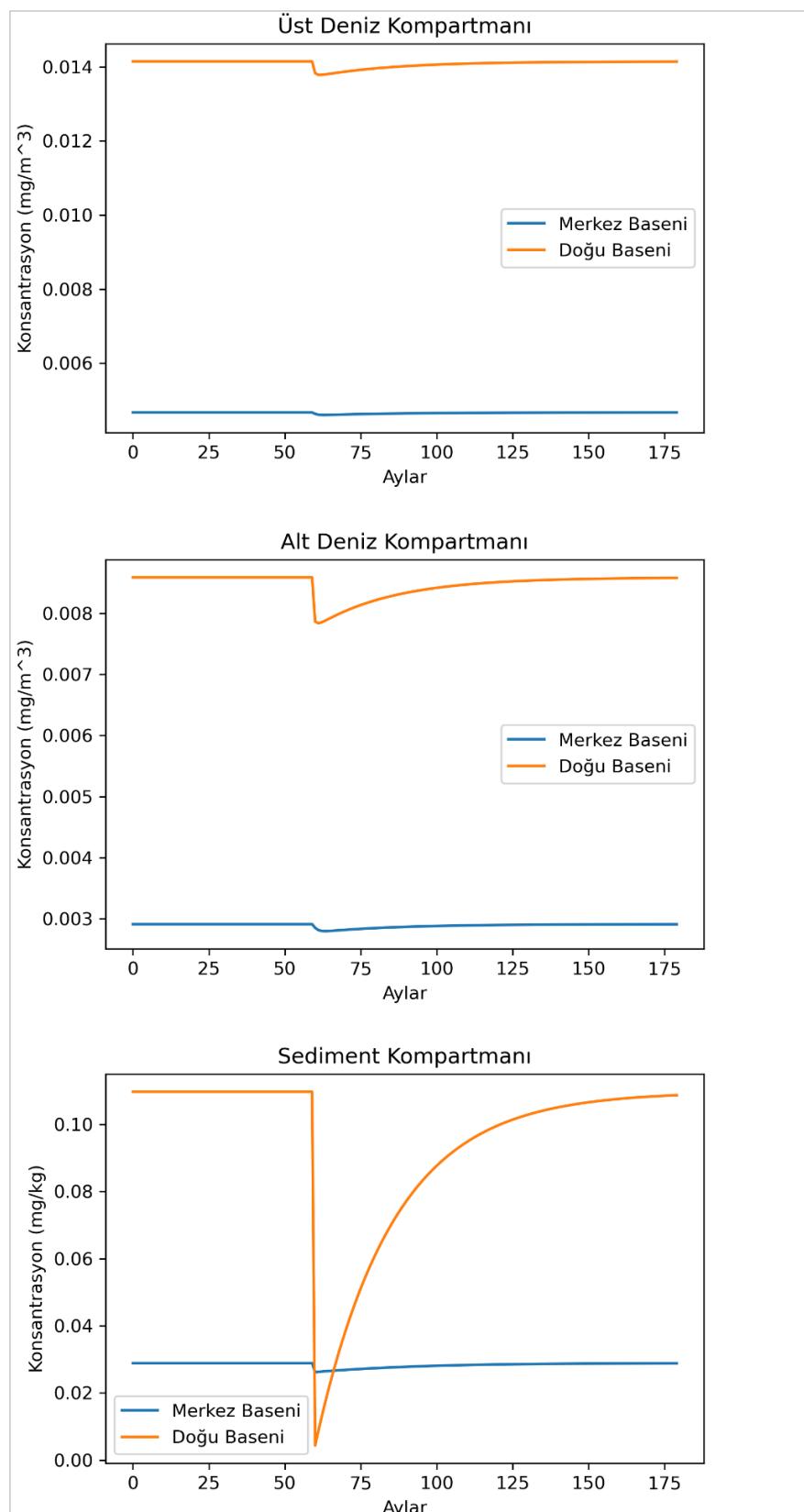
Şekil 4.38. Doğu basenİ sığ kıyı bölgelerine sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 1)



Şekil 4.39. Doğu basenine önemli oranda sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 2)



Şekil 4.40. Doğu baseninin tamamına sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 3)



Şekil 4.41. Doğu baseninin tamamına ve merkez baseninin sığ kıyı bölgelerine sediment örtüsü uygulaması simülasyon sonuçları (Senaryo 4)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda İzmit Körfezi’nde PAH kirliliğinin bütüncül bir analizi sunulmuştur. Çok-ortamlı kütle dengesi modelleme metodolojisi kullanılarak, İzmit Körfezi’nin çevresel özellikleri ve İzmit Körfezi’nde PAH kirliliğinin seviye ve kaynak tespiti çalışmaları ile PAH sınıfı kimyasalların çevresel ortamlardaki akibeti hakkındaki evrensel bilgi birikimi bir araya getirilmiştir.

İzmit Körfezi için geniş kapsamlı bir çevresel veri seti hazırlanmıştır. Bu veri seti körfezin fiziksel, coğrafi, meteorolojik, hidrolojik ve oşinografik özelliklerini mevcut bilgi birikimini bir araya getirmiştir. Bu veri tabanı, ileride İzmit Körfezi’nde yapılacak çevresel araştırmalar için değerli bir kaynak olacaktır.

Çalışma kapsamında bir yıldan uzun bir süre boyunca İzmit Körfezi’nin hava, su ve sediment kompartmanlarında saha çalışmaları gerçekleştirilmiş ve saha çalışmaları sonucunda elde edilen örneklerde laboratuvar analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda PAH kirleticilerinin seviyeleri ölçülmüştür. Hava kompartmanındaki izleme çalışmaları, atmosferik PAH konsantrasyonlarının yanında kuru ve yaş çökelme akılarını da belirlemiştir. Bunun yanında körfeze ulaşan en önemli akarsularda yapılan ölçümeler ile de körfeze, yüzey suları ile taşınan PAH yükü belirlenmiştir. Bu ölçüm çalışmaları sonucu, İzmit Körfezi kirliliğini etkileyebilecek bütün kompartmanlar için günümüzdeki PAH kirliliği seviyesi ve PAH yüklemeleri tespit edilmiştir. Tespit edilen PAH kirliliği seviyesinin, İzmit Körfezi’ndeki canlı yaşamı için olası tehlikeleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu izleme çalışmaları ile belirlenen atmosferdeki partikül madde konsantrasyonları, körfez sularındaki askıda katı madde miktarı, askıda katı maddelerin ve körfez sedimentlerinin organik karbon içeriği, yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen akibet modeli ve gelecekteki benzer modeller için kritik veriler sağlamıştır.

İzmit Körfezi için geliştirilen PAH akibeti modeli için fugasite yaklaşımı ve çok-ortamlı kütle dengesi modelleme metodolojisi temel alınmıştır. Dünyada yaygın kullanım alanı bulmuş bu çevresel kirlilik modelleme yaklaşımı ilk kez Türkiye’ye uyarlanmıştır. İzmit Körfezi, yoğun kirlilik tehdidi altında olması sebebiyle Türkiye’de çevre kirliliği araştırmalarına konu olmuş bir bölgedir. Buna rağmen, özellikle organik ve inorganik kalıcı kirleticilerin seviye ve kaynak tespiti için sürekli ve kapsamlı gözlem programları

henüz oluşturulmamıştır. Bu durum bölgede modelleme çalışması yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu şartlar altında yapılan bu modelleme çalışması, veri eksikliği problemini çözmek için sistemli bir hassasiyet ve belirsizlik analizi de içermiştir. Monte Carlo simülasyonları aracılığı ile model belirsizliğinin niceliksel analizi yapılmıştır. Model parametrelerindeki belirsizliğin model sonuçlarındaki belirsizliğe katkısı hesaplanmıştır. Global hassasiyet analiz yöntemleri ile model sonuçlarına en büyük etkiye yapan model parametreleri belirlenmiştir. Bu kapsamlı analizler ile model sonuçlarının güvenilirliği ve modelin İzmit Körfezi’ni ne derece temsil ettiği nicel olarak ortaya konulmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen model, Python programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Körfez sistemlerine özgü kompartman ve akibet süreçlerini, çok-ortamlı kirlilik modelleme metodolojisi yardımıyla analiz edebilecek yeni bir açık kaynak kodlu program üretilmiştir. Ayrıca belirsizlik ve hassasiyet analizleri için üretilen modüller, model programına entegre edilmiş ve çevresel modelleme çalışmalarının bu çok önemli aşamasının uygulanabilirliği kolaylaştırılmıştır. Model kaynak kodu yayınlanarak bu konularda çalışan araştırmacıların ve eğitimcilerin kullanımına sunulmuştur.

Ayrıca, çalışma sırasında elde edilen bilgi birikimi, İzmit Körfezi’nde diğer organik (örn. PCB, PCDD/F) ve inorganik kirleticilerin akibet ve taşınımı için geliştirilecek çok-ortamlı akibet modellerinin ve/veya kimyasal taşınım modellerinin altyapısını oluşturacaktır. Geliştirilen modelleme metodolojisinin daha geniş coğrafi bölgelere (örn. Kocaeli Bölgesi, Marmara Bölgesi) uyarlanması mümkündür.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen gözlem ve model simülasyon çalışmalarının ardından yapılan değerlendirmelerde, İzmit Körfezi’nde PAH ve diğer kimyasal kirleticilerin akibetini modellemede, belirsizliğin ve bilgi/veri eksikliklerinin azaltılması için yapılması önerilen çalışmalar aşağıda listelenmiştir:

- İzmit Körfezi’ne PAH girdilerinin önemli miktarı (atmosferik girdiler, karasal yayılı kaynaklardan girdiler) bu çalışmada belirlenmiştir. Ancak model sonuçları doğrudan deşarjların da göz ardı edilemeyecek önemde olduğunu göstermiştir. İzmit Körfezi’ne doğrudan PAH deşarjlarının (evsel ve endüstriyel atık sular, gemi trafiği kaynaklı emisyonlar, vb.) belirlenmesi için saha ve modelleme çalışmaları gerçekleştirilmelidir.

- İzmit Körfezi su kompartmanlarına ait kararlı durum model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması, bazı PAH bileşikleri için çözümü ve partikül faz arasında paylaşımın dengeye ulaşamamakta olabileceği işaret etmektedir. Deniz suyunda çözünmüş faz ve partikül faz arasında PAH bileşikleri paylaşımının kinetiğinin daha iyi anlaşılabilmesi için teorik çalışmalar, laboratuvar ve modelleme çalışmaları gerçekleştirilmelidir.
- İzmit Körfezi’nde organik kimyasal kirliliğinin mevsimsel değişiminin ortaya konulabilmesi için deniz suyu örneklemelerinin en az ayda bir olacak sıklıkta ve körfez basenlerinin farklı noktalarından olacak şekilde yapılması gereklidir.
- İzmit Körfezi’nde kirletici akibet ve taşınımının mevsimsel değişiminin ortaya konulabilmesi için körfezde basenler arası ve tabakalar arası su dolaşımının en az aylık zamansal çözünürlükte modellenmesi gereklidir. Daha yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüğe sahip bir hidrodinamik model ise daha ayrıntılı simülasyonların yapılmasına olanak sağlayacaktır.
- İzmit Körfezi’nde organik kirleticilerin akibet ve taşınımını modellemede belirsizliğin azaltılması için en az aylık çözünürlükte veri sağlayacak ve tabakalar ve basenler arası sediment taşınımı için doğru veriler üretecek bir sediment modeline ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abbası, Y., Mannaerts, C. M. (2020). Exploring the Environmental Exposure to Methoxychlor, α -hch and Endosulfan–Sulfate Residues in Lake Naivasha (Kenya) Using a Multimedia Fate Modeling Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2727.
- Agrell, C., Larsson, P., Okla, L., Agrell, J. (2002). PCB Congeners in Precipitation, Wash Out Ratios and Depositional Fluxes Within The Baltic Sea Region, Europe. *Atmospheric Environment*, 36(2), 371–383.
- Algan, O., Altıok, H., Yüce, H. (1999). Seasonal Variation of Suspended Particulate Matter in Two-Layered Izmit Bay, Turkey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(2), 235–250.
- Altıok, H., Can, L., Mutlu, S. (2020). Daily Variations in Stratification in İzmit Bay. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(5), 815–829.
- Alver, E., Demirci, A., Özçimder, M. (2012). Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 45–52.
- Aquaveo. (2017). WMS 10.1.11 User's Manual. Provo, UT, US.
- Backe, C., Larsson, P., Agrell, C. (2002). Spatial and Temporal Variation of Polychlorinated Biphenyl (PCB) in Precipitation in Southern Sweden. *Science of the Total Environment*, 285(1–3), 117–132.
- Balkaş, T., Baştürk, Ö., Tuğrul, S., Sunay, M., Morkoç, E., Bozyap, A., Sağlamer, O., Kurter, A., Uysal, A., Coşkun, A. (1985). Determination of Characteristics and Self-Purification Capacity of Izmit Bay, *TÜBİTAK-MAM*, 0730038101, 1-74.
- Balkıs, N. (2003). The Effect of Marmara (Izmit) Earthquake on the Chemical Oceanography of Izmit Bay, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 46(7), 865–878.
- Bandowe, B. A. M., Meusel, H. (2017). Nitrated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (nitro-PAHs) in the Environment – A Review. *Science of the Total Environment*, 581-582, 237-257.
- Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. İ., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü. (1994). The Circulation and Hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34(4), 285–334.
- Beyer, A., Wania, F., Gouin, T., Mackay, D., Matthies, M. (2002). Selecting Internally Consistent Physicochemical Properties of Organic Compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(5), 941–953.

- Binici, B. (2008). Yağmur Suyunda PAH ve Pestisit Tayini ve Alıcı Ortam Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 233135.
- Birgül, A., Tasdemir, Y., Cindoruk, S. S. (2011). Atmospheric Wet and Dry Deposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Determined Using a Modified Sampler. *Atmospheric Research*, 101(1–2), 341–353.
- Blanchard, M., Teil, M. J., Chevreuil, M. (2006). The Seasonal Fate of PCBs in Ambient Air and Atmospheric Deposition in Northern France. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 53(2), 123–144.
- Brown, J. R., Thornton, J. L. (1957). Percivall Pott (1714–1788) and Chimney Sweepers' Cancer of the Scrotum. *Occupational and Environmental Medicine*, 14(1), 68–70.
- Burton, G. Allen, J. (2002). Sediment Quality Criteria in Use Around the World. *Limnology*, 3, 65–75.
- Campfens, J., Mackay, D. (1997). Fugacity-Based Model of PCB Bioaccumulation in Complex Aquatic Food Webs. *Environmental Science & Technology*, 31(2), 577–583.
- Cao, H., Tao, S., Xu, F., Coveney, R. M., Cao, J. J., Li, B., Liu, W., Wang, X., Hu, J., Shen, W., Qin, B., Sun, R. (2004). Multimedia Fate Model for Hexachlorocyclohexane in Tianjin, China. *Environmental Science & Technology*, 38(7), 2126–2132.
- CCME. (1999). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Canadian Council of Ministers of the Environment*, 1–16.
- Çetindamar, D., Velİ, S., Öztürk, T., Arslanbaş, D., Aslan, S. (2014). Topraklarda PCB ve PAH'ların İncelenmesi: Alikahya Bölgesi. *Politeknik Dergisi*, 17(3), 127–133.
- Chen, C. F., Ju, Y. R., Su, Y. C., Lim, Y. C., Kao, C. M., Chen, C. W., Dong, C. Di. (2020). Distribution, Sources, and Behavior of PAHs in Estuarine Water Systems Exemplified by Salt River, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 154, 111029.
- Cindoruk, S. S., Esen, F., Tasdemir, Y. (2007). Concentration and Gas/Particle Partitioning of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) at an Industrial Site at Bursa, Turkey. *Atmospheric Research*, 85, 338–350.
- Clark, K. E., Gobas, F. A. P. C., Mackay, D. (1990). Model of Organic Chemical Uptake and Clearance by Fish From Food and Water. *Environmental Science & Technology*, 24(8), 1203–1213.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D. (1999). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.). California: American Public Health Association.

- Coulibaly, L., Labib, M. E., Hazen, R. (2004). A GIS-Based Multimedia Watershed Model: Development and Application. *Chemosphere*, 55(7), 1067–1080.
- Coulibaly, L., Labib, M. E., Meegoda, J. N. (2004). Multimedia Model For Analysis of Contaminant Releases in Passaic River Watershed. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 8(4), 220–227.
- Cowan-Ellsberry, C. E., McLachlan, M. S., Arnot, J. A., MacLeod, M., McKone, T. E., Wania, F. (2009). Modeling Exposure to Persistent Chemicals in Hazard and Risk Assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(4), 662–679.
- Dat, N. D., Chang, M. B. (2017). Review on Characteristics of PAHs in Atmosphere, Anthropogenic Sources and Control Technologies. *Science of The Total Environment*, 609, 682–693.
- Demir, İ., Demirbağ, Z. (1999). Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Biyolojik Olarak Parçalanması. *Tr. J. of Biology*, 23, 293–302.
- Demirarslan, K. O., Demirarslan, D. (2016). Kentlerde Yeni Yerleşim Alanlarının Gelişimi ve Katı Atık Sorunu: İzmit-Yahyakaptan Mahallesi Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(2), 108–120.
- Dipple, A. (1985). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Carcinogenesis. R. G. Harvey (Ed.), *ACS Symposium Series* (1. ed.) (1–17). Washington, DC: ACS Publication.
- Ergül, H. A. (2016). Evaluation of Seasonal Physicochemical Conditions and Chlorophyll-a Concentrations in Izmit Bay, Marmara Sea. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 22(3), 201–217.
- Ergül, H. A., Karademir, A. (2020). A modeling Approach on the PCDD/F Pollution in Surface Sediments of the Izmit Bay (The Marmara Sea). *Regional Studies in Marine Science*, 35, 101195.
- Ergül, H. A., Pekey, B., Ay, Ü., Aslan Kılavuz, S., Karademir, A., Topçuoğlu, S., Telli, B., Terzi, M. (2011). İzmit Körfezi Sediment ve Biyota Örneklerinde Çevresel Kirleticilerin Belirlenmesi, İzlenmesi ve Alıcı Ortam Kaynak Belirleme Modelinin Uygulanması, *TÜBİTAK*, 107Y261, 1-270.
- Gaga, E. O., Ari, A., Dögeroglu, T., Emel Çakirca, E., MacHin, N. E. (2012). Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Industrialized City, Kocaeli, Turkey: Study of Seasonal Variations, Influence of Meteorological Parameters and Health Risk Estimation. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(8), 2219–2229.

- Giuliani, S., Bellucci, L. G., Çağatay, M. N., Polonia, A., Piazza, R., Vecchiato, M., Pizzini, S., Gasperini, L. (2017). The Impact of the 1999 Mw 7.4 Event in the Izmit Bay (Turkey) on Anthropogenic Contaminant (PCBs, PAHs and PBDEs) Concentrations Recorded in a Deep Sediment Core. *Science of the Total Environment*, 590–591, 799–808.
- Gokgoz-Kilic, S., Aral, M. M. (2008). Probabilistic Fugacity Analysis of Lake Pontchartrain Pollution After Hurricane Katrina. *Journal of Environmental Management*, 88(3), 448–457.
- Göktaş, R. K., Pekey, B., Ergül, H. A., Civan, M., Birgül, A., Karademir, A. (2022). İzmit Körfezi için Çok - Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti Modeli Geliştirilmesi, *TÜBİTAK*, 118Y155, 1-187.
- Greenfield, B. K., Davis, J. A. (2005). A PAH Fate Model For San Francisco Bay. *Chemosphere*, 60(4), 515–530.
- Günç Ergönül, P., Kaya, D. (2015). Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) ve Gidalarda Önemi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 143–153.
- Günindi, M., Tasdemir, Y. (2011). Wet and Dry Deposition Fluxes of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in an Urban Area of Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 215(1–4), 427–439.
- Hasanoğlu, S. (2019). İzmit Körfezi’nde Poliaromatik Hidrokarbon Kirliliğinin Fugasite Bazlı İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 617314.
- Hill, S. L., Keeble, K., Atkinson, A., Murphy, E. J. (2012). A Foodweb Model to Explore Uncertainties in the South Georgia Shelf Pelagic Ecosystem. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 59–60, 237–252.
- Hollander, A., Huijbregts, M. A. J., Ragas, A. M. J., van de Meent, D. (2006). BasinBox: A Generic Multimedia Fate Model For Predicting The Fate of Chemicals in River Catchments. *Hydrobiologia*, 565(1), 21–38.
- Hughes, L., Mackay, D., Powell, D. E., Kim, J. (2012). An Updated State of The Science EQC Model For Evaluating Chemical Fate in The Environment : Application to D5 (decamethylcyclopentasiloxane). *Chemosphere*, 87(2), 118–124.
- Irtem, E. (1991). Tabakalalı Körfezlerdeki Su Kütesi Hareketlerinin Belirlenmesi ve İzmit Körfezine Uygulanması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19338.
- Kanık, D. (2019). Sanayi Coğrafyası Değişim Sürecinde Kentler: İzmit Örneği. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 597222.

- Kılıç, Ö., Aykın Dinçer, E., Erbaş, M. (2017). Gıdalarda Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Bileşiklerinin Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri. *The Journal of Food*, 42(2), 127–135.
- Kocaeli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. (2020). Kocaeli İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu, *Türkiye Cumhuriyeti Kocaeli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü*, 1–116.
- Kösele, M. D. (2008). Büyükçekmece Gölü'nde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 246795.
- Kumar, M., Bolan, N. S., Hoang, S. A., Sawarkar, A. D., Jasemizad, T., Gao, B., Keerthan, S., Padhye, L. P., Singh, L., Kumar, S., Vithanage, M., Li, Y., Zhang, M., Kirkham, M. B., Vinu, A., Rinklebe, J. (2021). Remediation of Soils and Sediments Polluted With Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: To Immobilize, Mobilize, or Degrade? *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126534.
- Lee, S. C., Ho, K. F., Chan, L. Y., Zielinska, B., Chow, J. C. (2001). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Carbonyl Compounds in Urban Atmosphere of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 35(34), 5949–5960.
- Liu, Y., Zhang, S., Li, C., Shi, X., Zhao, S., Sun, B., Zhu, Y. (2019). A modified QWASI Model For Fate and Transport Modeling of Zn and Pb in a Shallow Lake During the Ice-Free Period. *Science of the Total Environment*, 657, 577–584.
- Luo, Y., Gao, Q., Yang, X. (2007). Dynamic Modeling of Chemical Fate and Transport in Multimedia Environments at Watershed Scale-I: Theoretical Considerations and Model Implementation. *Journal of Environmental Management*, 83(1), 44–55.
- Luo, Y., Yang, X. (2007). A Multimedia Environmental Model of Chemical Distribution: Fate, Transport, and Uncertainty Analysis. *Chemosphere*, 66(8), 1396–1407.
- Ma, W. L., Zhu, F. J., Liu, L. Y., Jia, H. L., Yang, M., Li, Y. F. (2019). PAHs in Chinese Atmosphere: Gas/particle Partitioning. *Science of the Total Environment*, 693, 133623.
- Ma, Y. G., Lei, Y. D., Xiao, H., Wania, F., Wang, W. H. (2010). Critical Review and Recommended Values for the Physical-Chemical Property Data of 15 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at 25 °C. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55(2), 819–825.
- Macdonald, R. W., Barrie, L. A., Bidleman, T. F., Diamond, M. L., Gregor, D. J., Semkin, R. G., Yunker, M. B. (2000). Contaminants in the Canadian Arctic: 5 Years of Progress in Understanding Sources, Occurrence and Pathways. *Science of the Total Environment*, 254(2–3), 93–234.

- Mackay, Don, Webster, E., Woodfine, D., Cahill, T. M., Doyle, P., Couillard, Y., Gutzman, D. (2003). Towards Consistent Evaluation of the Persistence of Organic, Inorganic and Metallic Substances. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 9(6), 1445–1474.
- Mackay, Donald. (1979). Finding Fugacity Feasible. *Environmental Science & Technology*, 13(10), 1218–1223.
- Mackay, Donald. (2001). *Multimedia Environmental Models: The Fugacity Approach* (2nd ed.). Florida: CRC Press LLC.
- Mackay, Donald. (2004). Finding Fugacity Feasible, Fruitful, and Fun. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(10), 2282–2289.
- Mackay, Donald, Di Guardo, A., Paterson, S., Cowan, C. E. (1996). Evaluating the Environmental Fate of a Variety of Types of Chemicals Using the EQC Model. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(9), 1627–1637.
- Mackay, Donald, Diamond, M. (1989). Application of the QWASI (Quantitative Water Air Sediment Interaction) Fugacity Model to the Dynamics of Organic and Inorganic Chemicals in Lakes. *Chemosphere*, 18(7–8), 1343–1365.
- Mackay, Donald, Hickie, B. (2000). Mass Balance Model of Source Apportionment, Transport and Fate of PAHs in Lac Saint Louis, Quebec. *Chemosphere*, 41(5), 681–692.
- Mackay, Donald, Hughes, L., Powell, D. E., Kim, J. (2014). An Updated Quantitative Water Air Sediment Interaction (QWASI) Model For Evaluating Chemical Fate and Input Parameter Sensitivities in Aquatic Systems: Application to D5 (Decamethylcyclopentasiloxane) and PCB-180 in Two Lakes. *Chemosphere*, 111, 359–365.
- Mackay, Donald, Joy, M., Paterson, S. (1983). A Quantitative Water, Air, Sediment Interaction (QWASI) Fugacity Model For Describing the Fate of Chemicals in Lakes. *Chemosphere*, 12(7–8), 981–997.
- Mackay, Donald, Paterson, S. (1981). Calculating Fugacity. *Environmental Science & Technology*, 15(9), 1006–1014.
- Mackay, Donald, Paterson, S. (1982). Fugacity Revisited. *Environmental Science & Technology*, 16(12), 654A-660A.
- Mackay, Donald, Paterson, S., Joy, M. (1983). A Quantitative Water, Air, Sediment Interaction (QWASI) Fugacity Model for Describing the Fate of Chemicals in Rivers. *Chemosphere*, 12(9–10), 1193–1208.

- Mackay, D., Shiu, W. Y., Ma, K. C., Lee, S. C. (2006). *Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals* (2. ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Macleod, M., Fraser, A. J., Mackay, D. (2002). Evaluating and Expressing The Propagation of Uncertainty in Chemical Fate and Bioaccumulation Models. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(4), 700–709.
- MacLeod, M., Scheringer, M., Hungerbühler, K. (2007). Estimating Enthalpy of Vaporization from Vapor Pressure Using Trouton's Rule. *Environmental Science & Technology*, 41(8), 2827–2832.
- MacLeod, M., Scheringer, M., McKone, T. E., Hungerbuhler, K. (2010). The State of Multimedia Mass-Balance Modeling in Environmental Science and Decision-Making. *Environmental Science & Technology*, 44(22), 8360–8364.
- MacLeod, M., von Waldow, H., Tay, P., Armitage, J. M., Wöhrnschimmel, H., Riley, W. J., McKone, T. E., Hungerbuhler, K. (2011). BETR global – A Geographically-Explicit Global-Scale Multimedia Contaminant Fate Model. *Environmental Pollution*, 159(5), 1442–1445.
- MacLeod, M., Woodfine, D., Brimacombe, J., Toose, L., Mackay, D. (2002). A Dynamic Mass Budget For Toxaphene in North America. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(8), 1628–1637.
- MacLeod, M., Woodfine, D. G., Mackay, D., McKone, T., Bennett, D., Maddalena, R. (2001). BETR North America: A Regionally Segmented Multimedia Contaminant Fate Model For North America. *Environmental Science and Pollution Research*, 8(3), 156-164.
- Maletić, S. P., Beljin, J. M., Rončević, S. D., Grgić, M. G., Dalmacija, B. D. (2019). State of the Art and Future Challenges For Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments: Sources, Fate, Bioavailability and Remediation Techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 365, 467–482.
- Mandalakis, M., Stephanou, E. G. (2004). Wet Deposition of Polychlorinated Biphenyls in the Eastern Mediterranean. *Environmental Science & Technology*, 38(11), 3011–3018.
- Meng, Y., Liu, X., Lu, S., Zhang, T., Jin, B., Wang, Q., Tang, Z., Liu, Y., Guo, X., Zhou, J., Xi, B. (2019). A Review On Occurrence and Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lakes of China. *Science of The Total Environment*, 651, 2497–2506.
- Merhaby, D., Rabodonirina, S., Net, S., Ouddane, B., Halwani, J. (2019). Overview of Sediments Pollution By PAHs and PCBs in Mediterranean Basin: Transport, Fate, Occurrence, and Distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110646.

- Morkoç, E., Okay, O. S., Tolun, L., Tüfekçi, V., Tüfekçi, H., Legoviç, T. (2001). Towards a Clean Izmit Bay. *Environment International*, 26(3), 157–161.
- Odabasi, M., Cetin, E., Sofuoğlu, A. (2006). Determination of Octanol–Air Partition Coefficients and Supercooled Liquid Vapor Pressures of PAHs as a Function of Temperature: Application to Gas–Particle Partitioning in an Urban Atmosphere. *Atmospheric Environment*, 40(34), 6615–6625.
- Oğuz, T., Sur, İ. (1986). A Numerical Modelling Study of Circulation in the Bay of Izmit, *TÜBİTAK*, 86/12, 1-97.
- Park, J. S., Wade, T. L., Sweet, S. (2001). Atmospheric Deposition of Organochlorine Contaminants to Galveston Bay, Texas. *Atmospheric Environment*, 35(19), 3315–3324.
- Patel, A. B., Shaikh, S., Jain, K. R., Desai, C., Madamwar, D. (2020). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1-23.
- Pekey, B., Karakaş, D., Ayberk, S. (2007). Atmospheric Deposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons to Izmit Bay, Turkey. *Chemosphere*, 67(3), 537–547.
- Pekey, H. (2006). The Distribution and Sources of Heavy Metals in Izmit Bay Surface Sediments Affected by a Polluted Stream. *Marine Pollution Bulletin*, 52(10), 1197–1208.
- Pekey, H., Bakoglu, M., Pekey, B. (2005). Sources of Heavy Metals in the Western Bay of Izmit Surface Sediments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 85(14), 1025–1036.
- Pennington, D. W., Margni, M., Ammann, C., Jolliet, O. (2005). Multimedia Fate and Human Intake Modeling: Spatial Versus Nonspatial Insights for Chemical Emissions in Western Europe. *Environmental Science & Technology*, 39(4), 1119–1128.
- Prevedouros, K., MacLeod, M., Jones, K. C., Sweetman, A. J. (2004). Modelling the Fate of Persistent Organic Pollutants in Europe: Parameterisation of a Gridded Distribution Model. *Environmental Pollution*, 128(1–2), 251–261.
- Ravindra, K., Sokhi, R., Vangrieken, R. (2008). Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Source Attribution, Emission Factors and Regulation. *Atmospheric Environment*, 42(13), 2895–2921.
- Rodgers, T. F. M., Okeme, J. O., Parnis, J. M., Girdhari, K., Bidleman, T. F., Wan, Y., Jantunen, L. M., Diamond, M. L. (2021). Novel Bayesian Method to Derive Final Adjusted Values of Physicochemical Properties: Application to 74 Compounds. *Environmental Science & Technology*, 55(18), 12302–12316.

- Rubio-Clemente, A., Torres-Palma, R. A., Peñuela, G. A. (2014). Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Aqueous Environment By Chemical Treatments: A Review. *Science of The Total Environment*, 478, 201–225.
- Saloranta, T. M., Armitage, J. M., Haario, H., Næs, K., Cousins, I. T., Barton, D. N. (2008). Modeling the Effects and Uncertainties of Contaminated Sediment Remediation Scenarios in a Norwegian Fjord by Markov Chain Monte Carlo Simulation. *Environmental Science & Technology*, 42(1), 200–206.
- Shi, M., Zhang, R., Wang, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Zhang, Y. (2020). Health Risk Assessments of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Chlorinated/Brominated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air Particles in a Haze Frequent Area in China. *Emerging Contaminants*, 6, 172–178.
- Simcik, M. F., Hoff, R. M., Strachan, W. M. J., Sweet, C. W., Basu, I., Hites, R. A. (2000). Temporal Trends of Semivolatile Organic Contaminants in Great Lakes Precipitation. *Environmental Science & Technology*, 34(3), 361–367.
- Slob, W. (1994). Uncertainty Analysis in Multiplicative Models. *Risk Analysis*, 14(4), 571–576.
- Smith, D. J. T., Harrison, R. M. (1996). Concentrations, Trends and Vehicle Source Profile of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the U.K. Atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30(14), 2513–2525.
- Srogi, K. (2007). Monitoring of Environmental Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 5(4), 169–195.
- Sweetman, A. J., Cousins, I. T., Seth, R., Jones, K. C., Mackay, D. (2002). A Dynamic Level IV Multimedia Environmental Model: Application to the Fate Of Polychlorinated Biphenyls in the United Kingdom Over A 60-Year Period. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(5), 930–940.
- Tan, İ., Aslan, E. (2020). Metal Pollution Status and Ecological Risk Assessment in Marine Sediments of the Inner Izmit Bay. *Regional Studies in Marine Science*, 33, 100850.
- Telli-Karakoç, F., Tolun, L., Henkelmann, B., Klimm, C., Okay, O., Schramm, K. W. (2002a). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Distributions in the Bay of Marmara Sea: İzmit Bay. *Environmental Pollution*, 119(3), 383–397.
- Telli Karakoç, F., Tolun, L., Tüfekçi, V., Karakaş, D., Morkoç, E., Tüfekçi, H., Karakoç, F., Okay, O., Olgun, A. (2002b). Deprem Sonrası İzmit Körfezi’nde Kirlilik Boyutunun Tespiti, *TÜBİTAK*, 2004/65, 1-135.

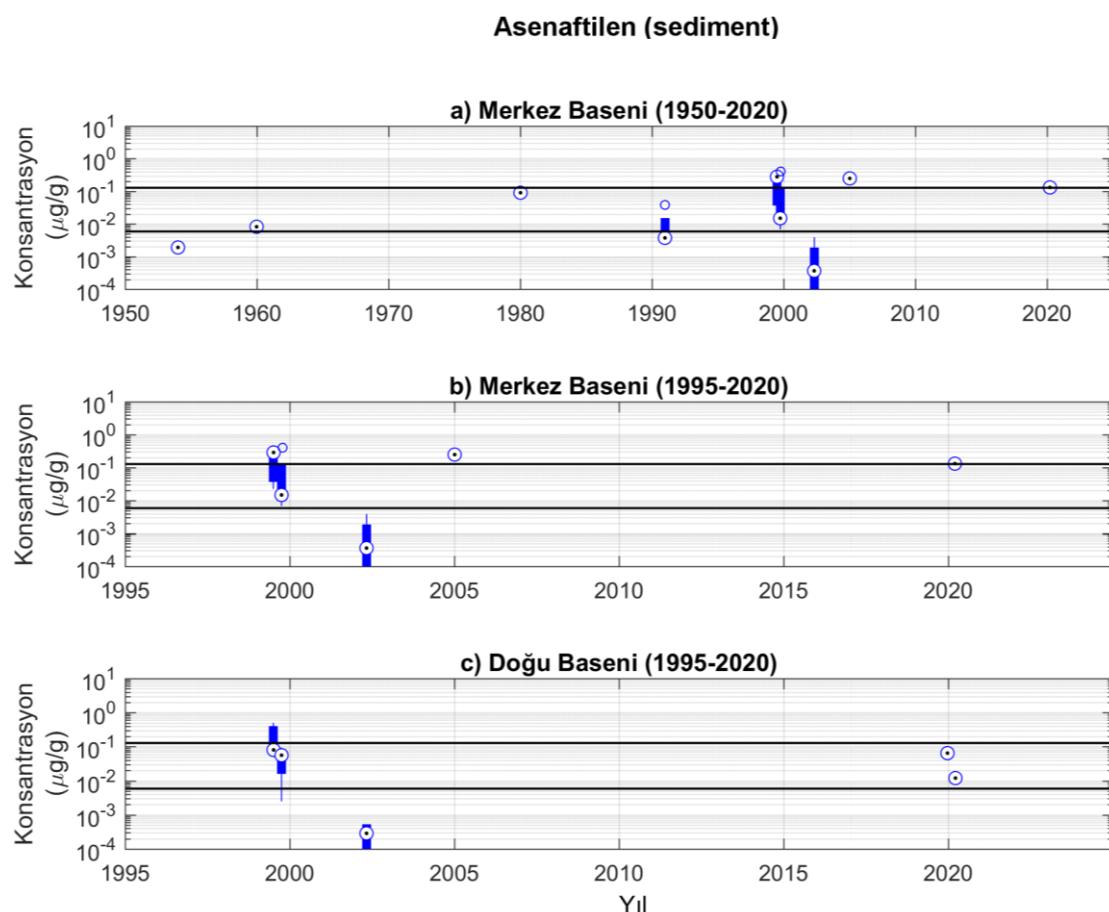
- Tolun, L. G., Ergenekon, S., Murat Hocaoglu, S., Suha Donertas, A., Cokacar, T., Husrevoglu, S., Polat Beken, C., Baban, A. (2012). Socioeconomic Response to Water Quality: a First Experience in Science and Policy Integration for the Izmit Bay Coastal System. *Ecology and Society*, 17(3), 40.
- Tolun, L. G., Martens, D., Okay, O. S., Schramm, K. W. (2006). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination in Coastal Sediments of the Izmit Bay (Marmara Sea): Case Studies Before and After the Izmit Earthquake. *Environment International*, 32(6), 758–765.
- Tongo, I., Ogbeide, O., Ezemonye, L. (2017). Human Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Smoked Fish Species From Markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*, 4, 55–61.
- Toose, L., Woodfine, D. G., Macleod, M., Mackay, D., Gouin, J. (2004). BETR-World: A Geographically Explicit Model of Chemical Fate: Application to Transport of Alpha-HCH to the Arctic. *Environmental Pollution*, 128(1–2), 223–240.
- Tuğrul, S., Morkoç, E. (1990). Transport and Water Quality Modelling in the Bay of Izmit, *TÜBİTAK*, 628/37, 1-104.
- URL-1: <https://archive.is/79lf>, (Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2022)
- URL-2: <https://data.tuik.gov.tr/Bulton/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi>
Sonuclari-2021-45500, (Ziyaret Tarihi : 27 Nisan 2022)
- URL-3: <https://github.com/BETR-Global/BETR-Global-4.0>, (Ziyaret Tarihi: 28 Haziran 2022)
- URL-4: <https://github.com/barronh/BETR-Global-4.0/tree/enhancement-python3>,
(Ziyaret Tarihi: 28 Haziran 2022)
- URL-5: <https://github.com/rkgoktas/BETR-Research-3.0>, (Ziyaret Tarihi: 28 Haziran 2022)
- URL-6: <https://github.com/rkgoktas/BETR-QWASI-LU-v1.0>, (Ziyaret Tarihi: 28 Haziran 2022)
- US EPA. (2012). Estimation Programs Interface Suite for Microsoft Windows, v 4.11. Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2017). Toxicological Review of Benzo[a]pyrene, *Integrated Risk Information System National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development*, EPA/635/R-17/003Fa, 1-198.

- Van Ry, D. A., Gigliotti, C. L., Glenn, Nelson, E. D., Totten, L. A., Eisenreich, S. J. (2002). Wet Deposition of Polychlorinated Biphenyls in Urban and Background Areas of the Mid-Atlantic States. *Environmental Science & Technology*, 36(15), 3201–3209.
- Wang, X. ., Tao, S., Dawson, R. ., Wang, X. . (2004). Uncertainty Analysis of Parameters For Modeling the Transfer and Fate of Benzo(a)pyrene in Tianjin Wastewater Irrigated Areas. *Chemosphere*, 55(4), 525–531.
- Wang, Y., Khan, S. J., Fan, L., Roddick, F. (2020). Application of a QWASI Model to Produce Validated Insights Into the Fate and Transport of Six Emerging Contaminants in a Wastewater Lagoon System. *Science of the Total Environment*, 721, 137676.
- Wei, Y., Nishimori, M., Kobara, Y., Akiyama, T. (2008). Development of Global Scale Multimedia Contaminant Fate Model: Incorporating Paddy Field Compartment. *Science of The Total Environment*, 406(1–2), 219–226.
- Wenning, R. J., Ingersoll, C. G. (2002). Use of Sediment Quality Guidelines and Related Tools for the Assessment of Contaminated Sediments, *SETAC Pellston Workshop*, Fairmont, MT, USA, 17-22 Ağustos 2002.
- Whelan, M. J., Kim, J., Suganuma, N., Mackay, D. (2019). Uncertainty and Equifinality in Environmental Modelling of Organic Pollutants With Specific Focus On Cyclic Volatile Methyl Siloxanes. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 21(7), 1085–1098.
- Woodfine, D., MacLeod, M., Mackay, D. (2002). A Regionally Segmented National Scale Multimedia Contaminant Fate Model For Canada With GIS Data Input and Display. *Environmental Pollution*, 119(3), 341–355.
- Xu, F. L., Qin, N., Zhu, Y., He, W., Kong, X. Z., Barbour, M. T., He, Q. S., Wang, Y., Ou-Yang, H. L., Tao, S. (2013). Multimedia Fate Modeling of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lake Small Baiyangdian, Northern China. *Ecological Modelling*, 252(1), 246–257.
- Xu, H., Wang, Q., Wang, X., Feng, W., Zhu, F. (2020). Diffusion of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Between Water and Sediment and Their Ecological Risks in Wuhu City, Yangtze River Delta Urban Agglomerations, China. *Applied Geochemistry*, 119, 104627.
- Yan, D., Wu, S., Zhou, S., Tong, G., Li, F., Wang, Y., Li, B. (2019). Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Airborne Particulate PAHs in Chinese Cities: A Review. *Environmental Pollution*, 248, 804–814.
- Yang, H. H., Lee, W. J., Chen, S. J., Lai, S. O. (1998). PAH Emission From Various Industrial stacks. *Journal of Hazardous Materials*, 60(2), 159–174.

- Yanık, B., Avcı, İ. (2005). Bölgesel Debi Sürekliklik Eğrilerinin Elde Edilmesi. *İTÜ Dergisi Seri D: Mühendislik*, 4(5), 19–30.
- Yıldız, S., Döker, M. F. (2016). İzmit Şehrinin Nüfus Gelişimi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 32, 33–47.
- Zhao, F., Riipinen, I., MacLeod, M. (2021). Steady-State Mass Balance Model for Predicting Particle–Gas Concentration Ratios of PBDEs. *Environmental Science & Technology*, 55(14), 9425–9433.

EKLER

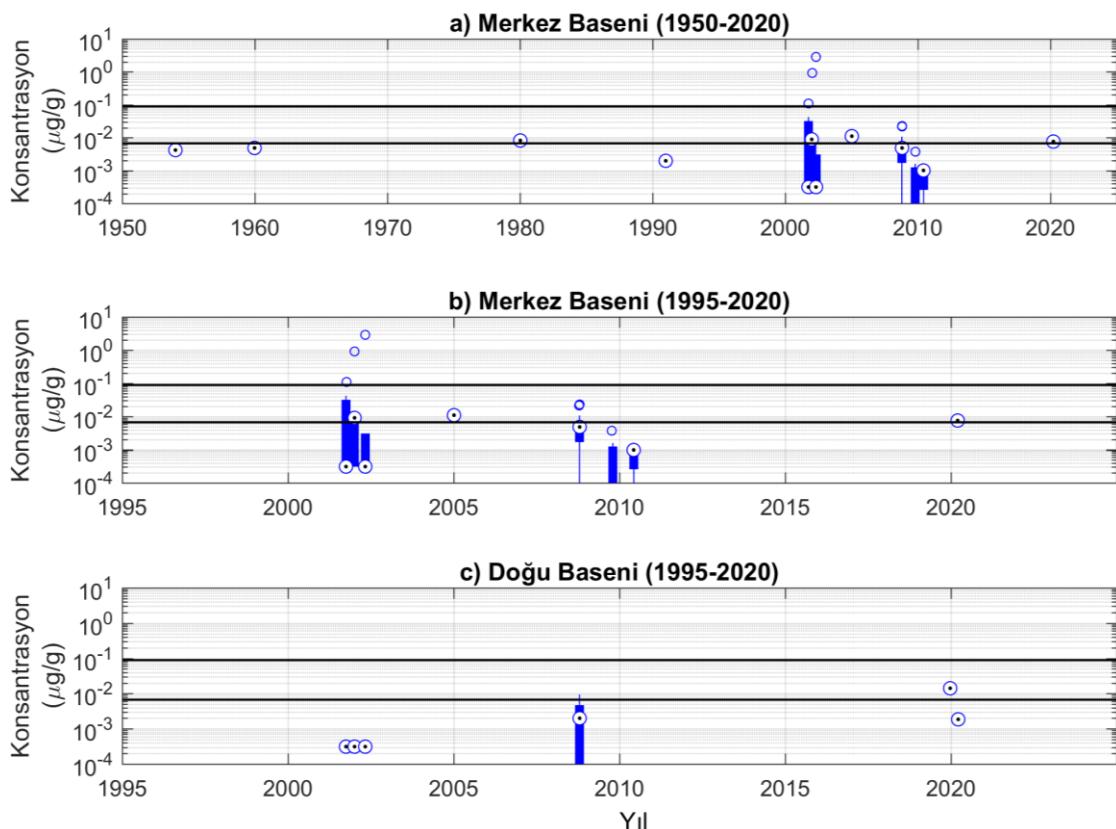
Ek-A



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.1. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Asenaftilen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir.

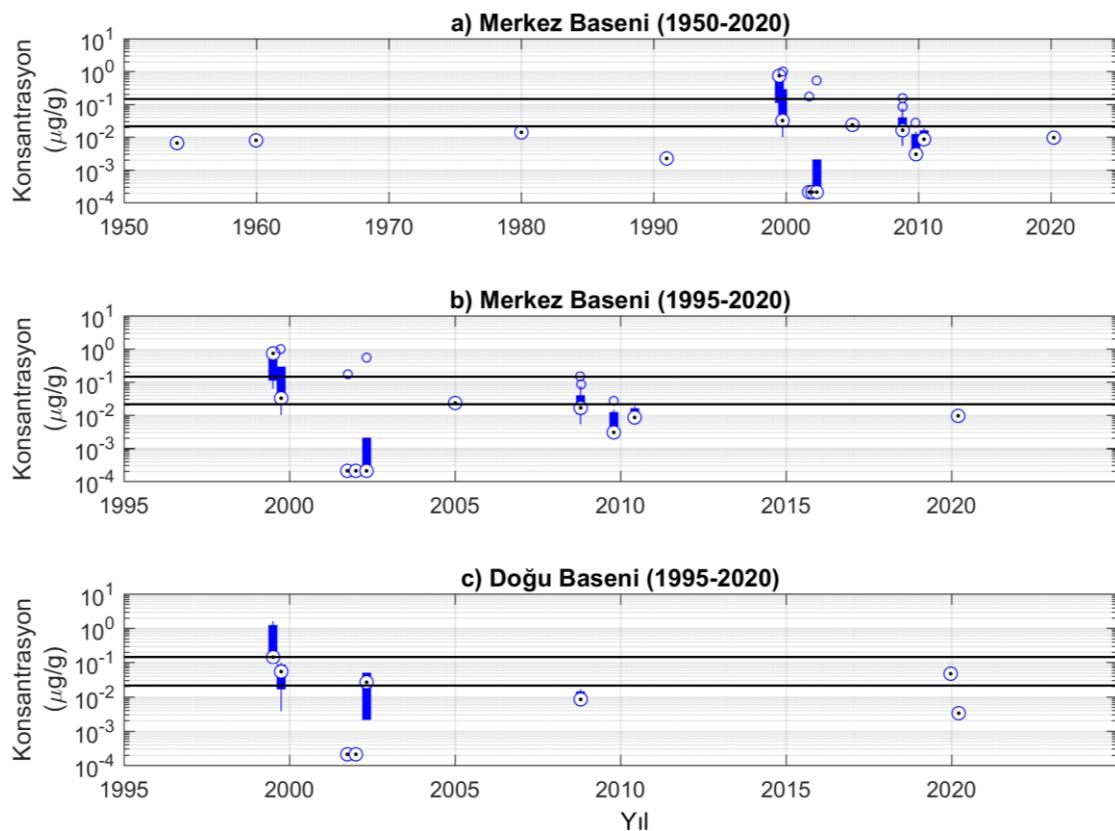
Asenaften (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Tellî Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.2. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Asenaften sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

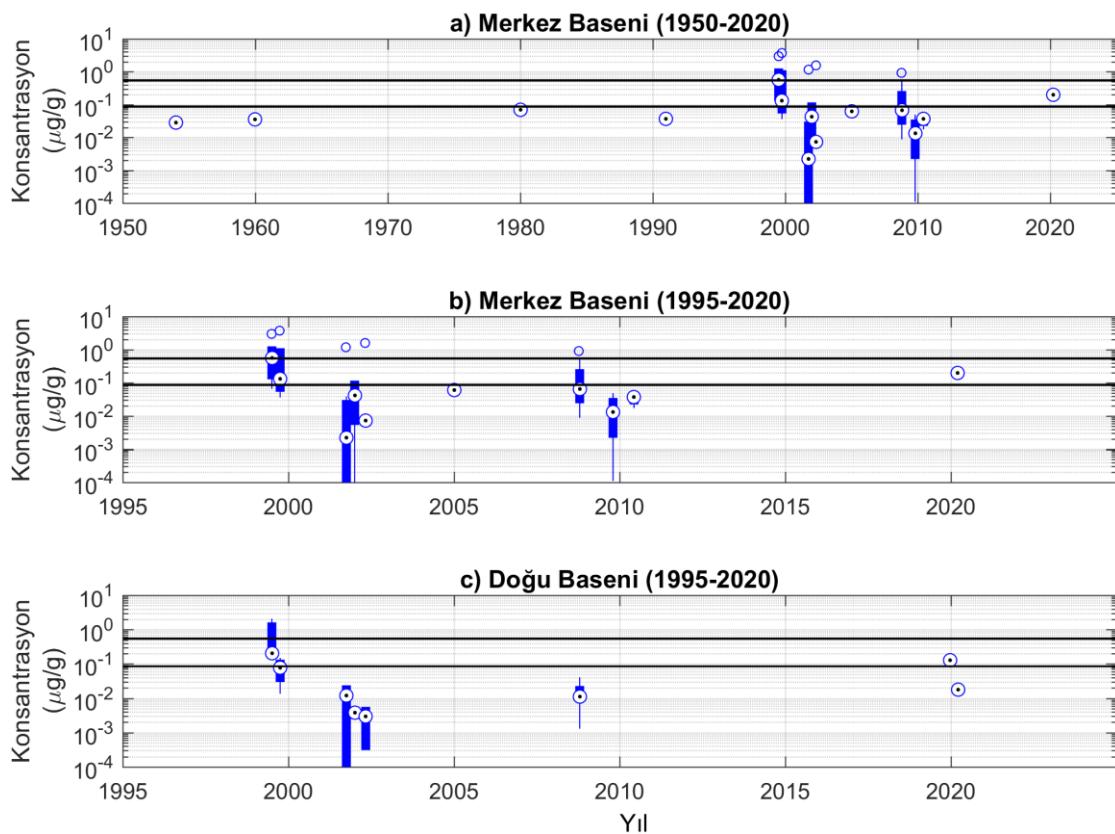
Floren (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.3. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Floren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

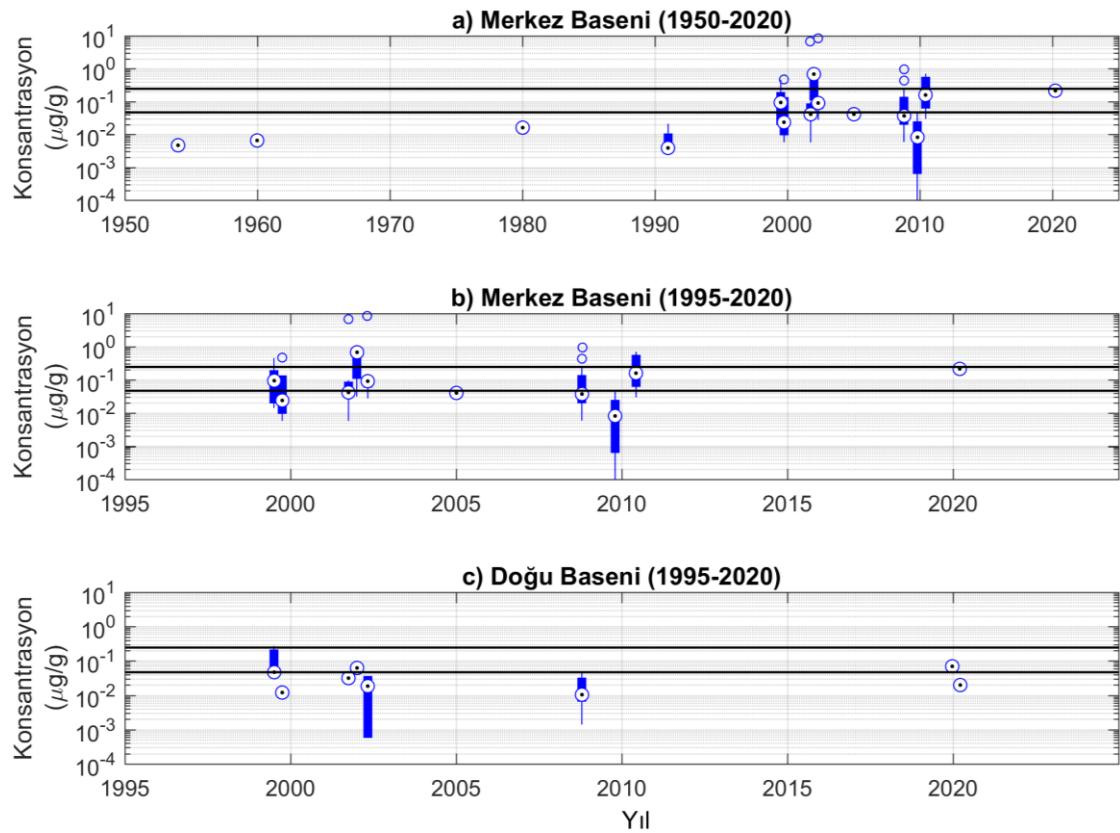
Fenantren (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Tellî Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.4. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Fenantren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

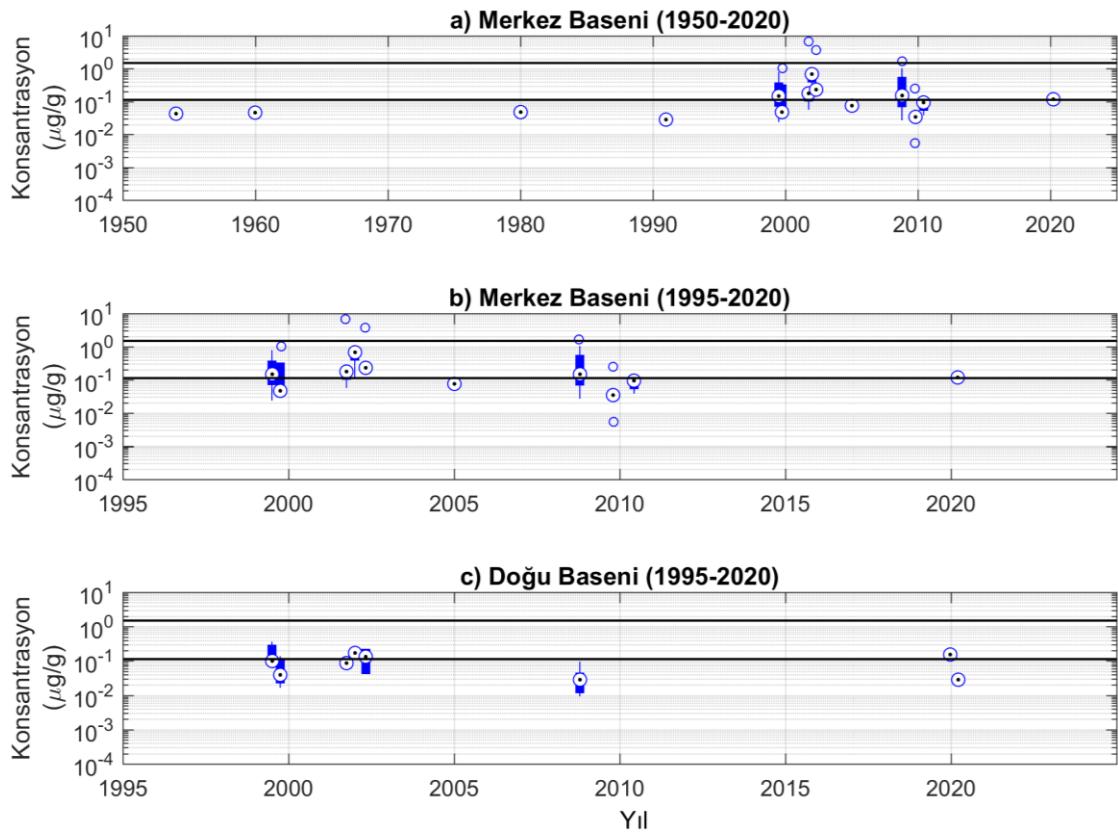
Antrasen (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Tellî Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.5. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Antrasen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

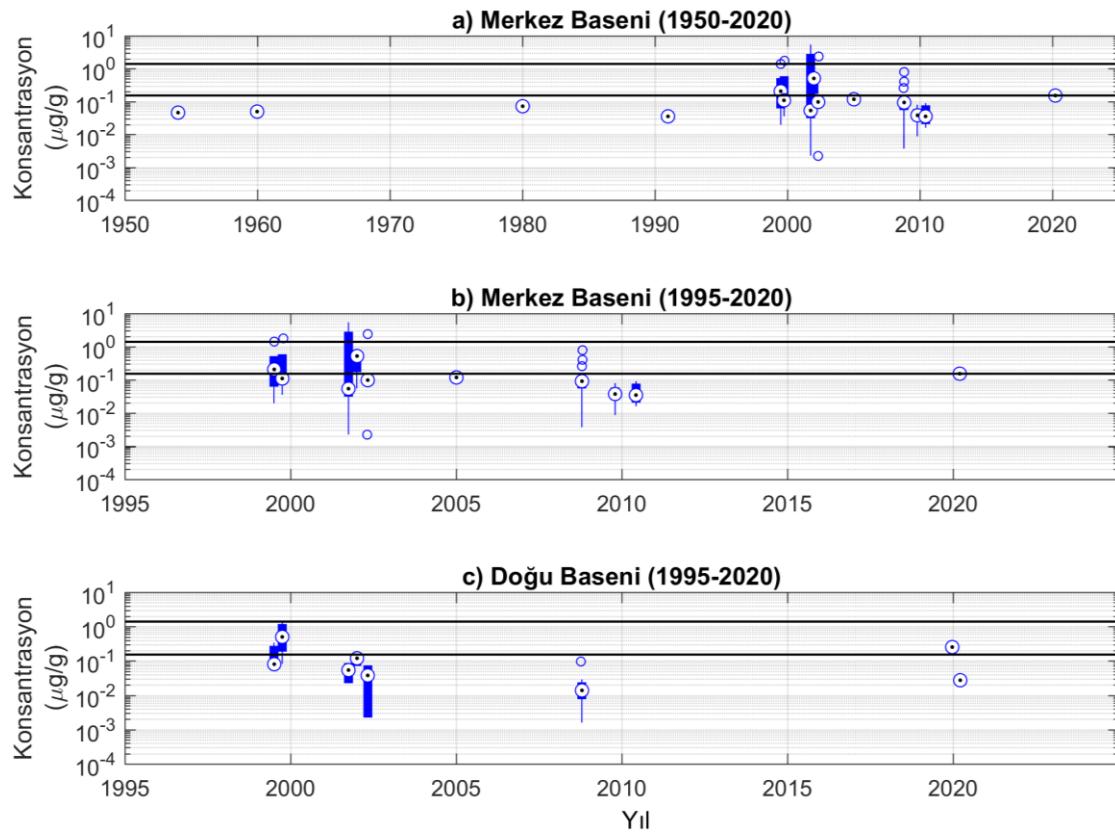
Floranten (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.6. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Floranten sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

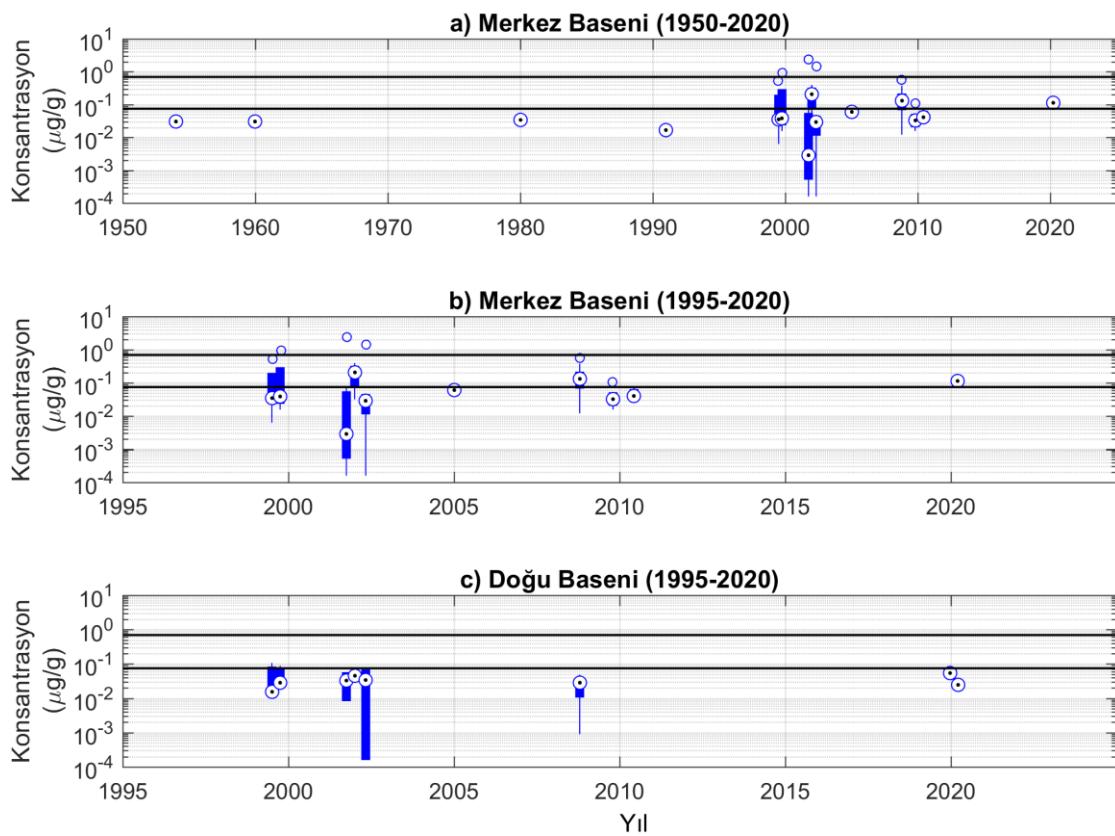
Piren (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.7. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

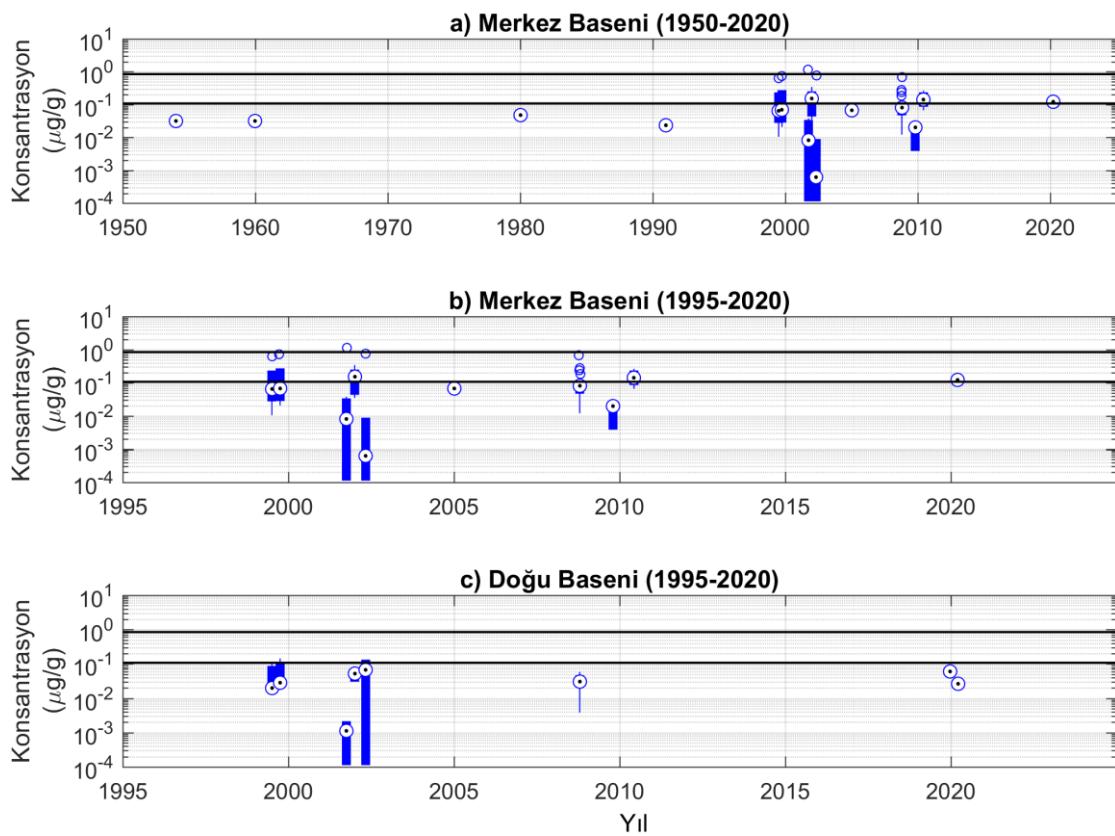
Benzo(a)antrasen (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.8. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(a)antrasen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

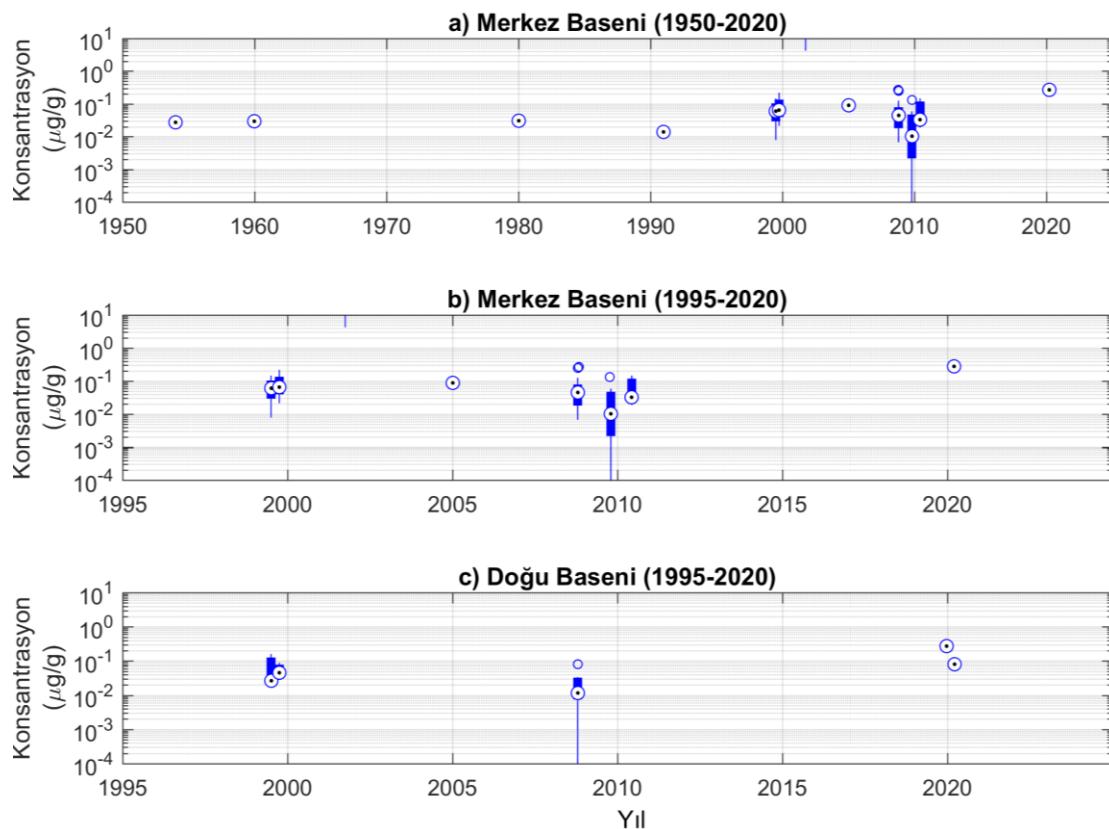
Krisen (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Tellî Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.9. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Krisen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

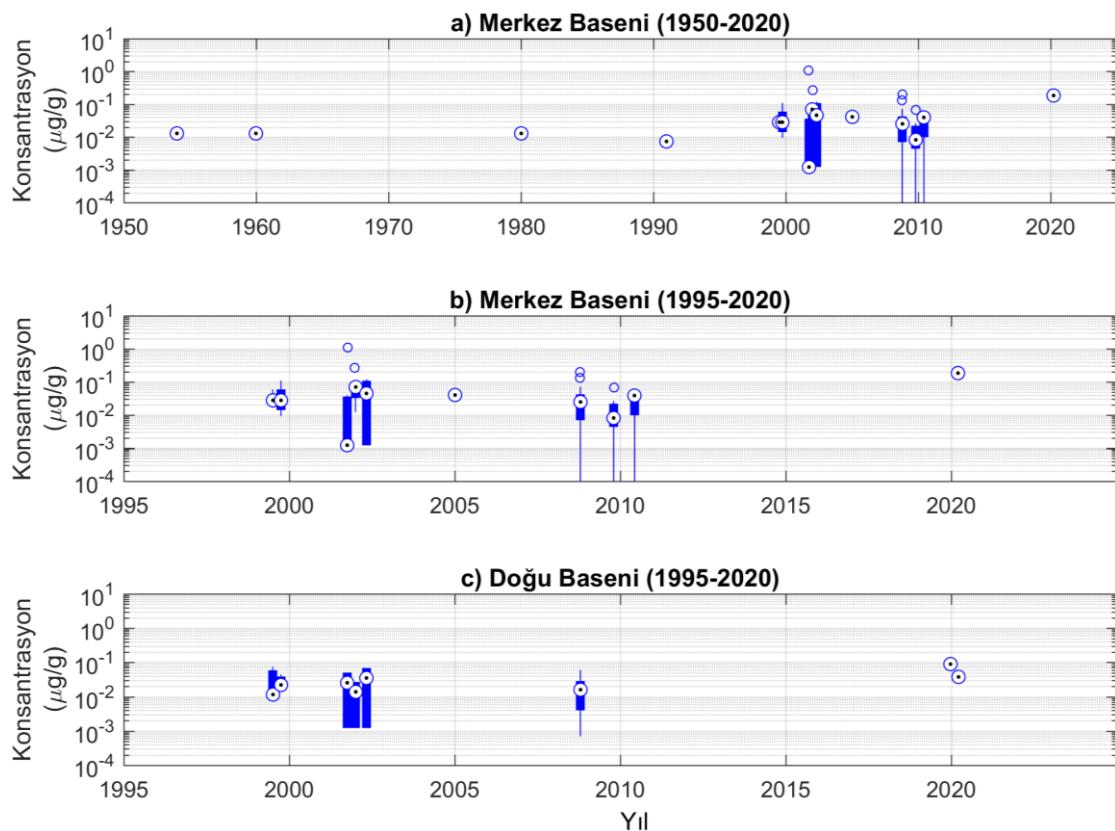
Benzo(b)floranten (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.10. Merkez basen (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(b)floranten sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi

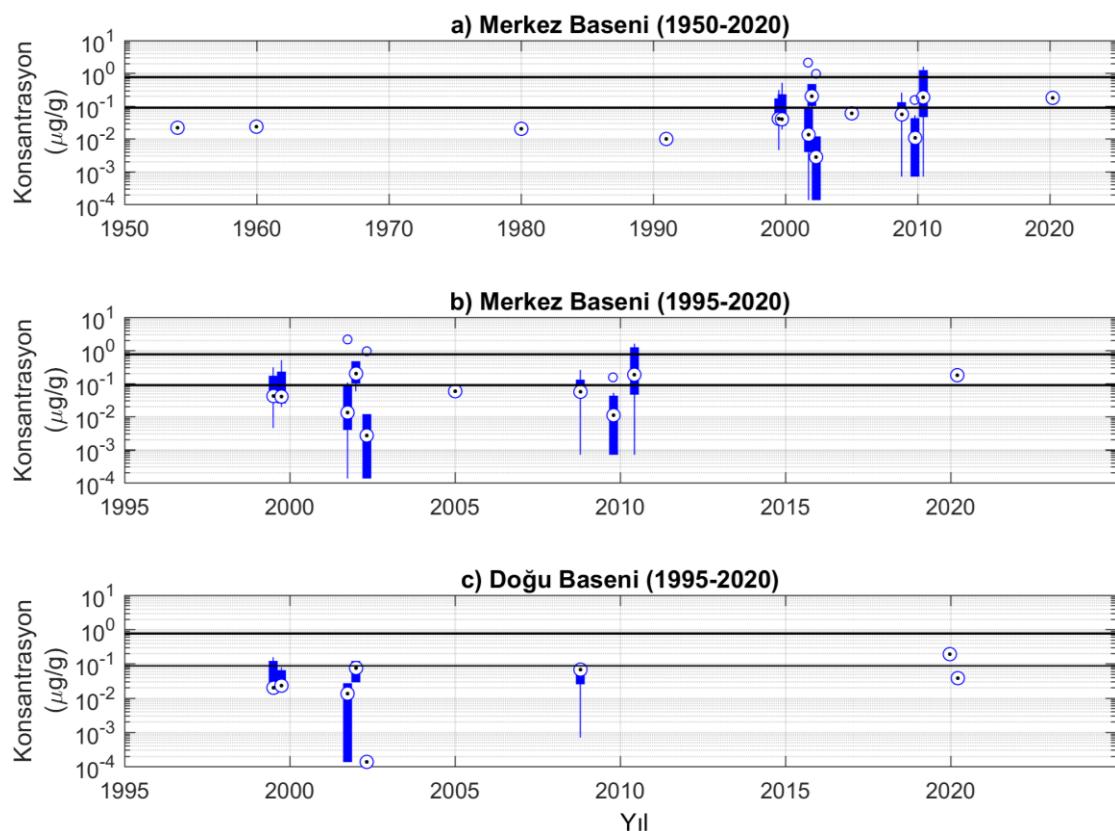
Benzo(k)floranten (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.11. Merkez basenî (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(k)floranten sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi

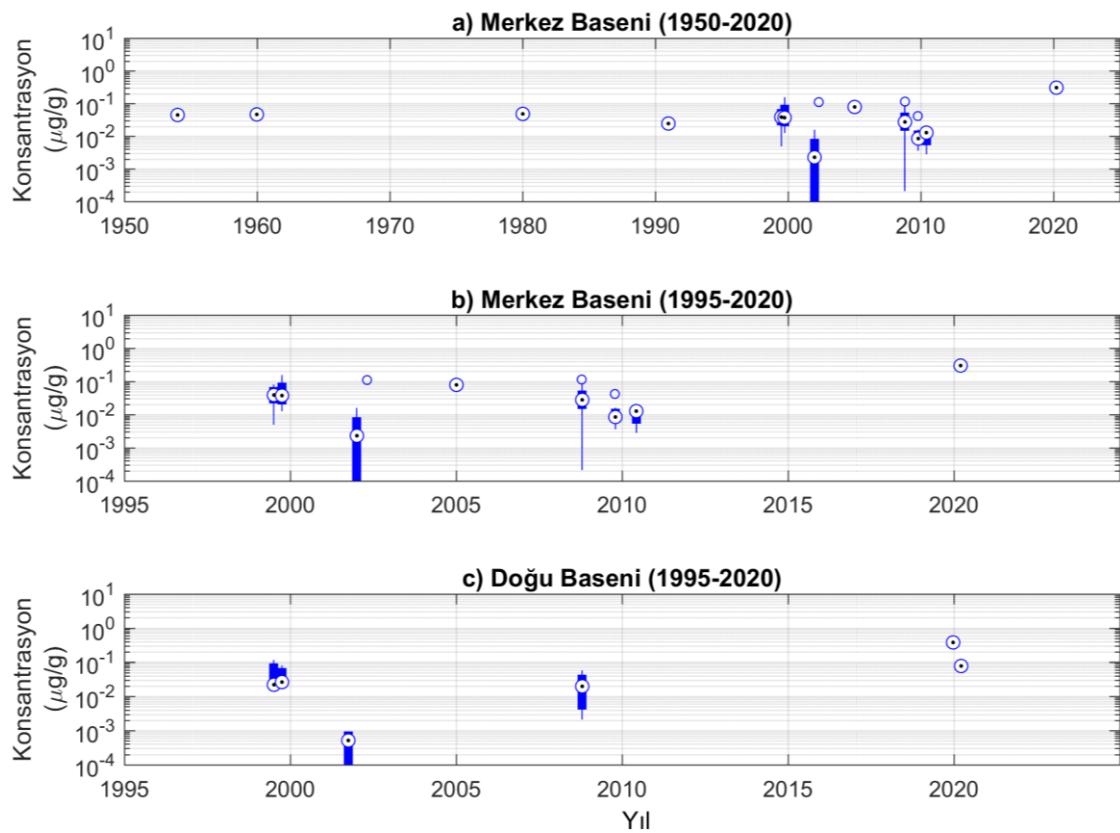
Benzo(a)piren (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.12. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(a)piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

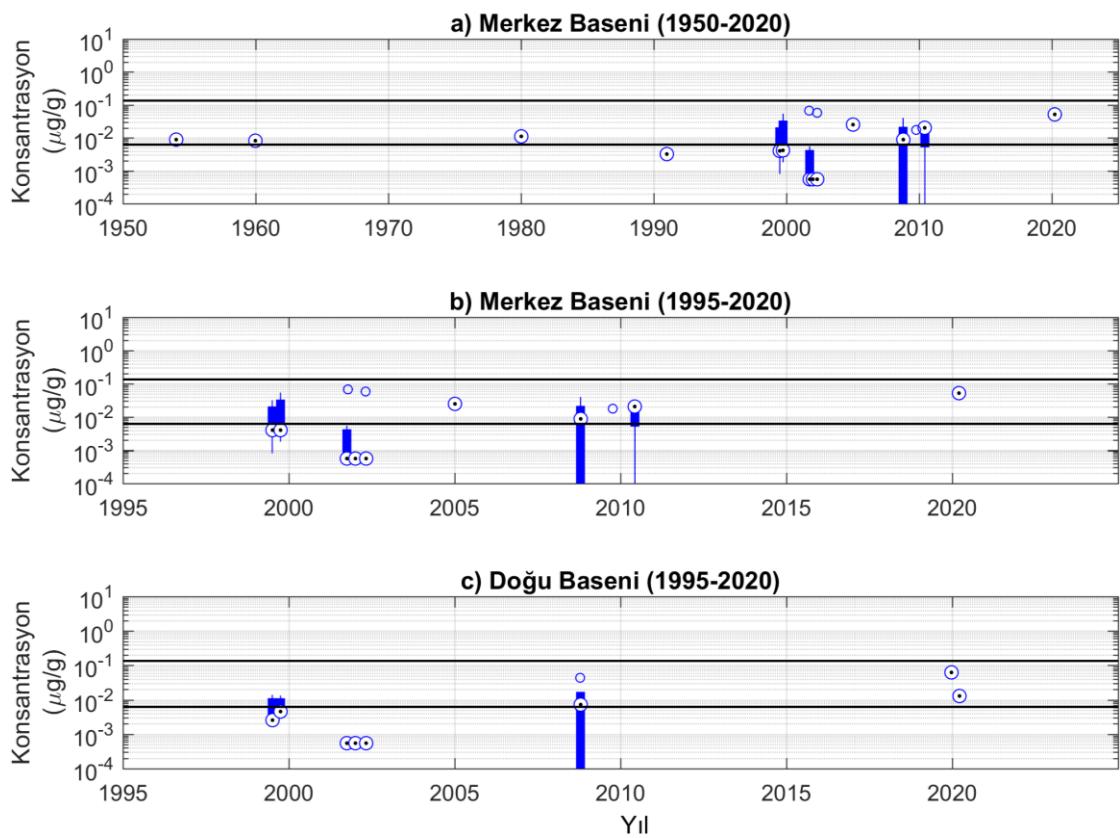
İndeno(1,2,3-c,d)piren (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Tellî Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.13. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Indeno(1,2,3-c,d)piren sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi

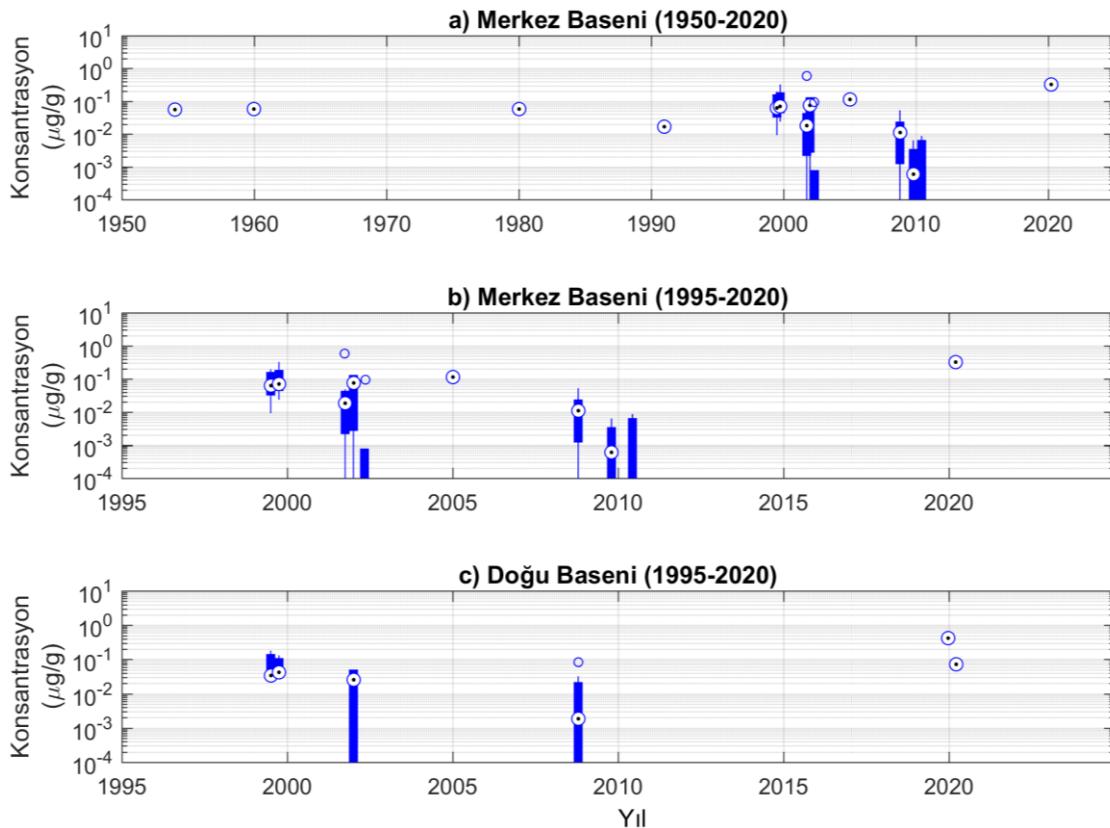
Dibenzo(a,h)antrasen (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianî ve diğ. 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve diğ., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Tellî Karakoç ve diğ., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve diğ., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.14. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Dibenzo(a,h)antrasen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi (TEL ve PEL değerleri siyah çizgiler ile belirtilmiştir)

Benzo(g,h,i)perilen (sediment)



Not: 1995'ten önceki veriler ve 2005 yılı verileri Giulianini ve dig., 'den (2017) alınmıştır. Haziran 1999 - Eylül 1999 verileri Tolun ve dig., (2006) çalışmasından ve Eylül 2001 – Nisan 2002 verileri Telli Karakoç ve dig., (2002b) çalışmasından elde edilmiştir. 2008-2010 verileri Ergül ve dig., (2011) çalışmasından alınmıştır. 2019-2020 verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir.

Şekil A.15. Merkez baseni (a,b) ve doğu baseninde (c) Benzo(g,h,i)perilen sediment konsantrasyonlarının zamansal değişimi

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Çavuşoğlu, S., Aksan, S., Bayköse, A., Ayaz, T., Tezyapar, İ., Akyıldız, H. B., Ergül, H. A., Civan, M., Birgül, A., Pekey, B., Karademir, A., Göktaş, R. K. (2022). İzmit Körfezi’nde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akibeti: Çok-Ortamlı Modelleme Verisi Elde Etmek için Gerçekleştirilen Saha Çalışmaları. B. Öztürk, H. A. Ergül, A. C. Yalçınler, H. Öztürk, B. Salihoglu (Ed.), *Marmara Denizi 2022 Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (54–60). İstanbul, Türkiye: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’nde tamamladı. 2015 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2019 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.