

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT KÖRFEZİ'NDE POLİAROMATİK HİDROKARBON
KİRLİLİĞİNİN FUGASİTE BAZLI İNCELEMESİ**

SÜMEYYE HASANOĞLU

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZMİT KÖRFEZİ'NDE POLİAROMATİK HİDROKARBON
KİRLİLİĞİNİN FUGASİTE BAZLI İNCELENMESİ

SÜMEYYE HASANOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Beyhan PEKEY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi


.....


.....


.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 19.12.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kocaeli İli merkezinde bulunan İzmit Körfezi, arıtılmamış evsel atık su ve bölgedeki sanayi tesislerinin kontrolsüz atık su ve atık gaz deşarjlarından kaynaklanan kirlilik sonucu Türkiye'nin en kirli ikinci körfezi durumuna gelmiştir. Körfezin kirlilik durumunun deneysel analizlerle ve modelleme çalışmalarıyla incelenerek temizleme ve acil durum planlamalarına çözümler getirilmesi amacıyla Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 118Y155 numaralı "İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akıbeti Modeli Geliştirilmesi" projesi gerçekleştirilmektedir. KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programı dahilinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında 118Y155 numaralı proje çerçevesinde İzmit Körfezi için fugasite bazlı çok-ortamlı kirletici akıbeti modelleri geliştirilmiştir. Yapılan derin literatür araştırmaları ve model uygulamaları ile körfezdeki kirlilik durumu incelenmiştir. Çok-ortamlı çevresel kirlilik sorunlarının yönetiminde fugasite yaklaşımı kullanımının uygulanabilirliği gösterilmiş ve örnek olarak İzmit Körfezi'nde PAH akıbeti ele alınmıştır.

Eğitim ve Öğretim hayatım boyunca adalet, sabır ve hoşgörü içerisinde, bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren ve mesleğimin olması gerektiği şekilde icra edilebileceğini göstererek bu yolda ilerlerken feyzaldığım ve öğrencisi olmaktan daima onur duyacağım danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Çok değerli Hocama, yürütücülüğünü yaptığı 118Y155 numaralı projede yer alma fırsatı verdiği için bir kez daha teşekkür ederim. Jüri üyelerim Prof.Dr. Beyhan PEKEY'e ve Doç.Dr. Zehra BOZKURT'a katkıları dolayı teşekkür ederim.

118Y155 numaralı projede yer alan, bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatı yakaladığım hocalarım Doç.Dr. Halim Aytekin ERGÜL, Prof.Dr. Beyhan PEKEY, Dr.Öğr.Üyesi Mihriban CİVAN, Prof.Dr. Aykan KARADEMİR ve Dr.Öğr.Üyesi Aşkın BİRGÜL'e çok teşekkür ederim. Aynı projenin, modelleme ve laboratuvar grubunda yer alan arkadaşlarım İpek TEZYAPAR, Suheyl ÇAVUŞOĞLU ve Tuğba AYAZ'a tez çalışmamda olan katkıları için ayrıca teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 118Y155 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a ve tez çalışmasını destekleyen Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje Numarası: 2019/059) teşekkür ederim.

Hayatım boyunca, manevi ve maddi desteğini esirgmeden daima yanımda olan ve tecrübeleriyle bana yön veren kuzenim Doç.Dr. Kerem KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını yayımlayabiliyor olmamdaki ilk ve en büyük katkı şüphesiz ailemin, anne ve babamındır. Kendilerine layık bir evlat olmuş olmayı umarak, her zaman yanımda olan, desteklerini, yardımlarını, düşüncelerini esirgemeyen değerli

aileme, bilhassa bu günlere gelmeme olanak sağlayan babam Rıdvan HASANOĞLU'na ve annem Ülviye HASANOĞLU'na, kardeşlerim Zeynep İMAMOĞLU, Hatice HASANOĞLU ve Zehra HASANOĞLU'na özverili emekleri için teşekkür ederim.

Daima arkamda olduğunu bildiğim abim Ahmet HRALOĞLU'na, manevi maddi desteği için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca ilgi ve destekleri ile beni şereflendiren tüm arkadaşlarıma, ağabeylerime ve ablalarıma da yardımlarından ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Aralık-2019

Sümeyye HASANOĞLU



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Çevresel Modelleme	4
1.2. Fugasite Tabanlı Çok-Ortamlı Akıbet Modeli Metodolojisi.....	5
1.3. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	6
2. İZMİT KÖRFEZİ'NDE POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBON KİRLİLİĞİNİN TARİHÇESİ.....	10
2.1. İzmit Körfezi'nin Oşinografik ve Çevresel Özellikleri.....	10
2.2. İzmit Körfezi'nde Kirletici Kaynakları.....	14
2.3. Körfezde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Kirliliğinin Tarihçesi.....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	30
3.1. Fugasite Yaklaşımı.....	30
3.2. Model Uygulamaları	36
3.3. Belirsizlik Analizi	43
3.4. Hassasiyet Analizi.....	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
4.1. Seviye-I ve Seviye-II Fugasite Modelleri	46
4.2. Fugasite Oranları.....	51
4.3. Hava-Su değişim Modeli	52
4.4. Sediment Modeli	55
4.5. Belirsizlik Analizi	56
4.5.1. fsu/fh oranındaki belirsizlik	57
4.5.2. fs/fsu oranındaki belirsizlik.....	59
4.5.3. Hava-su değişim modelindeki belirsizlik.....	61
4.6. Hassasiyet Analizi.....	63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
EKLER.....	74
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	79
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	İzmit Körfezi'ne akan önemli dereler	15
Şekil 2.2.	İzmit Körfezi kıyı sularında PAH bileşikleri konsantrasyonlarının zamansal değişimi	21
Şekil 2.3.	İzmit Körfezi yüzey sedimentlerinde PAH bileşikleri konsantrasyonlarının ($\mu\text{g}/\text{kg}$) zamansal değişimi	26
Şekil 2.4.	İzmit Körfezi kıyı sularında t-PAH konsantrasyonları (1999-2002)	27
Şekil 2.5.	İzmit Körfezi sedimentlerinde t-PAH konsantrasyonları (1999-2002)	28
Şekil 4.1.	Öncelikli PAH bileşiklerinin su, askıda katı madde, sediment katıları ve sediment gözenek suyunda kütle dağılımı, Seviye I.....	46
Şekil 4.2.	Bazı PAH bileşiklerinin su, askıda katı madde, sediment katıları ve sediment gözenek suyunda kütle dağılımı, Seviye-II	49
Şekil 4.3.	Hava-su fugasite oranları	51
Şekil 4.4.	Sediment-su fugasite oranları	52
Şekil 4.5.	İzmit Körfezi'nde, 2006 yılı için PAH bileşikleri için havadan suya net difüzyon akı değerleri	54
Şekil 4.6.	İzmit Körfezi'nde, 2006 yılında PAH bileşiklerinin ıslak ve kuru çökme ile havadan suya akı değerleri ($\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$).....	55
Şekil 4.7.	İzmit Körfezi'nde, Eylül 2008 tarihi için sediment ortamına giren ve çıkan PAH akıları.....	56
Şekil 4.8.	fsu/fh için Monte Carlo simülasyon sonuçları sıklık grafikleri; a: AN, b:BaA, c: BaP, d: BbFIA, e: BkFIA, f: Chy, g: Fl, h: FIA, ı: PhA, i: Py	58
Şekil 4.9.	AN için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (fs/fsu oranı).....	60
Şekil 4.10.	FIA için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (fs/fsu oranı).....	60
Şekil 4.11.	Py için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (fs/fsu oranı).....	60
Şekil 4.12.	BbFIA için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (fs/fsu oranı).....	61
Şekil 4.13.	Havadan suya net transfer akılarındaki belirsizlik için Monte Carlo simülasyon sonuçları sıklık grafikleri; a: AN, b: BaP, c: BbFIA, d: BkFIA, e: Chy, f: Fl, g: FIA, h: PhA.....	62
Şekil 4.14.	fsu/fh oranı hassasiyet analizi sonuçları	63
Şekil 4.15.	fs/fsu oranı hassasiyet analizi sonuçları.....	64
Şekil 4.16.	Monte Carlo simülasyonu fs/fsu oranı hassasiyet analizi sonuçları; a: BbFIA, b:AN, c: FIA, d: Py.....	64

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Öncelikli PAH bileşiklerinin kimyasal yapıları.....	7
Tablo 1.2.	Seçilen PAH bileşiklerinin 25°C'deki fiziksel kimyasal özellikleri	9
Tablo 2.1.	İzmit Körfezi'nin her bir basenine ait temel fiziksel özellikler	13
Tablo 2.2.	İzmit Körfezi tabaklaşma verileri	14
Tablo 2.3.	İzmit Körfezi Liman Tesisleri.....	15
Tablo 2.4.	İzmit Körfezi'nde geçmişten günümüze hava, su, sediment ve biyota örneklerinde yapılmış çalışmalar ve inceledikleri kirleticiler.....	16
Tablo 2.5.	İzmit Körfezi'nde önceki çalışmalara ait, kirletici (PAH/t-PAH) gözlem verileri.....	17
Tablo 2.6.	1984 t-PAH konsantrasyon ölçüm verileri.	18
Tablo 2.7.	İzmit Körfezi havasında ölçülmüş konsantrasyon değerleri (ng/m ³).....	20
Tablo 2.8.	İzmit Körfezi kıyı sularında, doğu ve merkez basenleri ile tüm körfezde ortalama PAH konsantrasyonları (µg/l).....	22
Tablo 2.9.	İzmit Körfezi'nde sediment tuzakları örneklerinden elde edilen sediment çökme hız verileri	23
Tablo 2.10.	İzmit Körfezi sedimentlerinde, doğu ve merkez basenlerinde ortalama PAH konsantrasyonları (µg/kg).....	25
Tablo 2.11.	t-PAH ölçüm noktaları.....	27
Tablo 3.1.	Fugasite kapasitesi (mol/m ³ Pa) değeri denklemleri.....	31
Tablo 3.2.	D değeri (mol/saPa) denklemleri	33
Tablo 3.3.	İzmit Körfezi çevresel parametre değerleri	37
Tablo 3.4.	Literatürden alınan tipik transfer parametre değerleri	37
Tablo 3.5.	fsu-fh hesabı için kullanılan su konsantrasyonu (µg/L) ve hava konsantrasyonu (ng/m ³) değerleri	40
Tablo 3.6.	fs/fsu hesabı için kullanılan merkez basenisediment konsantrasyonu (µg/kg) ve su konsantrasyonu (µg/L) değerleri.....	41
Tablo 3.7.	İzmit Körfezi Dil Deresi DD2 ve B21 İstasyonları sediment trap sedimenti ve yüzey sedimenti örneklerinde PAH konsantrasyonları (µg/kg-kuru ağırlık); yarı ömür değerleri (sa)	42
Tablo 3.8.	Çevresel parametreler için varsayılan girdi güvenilirlik faktörleri.....	44
Tablo 3.9.	fsu/fh ve fs/fsu oranları hassasiyet analizi için ele alınan parametreler	45
Tablo 4.1.	Seçilen öncelikli PAH bileşiklerinin konsantrasyon (mol/m ³) dağılımı (Seviye-I model).....	47
Tablo 4.2.	Seçilmiş öncelikli PAH bileşiklerinin kütle dağılımı (kg) (Her bir bileşiğin sistemde bulunan toplam kütlesi 100 kg'dır.) (Seviye-I model)	48
Tablo 4.3.	Seviye II modeli D değerleri.....	49

Tablo 4.4.	Seviye-II model çıktıları (f, Pa; C, mol/m ³ ; τ , ay)	50
Tablo 4.5.	İzmit Körfezi sisteminde meydana gelen advectif ve reaktif kayıplar (mol/sa)	50
Tablo 4.8.	fsu/fh oranı %90 kesinlik aralığı belirsizlik sınır değerleri	57
Tablo 4.7.	fs/fsu oranı %90 kesinlik aralığı belirsizlik sınır değerleri.....	59
Tablo 4.9.	Havadan suya net transfer akılarının %90 kesinlik aralığındaki sınır değerleri	63
Tablo A.1.	İzmit Körfezi çevresel özellikleri – TÜBİTAK Projeleri referans listesi	75
Tablo A.2.	İzmit Körfezi deniz suyunda askıda katı madde konsantrasyonları (mg/L).....	76
Tablo A.3.	Z değerleri (mol/m ³ Pa).....	77
Tablo A.4.	D değerleri (mol/sa.Pa).....	78



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan, (m ²)
a	: Aerosol
adv	: Adveksiyon
B	: Difüzyon mesafesi (m)
C	: Konsantrasyon, (mol/m ³)
Cf	: Güvenirlik faktörü
çö	: Çökelme
D	: D değeri, (mol/saPa)
d	: difüzyon
E	: Emisyonla kimyasal girişi, (mol/sa)
f	: Fugasite, (Pa)
G	: Akış hızı, (m ³ /sa)
g	: Gömülüm
gsu	: Gözenek suyu
H	: Henry sabiti, (m ³ Pa/mol)
I	: Toplam kimyasal girişi, (mol/sa)
ıçö	: Islak çökelme
h	: Hava
K _{ow}	: Oktanol-su paylaşım katsayısı
k	: Kütle aktarım katsayısı, (m/sa)
kçö	: kuru çökelme
Q	: Süpürme oranı
P _L	: Sıvı buhar basıncı
R	: İdeal gaz sabiti, (m ³ Pa/molK)
r	: Resüspanسیون
rxn	: Reaksiyon
s	: Sediment
T	: Sıcaklık, (K)
U	: Hız, (m/sa)
V	: Hacim, (m ³)
Y	: Etkin sediment gözenek suyu difüzivitesi, (m ² /sa)
y	: Yağış hızı, (m/sa)
yçö	: Yaş çözünme
Z	: Fugasite kapasitesi, (mol/m ³ Pa)
Y _{oc}	: Organik karbon içeriği
ρ	: Yoğunluk, (kg/m ³)
τ	: Kalma süresi, (sa)
Φ	: Hacim oranı

Kısaltmalar

AKM	: Askıda katı madde
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı)
DDT	: Dikloro Difenil Trikloroethan
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
FID	: Flammable Ionization Detector (Alev İyonlaşma Dedektörü)
GC	: Gas Chromatography (Gaz Kromatografisi)
HPLC	: High Performance Liquid Chromatography (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi)
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PBDE	: Polibromlu Difenil Eter
PCB	: Poliklorlu Bifenil
PCDD/F	: Poliklorlu dibenzo-p-dioksin/furan
QWASI	: Quantitative Water Air Sediment Interaction (Kantitatif Su Hava Sediment Etkileşimi)
SPICOSA	: Science and Policy Integration for Coastal System Assessments (Kıyı Sistemlerinin Değerlendirilmesi İçin Bilim ve Politikaların Bütünleşmesi)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UVF	: Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy (Ultraviyole Floresans Spektroskopisi)

İZMİT KÖRFEZİ'NDE POLİAROMATİK HİDROKARBON KİRLİLİĞİNİN FUGASİTE BAZLI İNCELEMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, İzmit Körfezi'ne ait çevresel ortamlarda, derlenmiş gözlem verilerinden yararlanarak öncelikli poliaromatik hidrokarbon (PAH) bileşiklerinin akıbetini ve ortamlararası transferlerini açıklayacak bir fugasite-tabanlı çok-ortamlı model geliştirilmesi için ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fugasite-bazlı çok-ortamlı akıbet modellerinin temel görevi, bir çevresel sisteme giren kirletici kimyasalın ortamlararası dağılım eğilimi, ortamlararası taşınımı ve hangi ortamlarda ne kadar birikeceği konularında niceliksel bilgi üretmektir. Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 118Y155 numaralı “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akıbeti Modeli Geliştirilmesi” isimli projenin bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nce desteklenmiştir (Proje Numarası: 2019/059). Çalışma kapsamında 1999-2009 yılları arasında birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiş PAH örnekleme ve analiz çalışmaları verilerini kullanarak bu bileşiklerin hava, su ve sediment ortamlarındaki konsantrasyonlarının zamana bağlı ve mekânsal değişimleri incelenmiştir. Seviye I Fugasite modeli uygulanarak öncelikli PAH bileşiklerinin körfeze ait çevresel ortamlar arasında dağılım eğilimi belirlenmiştir. Seviye II model uygulaması ile PAH bileşiklerinin körfezdeki bekleme süreleri hesaplanmıştır. Oluşturulan hava-su, sediment-su değişim modelleriyle PAH'ların hava, su ve sediment ortamları arasındaki transfer süreçleri, yönleri ve akı değerleri tahmin edilmiştir. Hesaplanan fugasite oranları yardımıyla kirleticilerin ortamlararası denge durumu incelenmiştir. Derlenmiş gözlem verilerinin kısıtlı olması, model uygulamalarındaki belirsizliğin analizini gerekli kılmaktadır. Derlenmiş PAH verilerindeki ve varsayılan model parametrelerindeki belirsizliklerin model çıktılarındaki belirsizliğe etkilerini incelemek için Monte Carlo belirsizlik analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma, çok-ortamlı akıbet analizlerinde fugasite yaklaşımı kullanımının ülkemizdeki uygulanabilirliğini göstermek üzere İzmit Körfezi ve PAH grubu kirleticiler özelinde ilk uygulamaları içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok-ortamlı Çevresel Modelleme, Fugasite, İzmit Körfezi, Poliaromatik Hidrokarbonlar.

FUGACITY-BASED ANALYSIS OF POLYAROMATIC HYDROCARBON POLLUTION IN IZMIT BAY

ABSTRACT

In this thesis, preliminary studies were conducted to develop a fugacity-based multimedia model to examine the fate and intermedia transfers of priority polyaromatic hydrocarbon (PAH) compounds in the Izmit Bay environmental media, by using compiled observation data. The fundamental task of fugacity-based multimedia fate models is to produce quantitative information on the tendency of a pollutant to partition between various environmental media, its intermedia transfer, and its accumulation amounts in different media after entering into an environmental system. This research was conducted as a part of the project titled “Development of a Multi-Media Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Fate Model for İzmit Bay” supported by TUBITAK under the project number 118Y155. The thesis study was supported by Kocaeli University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project Number: 2019/059). Within the scope of the study, by using the data of sampling and analysis studies of PAH compounds that were carried out independently between the years 1999-2009 in the bay, temporal, seasonal and spatial variations of the concentrations of PAH compounds in the environmental media of air, water and sediment were investigated. By applying a Level-I fugacity model, distribution tendencies of priority PAH compounds among the environmental media of Izmit Bay was investigated. A Level-II fugacity model was applied to calculate residence times of PAH compounds in the bay. With air-water, sediment-water exchange models, transfer processes, directions and fluxes of PAHs between air, water and sediment environments were estimated. Intermedia equilibrium status of pollutants were determined by means of calculated fugacity ratios. Limited compiled observational data requires the analysis of the uncertainty in model applications. Monte Carlo uncertainty analysis method was used to investigate the effects of uncertainties in the compiled PAH data and other model parameters on the uncertainty in the model outputs. This study, which focuses on Izmit Bay and the PAH group of pollutants, includes the first applications that demonstrate the suitability of the fugacity approach in multimedia fate analysis in Turkey.

Keywords: Multimedia Environmental Modeling, Fugacity, Izmit Bay, Polyaromatic Hydrocarbons.

GİRİŞ

İnsan türünün doğada ortaya çıkışı ile mecburi olarak başlayan ve çağımızda had safhalarda devam eden tüketim ve üretim süreçleri, gezegenimiz genelinde çok-ortamlı bir kirliliğe sebebiyet vermiş durumdadır. Bu süreçler ve sebep oldukları çok yönlü kirliliğin tabiata yaptıkları, ancak çok sonraları, meydana gelen hayati olaylar ve kayıplar sonucunda idrak edilebilmiştir. Doğa ve canlı sağlığı üzerinde kronik ve akut etkilere yol açan bu çok-ortamlı kirliliğin, görünürde durdurulması ile ilgili atılmış ciddi bir adım bulunmamakta ya da yetersiz kalmaktadır. Esasen, yaşanabilir çevreye ulaşılabilmesi adına çalışmalar yürüten bilinçli toplum kesimlerinin ve bilim insanlarının varlığı, kontrolsüz gelişmekte ısrarlı insan, toplum, kurum ve kuruluşlar nedeniyle göz ardı edilmektedir.

Türkiye'nin kuzeybatısında, iç Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda yer alan İzmit Körfezi'nde bu kontrolsüz gelişme uzun yıllardan beri etki etmektedir. İzmit Körfezi, birçok endüstri ve limana ev sahipliği yapan Türkiye'nin en önemli ticari körfezlerinden biridir. Bu işletmeler, çevrelendiği yerleşim birimleri ve mevcut karayolları körfezin ve sakinlerinin sağlığını uzun bir süredir etkilemektedir. Kirlilik kaynakları, arıtılmış veya arıtılmamış, 1.906.391 sakininden (TÜİK, 2018) kaynaklanan evsel atıksu deşarjlarını, sanayi tesislerinden çıkan katı, sıvı, gaz atıkları ve gemilerden kaynaklanan atık ve sintine sularını içermektedir. Böyle karmaşık çevre kirliliği problemleri ile karşı karşıya olan bir bölgede çevresel yönetim planlarının yapılması ve takip edilmesi gerekmektedir. Böyle yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve yürütülmesi esnasında, karar verici mevkilere yardımcı olacak, çevre politikası temelli sorulara bilimsel cevaplar üretecek araçların büyük önemi vardır. Örneğin, Avrupa Birliği (AB) 6. çerçeve programı desteği ile gerçekleştirilen "Kıyı Sistemlerinin Değerlendirilmesi İçin Bilim ve Politikanın Entegrasyonu (Science and Policy Integration for Coastal System Assessments, SPICOSA)" projesi kıyı bölgesi sistemlerinin yönetiminde, ekolojik, sosyal ve ekonomik faktörleri göz önüne alarak sürdürülebilir politika seçeneklerinin üretilmesi için böyle destek araçları geliştirmeyi amaçlamaktadır. 2007 ve 2011 yılları arasında hayata geçirilen bu

projeye, Norveç'ten Portekiz'e, Portekiz'den Türkiye'ye kadar değişen 18 farklı kıyı bölgesi dahil edilmiştir. Türkiye'den, sadece, kirliliğin yoğun olduğu İzmit Körfezi alınmıştır. Projeye, toplamda 21 ülkeden 54 kurun ortaklık etmiştir. İzmit Körfezi için Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ile TÜBİTAK MAM'ın ortak bir şekilde yürüttüğü projede özellikle sanayiden kaynaklanan kirlilik sorunları incelenmiştir (SPICOSA, 2008).

Bu çalışmanın bir parçası olduğu, 118Y155 numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenen “İzmit Körfezi İçin Çok-Ortamlı Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Akıbeti Modeli Geliştirilmesi” projesi kapsamında geliştirilen modeller, karar-destek sistemlerine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Bu çalışma, İzmit Körfezi'nde çevre yönetim politikaları üretilmesine yardımcı bir araç olarak kullanılmak üzere geliştirilecek bir çok-ortamlı akıbet modelinin ön uygulamalarını içermektedir. Bu tez çalışmasında 118Y155 numaralı TÜBİTAK projesi dahilinde İzmit Körfezi'ne özgü ilk fugasite-bazlı çok-ortamlı akıbet modelleri geliştirilmiştir. Çalışma iki ana hedef içermektedir: (1) İzmit Körfezi'nin çevresel özellikleri ve körfezde PAH kirliliğine dair çalışmalardaki verilerin sentezlenerek, kavramsal model için geniş tabanlı çevresel veri setlerinin hazırlanması ve PAH kirliliğinin tarihçesinin ortaya konması; (2) derlenmiş gözlem verilerinden yararlanarak öncelikli PAH bileşiklerinin akıbet ve transferlerini açıklayacak bir fugasite-tabanlı çok-ortamlı model geliştirilmesi için ön çalışmaların tamamlanması.

Bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de çok-ortamlı kirletici akıbet modellerinde fugasite yaklaşımı kullanımı ve çalışma kapsamında incelenecek poliaromatik hidrokarbon (PAH) kirleticileri hakkında genel bilgiler yer almaktadır.

Bölüm 2'de çalışma sahası olarak seçilmiş İzmit Körfezi ve çevresel özelliklerine dair mevcut veriler hakkında bilgiler verilmiş, geçmişten günümüze yapılmış çalışmalar sonucu elde edilmiş PAH bileşiklerine dair kirlilik gözlem verileri derlenmiştir.

Konsantrasyon tabanlı çok-ortamlı kütle dengesi modellerine göre daha basit ve anlaşılabilir bir model altyapısı sunan fugasite yaklaşımı metodolojisinin çok-ortamlı akıbet modellerinde kullanımı yaygındır. Bölüm 3'de, çok-ortamlı çevresel akıbet modellerine fugasite yaklaşımının entegrasyonu ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır.

Hava, su ve sediment ortamları arasındaki kütle transfer süreçleri ve bu süreçlerin açıklanmasında kullanılan fugasite oranları, fugasite-bazlı değişim modelleri ile Seviye-I, Seviye-II, Seviye-III, Seviye-IV fugasite modelleri açıklanmaktadır.

Bölüm 4’te, İzmit Körfezi sistemi için fugasite yaklaşımı kullanılarak geniş kapsamlı bir kirletici akıbeti modeli geliştirilmesi üzerine ilk model uygulamaları ve sonuçları yer almaktadır. Bölüm 5’te ise yapılan modelleme uygulamalarının özeti ve sonuçları verilmiştir.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çevresel Modelleme

Modeller, karmaşık bir sistem veya olayın sadeleştirilmiş bir resmi veya benzetmesi olabilen, çeşitli fikirler, resimler, araç ve gereçler, tablolar, matematiksel algoritmalar ve formüllerin kullanımı ile oluşturulan düzeneklerdir. Doğadaki sistem ve olayların, karşılaşılan problemlerin, hayata geçirilmesi planlanan projelerin meydana geliş ve işleyiş biçimlerinin anlaşılabilmesi amacıyla oluşturulurlar (Günbatar ve Sarı, 2005; Erbaş ve diğ., 2014).

Çevresel sistemler (örneğin, yüzey suları, yeraltı suları, atmosfer, toprak, sediment) sürekli olarak, hızlı nüfus artışı, iklim değişikliği, kirlilik gibi insan kaynaklı sorunlardan etkilenmekte ve deprem, sel gibi doğa olaylarına maruz kalmaktadırlar. Bu bağlamda, bir çevresel sistem için matematiksel modellere başvurulması, ilgili sistemin mevcut durumunun ortaya çıkarılmasını, planlanan senaryolara ait olası sonuçların değerlendirilmesini ve iyileştirme faaliyetlerinin etkilerinin izlenebilmesini sağlamaktadır (Tezyapar, 2019). Matematiksel modellerin deneysel çalışma yürütmenin mümkün olmadığı, uzun zaman gerektirdiği ve maliyetli olduğu durumlarda da kullanımı mümkündür. Kirleticiler için çevresel akıbet modellerine, atmosferik taşınım modelleri (Zhang ve diğ., 2017), nehirlerde kimyasalların taşınımı için hidrolojik modeller (Tezyapar, 2019), fizyolojik bazı farmakokinetik modeller (Sonne ve diğ., 2014; Ke ve diğ., 2018) örnek verilebilir.

Çevresel kirletici akıbeti modelleri, tek-ortamlı çevre modelleri ve çok-ortamlı çevre modelleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Peng et al, 2002). Tek ortamlı çevre modelleri tek bir kompartmandan oluşan modellerdir. Çevrenin incelenmek üzere seçilen bir bölümüne kompartman denilmektedir. Bir kirleticinin akıbet ve taşınımını incelemek üzere yeraltı suyu tek kompartman olarak seçilebileceği gibi, bir nehir veya durgun bir göl sistemi de tek bir kompartman olarak seçilebilir. Tek-ortamlı modellere dair örnekleri çoğaltabilmek mümkündür ve bu modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak tek-ortamlı modeller her türlü çevresel problem için uygun

olmayabilmektedir. Örneğin, atmosferde bulunan bir PAH bileşiği kuru ve ıslak çökme prosesleri sonucu denizlere ve oradan da sedimentlere geçebilmektedir. Dolayısıyla sadece atmosferin ilgili ortam olarak seçilmesi kirliliğin bütüncül bir analizi için yeterli olmayacaktır. Bu durum, çok-ortamlı çevre modellerinin geliştirilmesi için en önemli motivasyondur.

Geliştirilme ve uygulama başlangıcı 1978’li yıllara dayanan çok-ortamlı çevre modelleri, kimyasal kirleticilerin hava, su, toprak, bitki örtüsü ve sedimentler gibi değişik bölgeler arasındaki değişimini, taşınımını veya bozunumunu belirlemeyi amaçlamaktadır (Macleod et al, 2010). Çok ortamlı çevre modellerinde kompartman sayısı için herhangi bir kısıtlama yoktur. Çevrenin üç kompartmana ayrılabilmesi mümkün olduğu gibi sekiz kompartmana da ayrılması mümkün olmaktadır. Belirlenen her bir kompartman için kimyasal girdilerinin (diğer kompartmanlardan taşınım, çevresel emisyonlar) ve çıktılarının (diğer kompartmanlara taşınım, bozunum, modellenen bölge dışına kayıplar) tanımlanmasıyla kütle dengesi denklemleri oluşturulur. Örneğin, göl ve körfez sistemleri için hava, su ve sediment kompartmanlarından oluşan Kantitatif Su Hava Sediment Etkileşimi (Quantitative Water Air Sediment Interaction, QWASI) modelleri geliştirilmiştir (Mackay ve diğ., 1983). Bu üç çevresel ortam arasındaki kütle transfer süreçleri belirlenmekte ve her bir kompartman için kütle korunumu denklemleri oluşturulmaktadır. Çok-ortamlı kütle dengesi yaklaşımı ile oluşturulan bu modeller, göl ve körfezlerde organik ve inorganik kirleticilerin akıbetini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Mackay ve Diamond, 1989; Gokgoz-Kilic ve Aral, 2008; Xu ve diğ., 2013; Mackay ve diğ., 2014; Liu ve diğ., 2017; Liu ve diğ., 2019).

1.2. Fugasite Tabanlı Çok-Ortamlı Akıbet Modeli Metodolojisi

Fugasite kavramının çok-ortamlı akıbet modellerinde kullanımı yaygın olup ortamlar arası kirletici taşınımının matematiksel ifadesini, konsantrasyona oranla, kolaylaştırdığı için tercih edilmektedir. Fugasite yaklaşımıyla çevresel sistemlerin modellenmesinde ilk iş olarak her bir kompartman için kimyasal girdi (çevresel emisyonlar, diğer kompartmanlardan taşınım) ve çıktılarının (diğer kompartmanlara taşınım, bozunum, modellenen bölge dışına kayıplar) tanımlanmasıyla bir kütle dengesi denklemi seti oluşturulur. Daha sonra, kütle dengesi denklemlerinin çözümü

sonucunda, modellenen her kompartman içerisindeki kirleticinin fugasitesinin (ve de konsantrasyonunun) zamana bağlı değişimi belirlenir. Çeşitli varsayımlarla model denklemlerinin basitleştirilmesi (örneğin, kompartmanlar arası denge varsayımı, kararlı durum varsayımı) veya karmaşıklaştırılması (örneğin, modellenen sistemin kompartmanlara ayrılması) mümkündür. Fugasite yaklaşımının kullanımı, bir ortamdan diğer bir ortama geçerken kirleticinin izlediği yolun anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır (Gokgoz-Kilic, 2008). Fugasite-tabanlı çevresel modeller, birçok araştırmacı tarafından çeşitli çevresel ortamlarda farklı kimyasalların akıbetini tahmin etmek için yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Li ve diğ., 2006; Wang ve diğ., 2012; Huang ve Batterman, 2014; Huang ve diğ., 2019). Fugasite yaklaşımı ile çok-ortamlı akıbet modelleri geliştirilmesi yöntemine dair ayrıntılar Mackay (2001)'de bulunabilir. Bu tez çalışmasında fugasite metodolojisi Bölüm 3'te incelenmektedir.

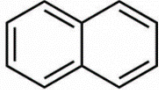
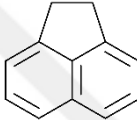
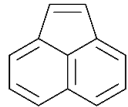
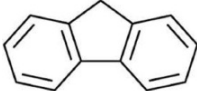
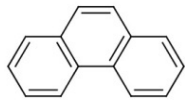
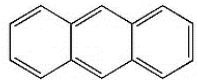
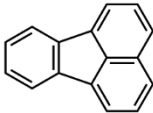
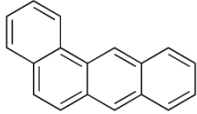
1.3. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHlar), iki veya daha fazla benzen halkasından oluşan kompleks bir organik bileşik sınıfıdır. Odun, kömür, petrol ürünleri ve bitki örtüsü gibi organik malzemelerin tam yanmasının gerçekleşmemesi sonucu oluşmakta (Ravindra ve diğ., 2008), çevreye, doğal ve antropojenik faaliyetler sonucu yayılmaktadır. Doğal yollarla çevreye salınımları, antropojenik emisyonlarla karşılaştırıldığında, daha az önemli olup orman yangınları, volkanik patlamalar, doğal petrol sızıntıları ve biyojenik emisyonlardan oluşmaktadır. Başlıca antropojenik kaynaklar ise motorlu taşıtlar, endüstriyel kaynaklar (ticari ısı ve enerji üretimi; atık yakma; demir ve çelik, kok, alüminyum, çimento ve kauçuk lastik üretim tesisleri; petrokimya ve ilgili endüstriler), atık yakımı ve sigara gibi hareketli ve sabit kaynakları içermektedir (Alver ve diğ., 2012). PAH'ların çoğu bu kaynaklardan, yakma prosesleri sonucunda yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Naftalen, asenaften, floren, fenantren, antrasen, floranten ve piren gibi bazı PAH'ların ise özellikle ticari olarak üretimi gerçekleştirilmektedir (ATSDR, 1995; Ravindra ve diğ., 2008).

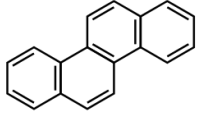
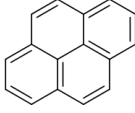
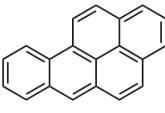
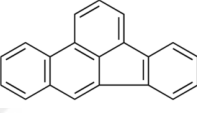
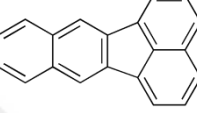
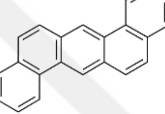
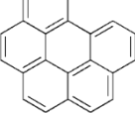
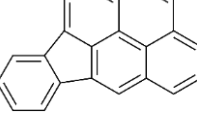
Tabiatta 100'ün üzerinde PAH bileşiği bulunmaktadır (ATSDR, 1995). Atmosferde her yöne yayılma eğilimleri, besin zincirinde biyolojik birikme özellikleri, uzun mesafeli taşınma potansiyelleri, çevresel ortamlarda bozunmaya dirençli olmaları ve

toksik etkilerinden dolayı PAH'lar Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı (Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR), Öncelikli Tehlikeli Maddeler Listesi'nde 9. sırada yer almaktadır. Bu bileşiklerden özellikle 16 tanesi (Naftalin (NaP), Asenaften (AcN), Asenaftilen (AcNP), Floren (Fl), Fenantren (PhA), Antrasen (AN), Floranten (FlA), Benzo(a)antrasen (BaA), Krisen (Chy), Piren (Py), Benzo(a)piren (BaP), Benzo(b)loranten (BbFlA), Benzo(k)loranten (BkFlA), Dibenzo(a,h)antrasen (dBahA), Benzo(g,h,i)perilen (BighP), İndeno(1,2,3-cd)piren (IP)) A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency -EPA) tarafından öncelikli sayılmaktadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Öncelikli PAH bileşiklerinin kimyasal yapıları

Bileşik	Kısa yazılışı	Formülü	Yapısı
Naftalin	NaP	C ₁₀ H ₈	
Asenaften	AcN	C ₁₂ H ₁₀	
Asenaftilen	AcNP	C ₁₂ H ₈	
Floren	Fl	C ₁₃ H ₁₀	
Fenantren	PhA	C ₁₄ H ₁₀	
Antrasen	AN	C ₁₄ H ₁₀	
Floranten	FlA	C ₁₆ H ₁₀	
Benzo(a)antrasen	BaA	C ₁₈ H ₁₂	

Tablo 1.1. (Devam) Öncelikli PAH bileşiklerinin kimyasal yapıları

Bileşik	Kısa yazılışı	Formülü	Yapısı
Krisen	Chy	C ₁₈ H ₁₂	
Piren	Py	C ₁₆ H ₁₀	
Benzo(a)piren	BaP	C ₂₀ H ₁₂	
Benzo(b)floranten	BbFIA	C ₂₀ H ₁₂	
Benzo(k)floranten	BkFIA	C ₂₀ H ₁₂	
Dibenzo(a,h)antrasen	dBahA	C ₂₂ H ₁₄	
Benzo(g,h,i)perilen	BghiP	C ₂₂ H ₁₂	
İndeno(1,2,3-cd)piren	IP	C ₂₂ H ₁₂	

PAH bileşikleri, su (Pandit ve diğ., 2006; Ke ve diğ., 2017; Dede ve diğ., 2018), toprak (Çetindamar ve diğ., 2014; Çetin, 2016), sediment (Terzi, 2011; Balcıoğlu ve diğ., 2018; Aghadadashi ve diğ., 2019), hava (Pandit ve diğ., 2006; Gaga ve diğ., 2012), yağmur suyu (Pekey ve diğ., 2007), sokak tozu ve yiyecekler (Gysel ve diğ., 2018; Paris ve diğ., 2018) vb. ortamlarda tespit edilmiştir. Kanser ile ilişkisi ilk defa baca temizlikçilerinde saptanan (Alver ve diğ., 2012) PAH'ların atmosfere yayılımları, genel olarak trafik, evsel ısınma, sanayi tesisleri baca gazları, yakma tesisleri prosesleri vasıtasıyla olmaktadır. Sucul ortamlara ise, petrol dökülmeleri, evsel/endüstriyel atık su deşarjları, yüzey sularının sızması, atmosferik partiküllerin çökmesi gibi sebeplerle girebilmektedir. Su ortamlarına böyle çeşitli yollarla giren

PAH'lar sudaki katı maddelerle beraber sedimentlere çökmektedir. PAH'lara yüksek konsantrasyonlarda maruz kalmak çeşitli kanser türlerine ve vücuttaki sistemlerde yıkıcı etkilere neden olabilir (Taghvaei ve diğ., 2018; Petit ve diğ., 2019). PAH'ların çevrede farklı ortamlarda yayılmalarını, çevresel ortamların özellikleri yanında suda çözünürlük, buhar basıncı, oktanol-su paylaşım katsayısı (K_{ow}) gibi fizikokimyasal özellikler (Tablo 1.2) belirlemektedir (Alver ve diğ., 2012). Molekül ağırlıkları arttıkça suda çözünürlükleri ve buhar basınçları azalmakta buna karşılık mutajen ve kanserojen özellikleri artmaktadır. Yüksek oranda hidrofobik özellik göstermeleri (yüksek K_{ow} değerleri) ve suda çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle su ve sediment ortamlarında partiküllere tutunmuş halde bulunurlar. PAHların, hava ve su ortamları arasındaki yayılımında çevresel rol oynayan bir diğer fizikokimyasal özellik Henry yasası sabitidir (H değeri). Henry yasası sabiti, denge durumunda bir kimyasal maddenin, havadaki kısmi basıncının çözülmüş fazdaki mol kesrine oranı olarak tanımlanmaktadır. Hava-su değişim akılarının hesaplanmasında esastır (Bamford ve diğ., 1999). Kimyasalların önemli bir diğer özelliği, sıvı fazdan gaz haline geçerken sıvı yüzeyine yaptıkları basınçtır. Sıvı buhar basıncı (P_L) olarak adlandırılan bu özellik, uzun yıllar boyunca kimyasalların ortamlar arasında paylaşımının açıklanmasında kullanılmıştır (Odabaşı ve diğ., 2006).

Tablo 1.2. Seçilen PAH bileşiklerinin 25°C'deki fiziksel kimyasal özellikleri

Bileşik	MA ^a (g/mol)	BB ^a (Pa)	Çöz. ^a (mg/L)	H ^a (m ³ Pa/mol)	log K_{ow} ^a	log P_L ^b (Pa)
Naftalin	128,171	1,04E+01	3,10E+01	4,30E+01	3,37	1,51 ^c
Asenaften	154,207	3,00E-01	3,80E+00	1,22E+01	3,92	0,17
Asenaften	152,192	9,00E-01	1,61E+01	8,40E+00	4	0,35
Floren	166,218	9,00E-02	1,90E+00	7,87E+00	4,18	-0,24
Fenantren	178,229	2,00E-02	1,10E+00	3,24E+00	4,57	-1,07
Antrasen	178,229	1,00E-03	4,50E-02	3,96E+00	4,54	-1,11
Floranten	202,25	1,23E-03	2,60E-01	9,57E-01	5,22	-2,23
Benzo(a)antrasen	228,288	2,80E-05	1,10E-02	5,81E-01	5,91	-3,73 ^c
Krisen	228,288	5,70E-07	2,00E-03	6,50E-02	5,61	-3,90
Piren	202,25	6,00E-04	1,32E-01	9,19E-01	5,18	-2,38 ^c
Benzo(a)piren	252,309	7,00E-07	3,80E-03	4,60E-02	6,04	-5,03
Benzo(b)floranten	252,309		1,50E-03	6,66E-02 ^d	5,8	-4,80
Benzo(k)floranten	252,309	5,20E-08	8,00E-04	1,60E-02	6	-4,83
Dibenzo(a,h)antrasen	278,346	3,70E-10	6,00E-04	1,72E-04	6,75	-6,13
Benzo(g,h,i)perilen	276,33		2,60E-04		6,5	-6,10
İndeno(1,2,3-cd)piren	276,33		1,90E-04			-5,97

bla: belirlenen limitin altında

a: MA: Moleküler ağırlık; BB: Buhar basıncı; Çöz.: Çözünürlük; H: Henry sabiti; log K_{ow} (Mackay ve diğ., 2006)

b: P_L : Sıvı buhar basıncı (Odabaşı ve diğ., 2006)

c: Bu bileşikler için P_L değeri Lei ve diğ., (2002)'deki verilerden hesaplanmıştır.

d: Benzo(b)floranten için bu değer EPA tarafından geliştirilen kimyasalların fiziksel/kimyasal özellikleri ve çevresel akıbeti tahmin programı EPI Suite kullanılarak hesaplanmıştır (URL-5).

2. İZMİT KÖRFEZİ'NDE POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBON KİRLİLİĞİNİN TARİHÇESİ

2.1. İzmit Körfezi'nin Oşinografik ve Çevresel Özellikleri

Türkiye'nin önemli körfezlerinden biri durumunda olan İzmit Körfezi, Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda 40°41' - 40°47' kuzey enlemleri ve 29°21' - 29°57' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Başlangıcı Yelkenkaya Burnu olarak belirlenen körfez adını da aldığı kentin önünde son bulmaktadır. Yaklaşık olarak 50 km uzunluğa, en dar yeri Gölcük ilçesi ile Körfez ilçesinin doğusu arasında ve en geniş yeri Karamürsel ilçesi ve Hereke arasında olmak üzere 2-10 km arasında değişen genişliğe, 261 km²'lik yüzey alanına ve 18 km³'lük su kapasitesine sahip yarı kapalı bir körfezdır (Güven ve Ünlü, 2000; Öztürk ve diğ., 2000; Morkoç ve diğ., 2008; Tolun ve diğ., 2012). Ayrıca, 129,7 km'lik kıyı uzunluğuna sahiptir (Uzun, 2015). Doğal iki dar geçitle ayrılmış, doğu, merkez ve batı basenleri veya sırasıyla, iç, orta ve dış körfez olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Doğü baseni (Gölcük baseni) yaklaşık 16 km uzunluğunda ve ortalama 30 m derinliğinde olup körfezin en sığ bölümüdür. Ayrıca, 44 km² yüzey alanı ve 0,850 km³'lük su kapasitesi ile körfezin en küçük baseni olma özelliğini de taşımaktadır. Merkez basenine 2 km genişliğinde bir geçit ile bağlanmaktadır. En derin kısmı 208 m olan merkez baseni (Karamürsel baseni) ise 166 km² yüzey alanı ve 12,420 km³ su hacmi ile körfezin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Yaklaşık 20 km uzunluğundadır. Merkez baseninin güney kısmında derinlikleri maksimum 160 m ve 208 m olan iki derin küçük havza vardır. Batı baseni ile genişliği 2,7 km ve derinliği 45 m olan bir geçitle birleşmektedir. Körfezi Marmara Denizi'ne bağlayan batı baseninde ise derinlik 50 metreden başlayıp hızlı bir şekilde artmaktadır. Denize, genişliği 5,5 km olan bir eşik ile bağlanmaktadır (Baştürk ve diğ., 1985; İrtem, 1991; Giuliani ve diğ., 2017).

Körfez, oşinografik özellikleri bakımından Marmara Denizi ile aynı yapıya sahiptir. Marmara Denizi'nin hidrografik özellikleri temel olarak boğazlar arasındaki değişim

ile belirlenmektedir. Buna bağlı olarak Marmara Denizi'nde, Karadeniz'in İstanbul Boğazi'ndan giren düşük tuzlulukta ki sular ile Çanakkale Boğazi'ndan giren Akdeniz'in tuzlu sularının ayrıştığı bir tuzluluk tabakalaşması mevcuttur (Beşiktepe ve diğ., 1994). Bu tabakalaşmanın İzmit Körfezi'nde de hüküm sürdüğü; körfezin, üst kısımda az tuzlu (18-22 ppt) ve soğuk Karadeniz kökenli sular ile alt kısımda daha tuzlu (37,5-38,5 ppt) ve daha sıcak Akdeniz kökenli suların oluşturduğu iki tabakalı bir su ve akıntı sistemine sahip olduğu bilinmektedir. Mevsime bağlı olarak kalınlıkları değişebilen bu Akdeniz kökenli alt tabaka suları ile Karadeniz kökenli üst tabaka sularının arasında kalınlığı 7 m ile 24 m aralığında değişen bir ara/geçiş tabaka oluşmaktadır (Tuğrul ve Morkoç, 1990; Ergöl, 2016). Yaz aylarında minimum kalınlığıyla varlığını sürdüren bu geçiş tabakasında alt ve üst tabakadan farklı fiziksel/kimyasal özellikler görölmektedir (Ergöl, 2016). Dolayısıyla körfezde, birbirinden farklı karakteristik özellikler gösteren üç tabakanın mevcut olduğu söylenebilir. Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş iklimine sahip körfezde yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Yıllık yağış 783 mm ve yüzeyden buharlaşma 600 mm civarındadır (Algan ve diğ.,1999). Mevsime bağlı olarak 10-30 m tabaka kalınlığına sahip olabilen Karadeniz kaynaklı suların tuzluluk ve sıcaklığı yaz aylarında 22-24 ppt ve 20-24 °C arasında, kış aylarında ise 20-24 ppt ve 7-9 °C arasında değişiklik göstermektedir. Özellikleri önemli ölçüde mevsimsel değişiklik göstermeyen Akdeniz kaynaklı sular daha yoğun olup kalıcı bir piknoklin tabakası altında kalmaktadır. Tuzluluk ve sıcaklık değerleri sırasıyla 37,5-38,5 ppt ve 14-15 °C'dir (Tuğrul ve Morkoç, 1990).

İzmit Körfezi çevresinin coğrafi, fiziksel, meteorolojik karakteristikleri ile körfezin oşinografik özellikleri (örn. tabakalı su yapısı, tuzluluk, sıcaklık, askıda katı madde dağılımları, su bekleme süreleri, akıntı hızları) geçmişten günümüze detaylı olarak yürütölen çok sayıda bilimsel çalışma ile belirlenmiştir. Özellikle, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) MAM tarafından, körfezin bahsedilen özelliklerine ait çeşitli parametrelerin belirlenmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Tablo A.1). Kapsamlı saha çalışmaları ile körfezin yapısını inceleyen bu araştırmaların seksenli ve doksanlı yıllarda yoğunlaştığı görölmüştür. 2000'li yılların başlarında ise, 1999 yılında meydana gelen 7,4 büyüklüğündeki depremin körfezin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisini incelemek üzere

birtakım araştırmalar yapılmıştır. Ancak, depremin körfeze etkileri hakkında yapılan bu araştırmalar o dönemle sınırlı kalmış ve deprem sonrasında meteorolojik ve fizikokimyasal koşulların körfezin oşinografisi üzerine etkileri hakkında az sayıda çalışma yapılmıştır.

Dönemi itibari ile sanayileşmenin ilk aşamalarında bulunan  zmit Körfezi'nin oşinografik durumunu belirlemek amacıyla Kor ve diğ., (1974) tarafından T B TAK desteğiyle, " zmit Körfezi Kirlenmesinin Kontrolü" adlı bir proje gerçekleştirilmiştir. 15 Haziran 1972-15 Kazım 1973 tarihleri arasında körfez kirlilik durumunun tespiti için fiziksel (sıcaklık, görünüş, bulanıklık, renk, koku, çözünmüş madde, askıda katı madde, çökebilen madde), kimyasal (pH, özgül iletkenlik, çözünmüş oksijen (O), kimyasal oksijen ihtiyacı (KO ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOŞ)) ve bakteriyolojik (koliform bakteri) analizler yapılmıştır. Sonuçlarını, 5 Aralık 1969 ve 28 Ağustos 1970 arasında Artüz ve Kor (1970) tarafından " zmit Körfezi Kirlenmesinin Kontrolü Yönünde  n alışma Projesi"nden aynı analizler için elde edilen değerler ile kıyaslamışlar ve körfezde kirliliğin sürekli olarak artmakta olduğu nihai sonucunu raporlamışlardır.

 zmit Körfezi için, ulaşılabilen, detaylı oşinografik ve hidrografik veriler T B TAK desteğiyle, Balkaş ve diğ., (1985) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da mevcuttur. Balkaş ve arkadaşları (1985), "Determination of characteristics and self-purification capacity of Izmit Bay" isimli T B TAK projesinde Mayıs-Ağustos 1984 dönemine ait saha çalışmalarında askıda katı madde miktarlarını ölçmüş, tabakalar arasındaki akıntı hızları ve yönlerini tespit etmiştir. alışmalarının sonuçlarına göre körfezde, 1984 yılı Mayıs ve Temmuz aylarında, askıda katı madde konsantrasyonu genel olarak 70 ile 150 mg/L arasında değişmekteydi (Tablo A.2). Aynı proje kapsamında Baştürk ve diğ., (1985), Mayıs 1984-Mayıs 1985 döneminde aylık olarak gerçekleştirdikleri araştırmalarında körfez sularının fiziksel (sıcaklık, tuzluluk), kimyasal (pH, çözünmüş oksijen)  zelliklerini; tabakalaşma, düşey karışım ve sirkülasyonu ile ilgili hareketlerini incelemiş ve sonuçlarını projenin "Determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of Izmit Bay" isimli raporunda vermiştir. Baştürk ve diğ., (1985), körfezin batı, merkez ve doğu basenlerinin yüzey alanı, hacim ve batimetri gibi fiziksel özelliklerini belirlemiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. İzmit Körfezi'nin her bir basenine ait temel fiziksel özellikler (Baştürk ve diğ., 1985)

Bölge	Uzunluk (km)	Genişlik (km)	Maks. Derinlik (m)	Yüzey alanı (km ²)	Hacim (km ³)
Doğu	16	2-5	35	44	0,85
Merkez	20	3-10	180	166	12,420
Batı	17	3-5,5	1000	100	?

Oğuz ve Sur (1986) ve Tuğrul ve Morkoç (1990), Baştürk ve diğ., (1985)'deki verileri temel alarak körfezdeki suların dolaşımını araştırmışlardır. Körfezdeki su hareketlerini incelemişler ve bir taşınım ve su kalitesi modeli kullanarak, körfezin basenleri arasında su değişimi ve su değişim hızlarını hesaplamışlardır. Oğuz ve Sur (1986), körfezde tuz dengesini temel alarak geliştirdikleri hidrodinamik modelle mevsimsel sirkülasyonu detaylı bir şekilde ortaya koymuşlardır. Hidrostatik ve Boussinesq yaklaşımlarıyla lineer olmayan konvektif terimler, tabakalar arası kütle ve hacimsel değişimleri ve baskın rüzgâr yönünü hesaba katarak model denklemlerini kurmuşlardır. Körfezde mevsimsel olarak değişen üç tabakalı (Akdeniz suları kökenli alt tabaka, ara/geçiş tabaka, Karadeniz suları kökenli üst tabaka) bir sistem mevcut olmasına rağmen modellerinde iki tabakalı bir akıntı sistemini kabul etmişlerdir.

Algan ve diğ., (1999) körfezde belirledikleri farklı istasyonlarda Mart 1994 ve Temmuz 1995 tarihleri arasında toplamda altı defa olmak üzere su ve sediment örneklemeleri yapmışlardır. Askıda katı maddelerin (AKM) mekansal ve zamana bağlı dağılımını; mevsimsel sirkülasyon ve tabakalaşmanın bu dağılıma etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre, iki tabakalı bir su yapısının görüldüğü körfezde üst tabaka ilkbahar ve yaz aylarında 9 ile 18 m arasında değişmektedir. Ayrıca, alt ve üst tabakalar arasında mevsimsel olarak kalınlığı değişen bir ara tabakanın varlığı da gösterilmiştir (Tablo 2.2). Alt ve üst katmanlarda mevsimlere göre farklılık gösteren AKM konsantrasyonları yıl boyunca hem alt tabaka hem de üst tabakada ortalama 40 mg/l'dir. Yaz ayları boyunca, her iki tabakada da AKM konsantrasyonu su ortamında planktonik organizmaların artmasıyla artmıştır. Balkaş ve diğ., (1985) tarafından 1984 yılında elde edilen AKM konsantrasyonu ile 11 yıl sonrasında Mayıs ve Temmuz aylarında Algan ve diğ., (1999) tarafından saptanan AKM konsantrasyon değerleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. 1984 yılında Mayıs ve Temmuz aylarında AKM konsantrasyonları sırasıyla 27,6-209,2 mg/L ve 77,2-162,8 mg/L

iken (Balkaş ve diğ., 1985); 1995 yılı Mayıs ve Temmuz aylarında sırasıyla 12-47 mg/L ve 14-106 mg/L'dir (Algan ve diğ., 1999). İstasyonlarda deniz suyu örneklemelemlerinin yapıldığı derinlikler ile AKM konsantrasyonları arasında bir ilişki söz konusudur. İlgili çalışmalar, aynı konumdaki istasyonları da içermiş olmalarına rağmen, birbirinden bağımsız noktalarda ölçümler yapmışlardır. Ayrıca, örneklemelemler yapıldıkları derinliklerin farklı olması da AKM konsantrasyonlarının birbirinden farklı değerler almasını açıklayabilir. Balkaş ve diğ., (1985), toplam AKM deneylerini membran filtrasyon metodu (0,45 µm GF/C filtre kağıdı ile) kullanarak yaptığını raporlamıştır. Algan ve diğ., (1999)'un yayınında AKM ölçüm prensibi detayına rastlanmamıştır.

Tablo 2.2. İzmit Körfezi tabaklaşma verileri (Algan ve diğ., 1999)

Dönem	Kalınlık (m)		
	Üst tabaka	Ara tabaka	Alt tabaka
Mart 94	19	14	33
Ağustos 94	14	6	20
Şubat 95	14	12	26
Mayıs 95	9	17	26
Temmuz 95	15	13	28

2.2. İzmit Körfezi'nde Kirletici Kaynakları

İzmit Körfezi etrafında konuşlanmış endüstrilerin çoğu atık sularını kanallar aracılığıyla körfeze ve bazıları da körfeze dökülen derelere deşarj etmektedir. Kirletici maddelerin körfeze ulaşımına aracılık eden en önemli dereler şunlardır: Dil Deresi, Çınarlı Dere, Doğu Kanalı (Kumla Deresi), Kiraz Deresi, Hamam Dere, Kazıklı Dere (Şekil 2.1). Bu derelerden en geniş drenaj alanına sahip (125,8 km²) ve körfeze sürekli akış halinde olanı Dil Deresidir (İrtem, 1991). Dil Deresi körfezin merkez kısmına akmaktadır. Körfeze, toplam tatlı su akışının %60'ının Dil Deresi ile girdiği tahmin edilmektedir (Telli-Karakoç ve diğ., 2002a). Dil Deresi çevresindeki büyük fabrikalar yaptıkları sınırlı arıtmadan sonra katı ve sıvı atıklarını Dil Deresi'ne deşarj etmektedir. 1967-1982 yılları arasındaki ortalama debisi 1,125 m³/sn (İrtem ve diğ., 1991), 2000'li yıllarda 2 m³/sn (Pekey ve diğ., 2005) ve 2007-2011 yılları aralığında ise 2,22 m³/sn (SPICOSA, 2011) olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.1. İzmit Körfezi'ne akan önemli dereler

Körfez çevresinde işletim ve üretimde olan tesis ve limanlardan (Tablo 2.3) özellikle bazıları (TÜPRAŞ, Petrol Ofisi, PETKİM, Koruma Klor Alkali, SOLVENTAŞ), saha çalışmalarında odak noktası olmuştur. Petrol rafinerisi TÜPRAŞ, petrol nakliyatlarının yapıldığı PETKİM, SOLVENTAŞ ve Petrol Ofisi, Lastik, çelik tel, ampul, plastik, maya ürünleri, gaz, mezbaha, ilaç, gıda, elektrolitik bakır endüstrilerinden oluşan 36 büyük fabrikanın atıklarının boşaltıldığı Doğu Kanalı, hipoklorit atıkları üreten Koruma Klor Alkali önemli deşarj noktalarıdır (Telli-Karakoç ve diğ., 2002a). Tablo 2.3'te yer alan tesisler ve burada bahsedilmemiş birçok önemli tesis, deşarjları ile kirleticilerin körfeze ulaşmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Tablo 2.3. İzmit Körfezi Liman Tesisleri (Şahin, 2015)

Petrol ve Ürünleri	Lpg/Lng	Kimyasal	Genel Kargo ve Dökme Kuru Yük	Konteyner	Ro-Ro
Yılport	Aygaz	Aksa	Yılport	Limaş	Efesanport
Solventaş	Milangaz	Solventaş	Limaş	Evyap	Ford Otosan
TCDD Derince	Habaş	Limaş	Akçansa	TCDD Derince	TCDD Derince
Petline		Altintel	Autoport	Yılport	Autoport
Tavşancıl Asfalt		Marmara Transport	Efesanport		Evyap
Petrol Ofisi		Klor Alkali	Gübretaş		
Opay		POLİPORT	Altintel		
Altintel		EVYAP	Kroman		
Shell		Gübretaş	Çolakoğlu		
Total		Aktaş	Diler		
Turkuaz			Poloport		
Tüpraş			Nuh Çimento		
			Rota		
			Aslan Çimento		
			TCDD Derince		

2.3. Körfezde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Kirliliğinin Tarihçesi

İzmit Körfezi, Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda yer alan, birçok endüstri ve limana ev sahipliği yapan, Türkiye'nin en önemli körfezlerinden biridir. Çevrelediği yüksek yoğunluklu sanayi tesisleri, limanlar, karayolları ve yerleşim birimlerinden kaynaklanan kirlilik, uzun yıllardan beri bölgeye etki etmektedir. Bu, yoğun endüstriyel gelişim üzerine, İzmit Körfezi'nde, 1980'li yıllardan günümüze kadar birtakım bilimsel çalışmalar yürütülmüş, özellikle 2000'li yıllarda kimyasal kirlilik üstüne yapılan saha çalışmalarında büyük bir artış gözlemlenmiştir (Tablo 2.4). Yapılan araştırmalar sonunda, bölgeye ait abiyotik (hava, su, sediment) ve biyotik (balık, midye) ortamlarda önemli ölçüde PAH sınıfı organik kirleticiye rastlanmıştır. Bu ortamlardaki PAH miktarlarının birbirinden bağımsız ve farklı zamanlarda gerçekleştirilmiş izleme çalışmaları ile ölçüldüğü görülmüştür (Tablo 2.5).

Tablo 2.4. İzmit Körfezi'nde geçmişten günümüze hava, su, sediment ve biyota örneklerinde yapılmış çalışmalar ve inceledikleri kirleticiler

Kaynak	Ağır metal	PAH	t-PAH	PCB	PCDD/F	PBDE	DDT
Balkaş ve diğ., 1985			✓				
Yaşar ve diğ., 2001	✓						
Morkoç ve diğ., 2007			✓				
Tolun ve diğ., 2001	✓		✓				
Okay ve diğ., 2001			✓				
Telli-Karakoç ve diğ., 2002a ¹		✓	✓	✓			
Tolun ve diğ., 2006		✓					
Morkoç ve diğ., 2008			✓				
Okay ve diğ., 2003			✓				
Telli-Karakoç ve diğ., 2002b ²		✓	✓				
Pekey ve diğ., 2005	✓						
Pekey, 2006	✓						
Ünlü ve Alpar, 2004			✓				
Karakaş ve diğ., 2004		✓					
Karakaş ve Pekey, 2005		✓					
Pekey ve diğ., 2007		✓					
Giuliani ve diğ., 2017		✓		✓		✓	
Gaga ve diğ., 2012		✓					
Ergül ve diğ., 2011		✓					
Ergül ve diğ., 2013	✓						
Pekey ve diğ., 2004	✓						
Gedik ve diğ., 2010				✓			
Karademir ve diğ., 2013					✓		
Çakıroğulları ve Secer, 2011				✓			✓
Bakoğlu ve diğ., 2005					✓		
Çetin ve diğ., 2017		✓		✓			
Çetin ve diğ., 2018		✓		✓			
Yurdakul ve diğ., 2019		✓		✓			

¹ Telli Karakoç ve arkadaşlarının 1999 yılı Nisan ayında yaptıkları çalışmalarını içeren makale

² Telli Karakoç ve arkadaşlarının 2001-2002 yıllarında yaptıkları çalışmalarını içeren TÜBİTAK raporu.

Tablo 2.5. İzmit Körfezi'nde önceki çalışmalara ait, kirletici (PAH/t-PAH) gözlem verileri

Kaynak	Kirletici	Örnekleme zamanı	Matris
Balkaş ve diğ., 1985	t-PAH, Hg	1984	Yüzey suları
Morkoç ve diğ., 2007	ÇO, BOİ, Klorofil a, TSS, TN, TP, t-PAH, (SiO ₄) ⁻⁴	Şubat 1999-Eylül 2000	Yüzey suları
Tolun ve diğ., 2001	OC, t-PAH, İz elementler (Cd, Al, As, Pb, Hg ve Cu)	1999	Sediment
Okay ve diğ., 2001	Bitki nütrientleri (NO ₃ -N, PO ₄ ⁻³ , (SiO ₄) ⁻⁴), ÇO, Klorofil a, t-PAH	Nisan ve Eylül 1999	Deniz suyu Sediment Midye
Telli-Karakoç ve diğ., 2002a	PAH, PCB	Nisan 1999	Deniz suyu Sediment Midye
Tolun ve diğ., 2006	PAH	Haziran ve Eylül 1999	Sediment
Morkoç ve diğ., 2008	t-PAH, TOK, TSS, TN, NH ₄ -N, NO ₃ -N, TP, PO ₄ -P	Nisan 1999-Eylül 2000	Deniz suyu Evsel, endüstriyel deşarj kanalları
Okay ve diğ., 2003	t-PAH	Eylül 1999-Mart 2001	Deniz suyu Sediment Midye
Telli-Karakoç ve diğ., 2002b	NH ₄ -N, PO ₄ - P, (SiO ₄) ⁻⁴ , AKM, Klorofil, PCB, PAH, t-PAH	Haziran 2001-Nisan 2002	Deniz suyu Sediment Midye, Balık
Ünlü ve Alpar, 2004	t-PAH	2002	Sediment
Karakaş ve diğ., 2004	PAH	Hava örnekleme: Eylül 2002-Temmuz 2003 Diğer örnekleme: Şubat ve Haziran 2002	Hava, Sediment Karasal kaynaklı su, Yüzey suyu Midye, Balık
Karakaş ve Pekey, 2005	PAH	Şubat ve Haziran 2002	Sediment
Pekey ve diğ., 2007	PAH	Eylül 2002-Temmuz 2003	Hava
Giuliani ve diğ., 2017	PAH, PCB, PBDE	1991, 2005	Sediment
Gaga ve diğ., 2012	PAH	Ocak 2006-Nisan 2006 Temmuz 2006-Ekim 2006	Hava
Ergül ve diğ., 2011	Eser element, CaCO ₃ , BSI, PAH, PCB, PCDD/F, TOM, TOK, Radyonüklid	Nisan 2008-Mayıs 2010	Sediment Midye, Mikroalg
Çetin ve diğ., 2017	PAH, PCB	Şubat 2015-Şubat 2016	Hava

Körfezde PAH kirliliği seviyesinin ve kaynaklarının tespiti için gerçekleştirilmiş çalışmaların ulaşılabilen en eski tarihli, Balkaş ve diğerlerinin (1985) 1984 yılı boyunca “İzmit Körfezi’nin Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Kendi Kendini Arıtma Kapasitesi” isimli TÜBİTAK projesi kapsamında yaptıkları incelemelerdir. Balkaş ve diğ., (1985) körfezin oşinografik ve hidrografik parametrelerini belirlemek üzere sürdürdükleri çalışmalarında ayrıca deniz suyunda t-PAH analizi yapmışlardır. Numuneleri, körfez boyunca belirledikleri noktalardan 1 metre derinlikten 25-30 ml CCl₄ içeren renkli amber cam şişeleri kullanılarak almışlardır. Toplamda 75-100 ml CCl₄ ile ekstrakte ettikleri numuneleri kurutarak 5 ml hekzan içerisinde çözmüş daha sonra floresans spektrofotometresinde 310 nm uyarım ve 307 nm yayılım dalgaboylarında krisen standartlarına karşı okumuşlardır. Mayıs, Haziran ve Temmuz 1984 tarihleri için t-PAH konsantrasyon değerlerini (µg/L) vermişler (Tablo 2.6), ortalama t-PAH konsantrasyonunun 5 µg/L olduğunu söylemişlerdir. Verileri mayıs ve haziran aylarında t-PAH seviyelerinin hemen hemen aynı olduğunu ancak temmuz ayında, özellikle de doğu baseninde arttığını göstermektedir. Bu artışı, bölgede gerçekleşen aşırı tanker yüklemeleri ve boşaltımlarına bağlamışlar ayrıca deniz suyunda kirlenici dağılımını etkileyen akım ve rüzgâr gibi fiziksel faktörlerin bu ayda daha az aktif olduğunu ve böylece temmuz ayında suda daha yüksek konsantrasyon düzeylerinde kirlenici ile karşılaşılabilceğini belirtmişlerdir. Ölçümlerine göre mayıs ve haziran ayında, yüksek kirlilikte bir-iki örnek (15 ve 32 µg/L) hariç, konsantrasyonlar 3 ile 9 µg/L arasında değişmektedir.

Tablo 2.6. 1984 t-PAH konsantrasyon ölçüm verileri (Balkaş ve diğ., 1985).

Basen	İstasyon	Mayıs	Haziran	Temmuz
	R1	3,4	4,9	27,5
Batu	1	7,0; 7,6	7,5	8,2
	2	3,2; 4,0	5,5	4,7
	3	3,3; 4,9	6,9	4,7
	4A	3,3; 4,0	2,8	5,4
	4B	-	2,8	15,4
Merkez	5	6,6	4,5	4,3
	6	3,3; 4,0	1,6	8,5
	7	3,7; 4,9	3,8	5,5
	8	6,3; 7,1	5,5	8,9
	9	3,9; 4,6	4,5	15,3
	10	6,2	5,3	17,2
	11	10,4	5,5	11,9
	12	5,4	5,5	9,9
Doğu	13	8,7	3,8	
	14	8,6	3,1	9,3
	15	4,6	-	15,6
	16	6,2	Ölçüm yapılmadı	Ölçüm yapılmadı
	17	32	3,8	-
	18	7,3	Ölçüm yapılmadı	Ölçüm yapılmadı

1980'li yıllarda başlangıç gösteren bu PAH gözlemlene çalışmalarna daha sonraki yıllarda özellikle 1999 yılının Şubat ve Nisan aylarında rastlanmış, vuku bulan Marmara depremi sonrasında, 1999 yılı Eylül ayında, yoğun bir ilgi gösterilmiştir. Kıyı suları ve sedimentlerinden örnek alınmasını içeren bu arazi çalışmalarda, t-PAH ve bireysel PAH'lar için farklı olmak üzere, genellikle aynı örnekleme ve analiz yöntemleri uygulanmıştır. 2,5 L'lik amber cam şişelerle alınan su örnekleri, alındığı yerde n-heksan ile ekstrakte edilmiş, t-PAH ölçümü için su fazdan ayrılan heksan faz, ultraviyole floresans spektrofotometresinde (Ultraviyole fluorescence spectroscopy, UVF) 310 nm uyarım ve 360 nm yayılım dalgaboylarında krisen standartlarına karşı okunmuştur. Bireysel PAH'lar için ise literatürde önerilen yüksek basınç sıvı kromatografisi-ultraviyole dedektörü (High pressure liquid chromatography-ultraviyole, HPLC-UV) analiz yöntemi kullanılmıştır. Yöntem t-PAH analizine göre meşakkatlidir ve körfez sularında yapılmış sınırlı sayıda bireysel PAH analiz çalışması bulunmaktadır (Telli-Karakoç ve diğ., 2002a; Telli-Karakoç ve diğ., 2002b; Karakaş ve diğ., 2004). Sediment örnekleri ise Van Veen Grab sediment örnekleycisi ile 0-5 cm derinlikten (genellikle 2 cm'den) alınmış, t-PAH için UVF; bireysel PAH'lar için gaz kromatografisi-alev iyonlaşma dedektörü (GC-FID) (Ergül ve diğ., 2011), GC-kütle spektrometresi (mass spectrometry, MS) (Giulian ve diğ., 2017), HPLC-floresans dedektörü (Fluorescence Detection, FD) (Tolun ve diğ., 2006) ve HPLC-UV (Telli-Karakoç ve diğ., 2002b; Karakaş ve diğ., 2004; Karakaş ve Pekey, 2005) analizleri kullanılmıştır.

İzmit Körfezi'nde öncelikli bireysel PAH bileşiklerine yönelik gerçekleştirilen, yayınlanmış tüm çalışmalar irdelenmiş, sonuçları derlenerek bu PAH bileşiklerinin hava, su ve sediment ortamlarındaki konsantrasyonlarının zamanla değişimleri incelenmiştir. Tablo 2.7'de aktarılan veriler, körfez havası örneklerinde PAH bileşikleri konsantrasyonları değerlerini içermektedir. Daha uçucu olan üç ve dört halka bileşiklerden, PhA, FlA, Py ve AN'in gaz fazında daha baskın olduğu görülmektedir. Gaga ve arkadaşları (2012), ısınma yapılan ve ısınmanın olmadığı dönemler olmak üzere sırasıyla kış ve yaz aylarında yaptıkları çalışmalarda Kocaeli ili havasında, gaz ve partikül fazda PAH kirliliğini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar PAH'ların kış dönemlerindeki konsantrasyonlarının yazdakilere göre beş kat daha fazla olduğunu; azalan sıcaklık ve artan evsel ısıtma faaliyetleri ile

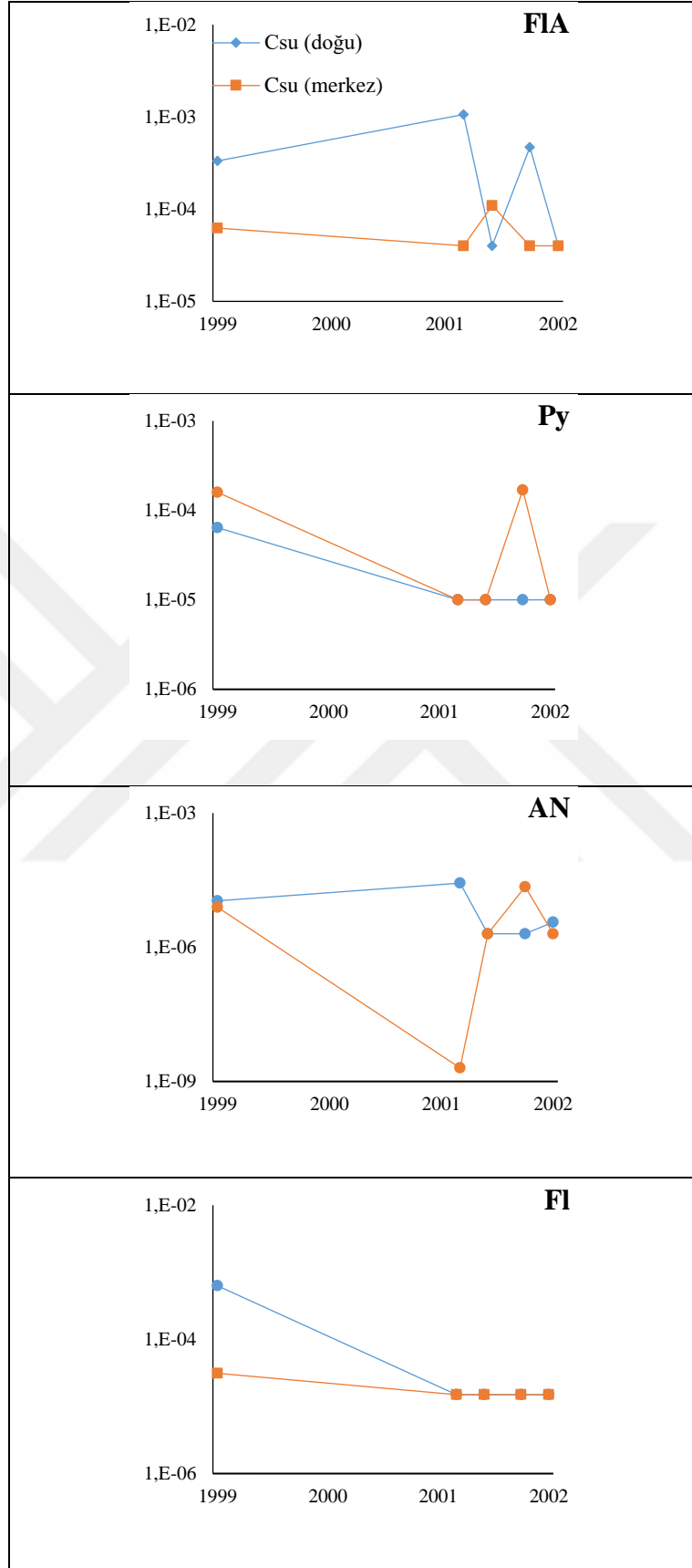
PAH konsantrasyonlarının yükseldiğini göstermektedir. Çetin ve diğerleri de (2017) Kocaeli ili Dilovası ilçesinde 23 farklı noktadan aldıkları hava örneklerinde PAH düzeylerini belirlemişler, konsantrasyonların azalan sıcaklığa bağlı olarak gerçekleştirilen evsel ısıtma ile arttığını saptamıştır.

Tablo 2.7. İzmit Körfezi havasında ölçülmüş konsantrasyon değerleri (ng/m³)

Bileşik	2006-Yaz ^a		2006-Kış ^a		Toplam kons.
	Gaz faz	Partikül fazı	Gaz faz	Partikül fazı	
NaP					
AcN					3,24E+00
AcNP					1,58E+01
Fl	2,30E+00	2,00E-01	4,31E+01	7,00E-01	2,32E+01
PhA	3,34E+01	1,60E+00	9,29E+01	5,80E+00	1,27E+02
AN	3,30E+00	3,00E-01	2,62E+02	9,00E-01	1,83E+01
FIA	1,45E+01	1,50E+00	4,46E+01	1,58E+01	4,81E+01
BaA	2,60E+00	3,00E-01	3,40E+00	1,49E+01	3,00E+00
Chy	2,00E+00	7,00E-01	2,60E+00	2,03E+01	4,10E+00
Py	1,31E+01	1,60E+00	3,65E+01	1,72E+01	3,67E+01
BaP	2,00E-01	4,90E+00	4,00E-01	1,80E+01	1,00E+00
BbFIA	2,00E-01	4,80E+00	2,00E-01	2,62E+01	1,80E+00
BkFIA	3,00E-01	5,00E+00	2,00E-01	1,85E+01	1,30E+00
dBahA		5,30E+00	3,00E-01	6,20E+00	5,00E-01
BghiP		6,20E+00	1,00E-01	1,52E+01	9,00E-01
IP	1,00E-01	3,90E+00	3,00E-01	1,41E+01	8,00E-01

a: Gaga ve diğ., 2012; b: Çetin ve diğ., 2017

Tablo 2.8, İzmit Körfezi'nde 1999 ile 2002 yılları arasında toplanan deniz suyu örneklerinde, PAH bileşiklerinin analiz sonuçlarını kapsamaktadır (Telli-Karakoç ve diğ., 2002a; Telli-Karakoç ve diğ., 2002b). Telli-Karakoç ve diğ., (2002a) körfezde bireysel PAH'ların akıbetini araştırmak üzere 1999 Nisan ayında saha çalışmaları yürütmüştür. Depremi hemen öncesine denk düşen bu ölçümleri Mayıs 2001-Nisan 2002 tarihleri arasında 4 kez düzenledikleri saha çalışmalarıyla desteklemiştir (Şekil 2.2). Sonuçlar, yüzey suyu örneklerinin çoğunda en az beş tane PAH bileşiğinin tayin limiti altında kaldığını göstermektedir.



Şekil 2.2. İzmit Körfezi kıyı sularında PAH bileşikleri konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Tablo 2.8. İzmit Körfezi kıyı sularında, doğu ve merkez basenleri ile tüm körfezde ortalama PAH konsantrasyonları (µg/l) (Telli-Karakoç ve diğ., 2002a; Telli-Karakoç ve diğ., 2002b)

	AcNP			Fl			PhA			AN		
Zaman	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.
Nis.99	2,75E-04*	2,75E-04*	2,75E-01	6,29E-04	3,13E-05	9,64E-02	1,97E-04	2,61E-04	2,35E-01	1,09E-05	7,80E-06	8,83E-03
Haz.01	2,75E-04*	2,75E-04*	2,75E-04	1,50E-05*	1,50E-05*	1,50E-05	5,00E-06*	5,00E-06*	5,00E-06	2,71E-05	2,00E-09	5,32E-06
Eyl.01	2,31E-04	2,75E-04*	2,55E-04	1,50E-05*	1,50E-05*	1,50E-05	5,00E-06*	5,00E-06*	5,00E-06	2,00E-06*	2,00E-06*	2,00E-06
Oca.02	9,68E-04	5,25E-04	6,61E-04	1,50E-05*	1,50E-05*	1,50E-05	5,00E-06*	3,94E-05	1,82E-05	2,00E-06*	2,26E-05	9,09E-06
Nis.02	7,68E-04	2,75E-04*	4,04E-04	1,50E-05*	1,50E-05*	1,50E-05	5,00E-06*	5,00E-06*	5,00E-06	3,63E-06	2,00E-06*	5,93E-06
	Chy			Py			BaP			BbFIA		
Zaman	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.
Nis.99	1,84E-04	5,84E-04	3,79E-01	6,42E-05	1,59E-04	1,13E-01	2,07E-05	3,50E-06*	6,81E-03	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-02
Haz.01	1,13E-01	1,66E-05	4,54E-04	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-05	1,36E-04	3,50E-06*	1,38E-05	3,08E-04	5,75E-05	1,08E-04
Eyl.01	1,32E-04	2,20E-03	6,30E-04	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-05	6,96E-04	3,50E-06*	3,68E-05	8,50E-04	4,26E-05	3,04E-05
Oca.02	6,54E-04	1,43E-03	1,07E-03	1,00E-05*	1,70E-04	5,86E-05	3,50E-06*	3,50E-06*	3,50E-06	8,45E-03	8,49E-04	2,01E-03
Nis.02	5,00E-06*	1,99E-05	1,19E-05	1,00E-05*	1,00E-05	1,00E-05	3,50E-06*	3,50E-06*	3,50E-06	5,85E-05	1,00E-05*	1,94E-05
	FlA			BaA			AcN			IP		
Zaman	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.
Nis.99	3,34E-04	6,24E-05	1,17E-01	1,19E-04	3,92E-04	2,51E-01	4,03E-05	1,50E-05*	2,17E-02	7,50E-05*	7,50E-05*	7,50E-02
Haz.01	1,06E-03	4,00E-05*	1,37E-04	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-05	2,42E-04	1,50E-05*	4,26E-05	1,00E-03	7,50E-05*	1,98E-04
Eyl.01	4,00E-05*	1,09E-04	6,98E-05	3,76E-05	1,00E-05*	1,80E-05	1,50E-05*	7,96E-05	3,79E-05	9,18E-04	1,57E-04	3,44E-04
Oca.02	4,68E-04	4,00E-05*	1,01E-04	1,00E-05*	2,89E-05	1,94E-05	1,50E-05*	1,50E-05*	1,50E-05	7,50E-05*	7,50E-05*	7,50E-05
Nis.02	4,00E-05*	4,00E-05*	4,00E-05	1,00E-05*	3,31E-05	2,11E-05	1,50E-05*	1,50E-05*	1,50E-05	7,50E-05*	7,50E-05*	7,50E-05
	BkFIA			dBahA			NaP			BghiP		
Zaman	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.	Doğu baseni	Merkez baseni	Körfez ort.
Nis.99	1,04E-05	2,50E-06*	4,27E-03	5,00E-06*	5,00E-06*	5,00E-03	7,05E-05	2,62E-04	1,60E-01	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-02
Haz.01	9,79E-05	2,50E-06*	9,89E-06	1,32E-04	5,00E-06	1,71E-05	6,32E-02	7,56E-04	3,97E-03	2,40E-04	1,00E-05*	3,30E-05
Eyl.01	3,66E-05	2,50E-06*	8,24E-06	2,12E-04	5,00E-06	2,64E-05	4,16E-02	4,87E-02	4,54E-02	5,76E-05	1,00E-05*	2,18E-05
Oca.02	2,50E-06*	2,50E-06*	2,50E-06	5,00E-06*	5,00E-06*	5,00E-06	4,95E-03	4,61E-02	2,00E-02	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-05
Nis.02	2,50E-06*	2,50E-06*	2,50E-06	5,00E-06*	5,00E-06*	5,00E-06	5,75E-04	7,88E-04	7,00E-04	1,00E-05*	1,00E-05*	1,00E-05

* Bu örneklerdeki konsantrasyonlar tayin limitinin altındadır. Bu tabloda analiz edildikleri cihazda her bir bileşik için belirlenen tayin limiti değerinin yarısı belirtilmiştir.

Kıyı sularına kıyasla bireysel PAH'ların sediment ortamlarına ait ölçümleri daha fazladır. Körfezde PAH'ların sedimentlerdeki durumunu belirlemek üzere yapılan çalışmalardan farklı olarak Ergül ve diğ., (2011) bölgedeki ilk sediment tuzak (sediment trap) çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Sediment tuzaklarıyla farklı su derinliklerinde çökelmekte olan katı maddeler biriktirilerek sedimentasyon hızı belirlenmektedir. Ergül ve diğ., (2011) İzmit Körfezi'nde Dil Deresi'nin denize döküldüğü noktaya yerleştirdikleri iki adet sediment tuzağıyla, 2008-2009 döneminde sedimentasyon hızları ile ilgili bulgular ortaya koymuşlardır (Tablo 2.9).

Tablo 2.9. İzmit Körfezi'nde sediment tuzakları örneklerinden elde edilen sediment çökme hız verileri (Ergül ve diğ., 2011)

Zaman	İstasyon	Enlem	Boylam	Sedimentasyon hızı (g/m ² gün)	
Ağu.08	DD1	40°45'59.90"K	29°31'36.45"D	En düşük	455,25
				Ortalama	5902,53
				En yüksek	20124,07
May.09	DD2	40°45'51.27"K	29°31'35.53"D	En düşük	66,35
				Ortalama	683,11
				En yüksek	2156,72

Giuliani ve diğ., (2017) körfez sedimentlerinde orta basende belirledikleri iki noktadan aldıkları sediment göbeği örneklerinde PAH'lar için yaş tayini yapmıştır. Merkez baseninde açık deniz tabanlarından alınan karot örnekleri üzerinde çalışmışlardır. Farklı derinliklerde mevcut PAH'ların konsantrasyon seviyelerini belirlemeyi amaçlayan bu teknikle 1950'lerden itibaren PAH konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. İzmit Körfezi kıyı sedimentlerinde öncelikli PAH bileşiklerine ait geçmişten günümüze değin ölçülmüş konsantrasyon değerleri Tablo 2.10'da verilmiştir. Tabloda, 1954, 1960, 1980, 1991, 2005 yıllarına ait veriler Giuliani ve diğ., (2017)'nin bu çalışmaları sonucu ürettikleri verileri kapsamaktadır. Haziran 1999 ve Eylül 1999 verileri, Tolun ve diğ., (2006)'nın İzmit Körfezi sedimentlerinde deprem öncesi ve deprem sonrası gerçekleştirdikleri analiz sonuçlarıdır. Tolun ve diğ., (2006)'nın yaptıkları bu çalışma, 1999 depreminden sonra körfez sedimentlerinde PAH'ların bilinen ilk bireysel analizi olma niteliğindedir. Karakaş ve Pekey, (2005), körfezin kuzeydoğu kıyılarından, körfeze giren PAH'ların kaynaklarını tespit etmek üzere Şubat ve Haziran 2002'de otuz beş yüzey sediment örneği toplamıştır. Şubat ve Haziran aylarında topladıkları örneklerinin, kullanılan analiz yönteminin tekrarlanabilirliği ile karşılaştırıldığında genel olarak anlamlı bir farklılık göstermediğini tespit etmişlerdir. Dolayısıyla bu aylar için aynı konsantrasyon değerleri girilmiştir. 2008 yılına ait veriler ise Ergül ve diğ.,

(2011)'nin çalışmasından alınmıştır. Şekil 2.3'te ise körfezin yüzey sedimentlerinde ölçümü yapılan 10 PAH bileşiği konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri gösterilmektedir. 1950 ile 1999 yılları arasında bu PAH'ların sediment ortamındaki konsantrasyonlarının aynı seviyelerde takip ettiği görülmektedir. Ancak 17 Ağustos Marmara depremiyle körfez merkez baseni yüzey sedimentlerinde genel bir artış söz konusudur. Bu artış, fay hatlarının hareketleri ile daha derinlerde gömülü bileşiklerin yüzeye çıkmasının sonucu olarak gerçekleşmiş olabilir. Deprem sonrası ve takip eden aylarda konsantrasyonların deprem öncesi seviyelerine dönme eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. Ancak 2008 yılı sonrasında yapılmış herhangi bir ölçüm çalışması bulunmadığından PAH bileşikleri konsantrasyonlarının günümüze kadar olan 10 yıllık dönemde ne şekilde seyrettiği hakkında yorum yapılamamaktadır.

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sırasında İzmit Körfezi yüzey sedimentlerinde meydana gelen hareketlenme sonucu PAH'ların körfez sularına resüspanse olduğu görülmektedir. Doğu baseninde derinliğin az olması sebebiyle yüzey sularında bile gözlemlenebilen bu t-PAH artışı Merkez baseninde derinliğin fazla olması sebebiyle daha azdır. Bunun yanında t-PAH'lar için körfezin alt tabaka sularında yapılmış bir çalışma saptanamamıştır. 1999 yılı Ağustos ayından sonra kıyı sularında hızlıca yükselen t-PAH seviyeleri yılın sonuna doğru eski değerlerine dönmüş ve 2001 yılı ortalarına kadar önemli bir değişiklik göstermemiştir. 2001 yılında tekrar bir artış gözlemlenmiş ve bu durum 2002 yılı baharına kadar devam etmiştir. Sonrasında herhangi bir veri olmaması sebebiyle bu artışın nedeni ve kalıcı bir artış mı yoksa geçici bir durum mı olduğu konusunda yorum yapılamamaktadır. Bunun yanında, 1999 yılı Şubat ayı ile 2000 yılı Eylül ayı arasındaki ölçümler ile 2000 yılı Eylül ayı ve 2002 yılı Nisan ayı ölçüm çalışmaları farklı araştırmacılar tarafından farklı istasyonlarda yürütülmüştür (Tablo 2.11). Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te körfezde kıyı suları ve sedimentlerinde, 1999-2002 yılları arasında yapılmış olan bu saha çalışmaları neticesinde elde edilen t-PAH konsantrasyon değerleri gösterilmektedir. İstasyonların farklılık göstermesi, özellikle yüksek t-PAH konsantrasyonlarının görüldüğü petrol endüstrileri bölgesinden sadece tek bir istasyonun bile dahil edilmesi ya da edilmemesi körfez genelindeki t-PAH konsantrasyonları ortalamalarına önemli ölçüde etki etmektedir.

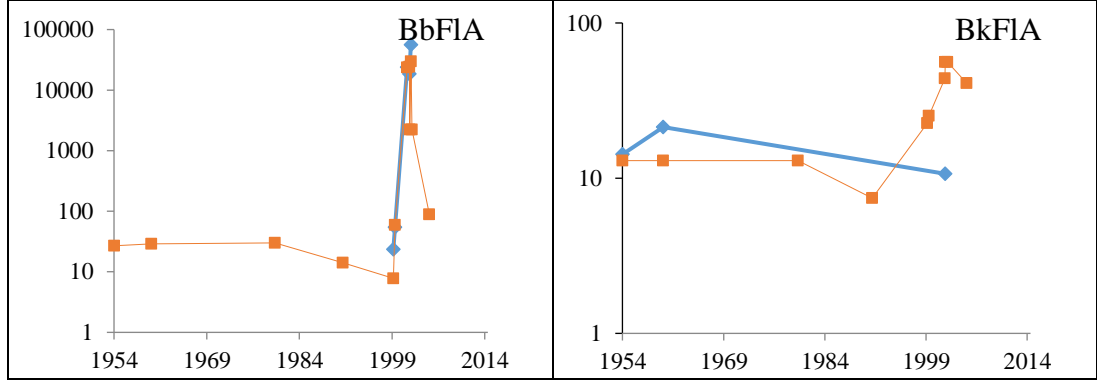
Tablo 2.10. İzmit Körfezi sedimentlerinde, doğu ve merkez basenlerinde ortalama PAH konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Zaman	AcNP		Fl		PhA		AN		FlA		BaA		NaP
	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Merkez
Nis.54		1,90E+00		6,50E+00		2,80E+01		4,70E+00		4,30E+01		3,10E+01	
Nis.60		8,20E+00		7,90E+00		3,50E+01		6,50E+00		4,60E+01		3,00E+01	
Nis.80		9,00E+01		1,40E+01		6,90E+01		1,60E+01		4,80E+01		3,40E+01	
Nis.91		6,45E+00		2,07E+00		3,69E+01		5,99E+00		3,05E+01		1,55E+01	
Haz.99	1,92E+02	9,85E+01	3,82E+02	2,85E+02	4,34E+02	3,77E+02	8,53E+01	6,01E+01	1,69E+02	1,24E+02	1,96E+01	5,67E+01	
Eyl.99	4,12E+00	3,51E+01	6,16E+00	8,45E+01	2,21E+01	2,86E+02	1,12E+01	3,56E+01	3,08E+01	1,17E+02	2,62E+01	8,24E+01	
Eyl.01							1,79E+01	1,16E+02	1,10E+02	2,30E+02			3,71E+00
Oca.02					4,96E+00		4,79E+01	8,77E+02	1,42E+02	1,41E+03	5,43E+01	1,62E+02	
Şub.02		6,80E+01		2,40E+01		3,80E+02		4,80E+02		3,90E+02		1,50E+02	
Nis.02					2,18E+00	2,20E+01		2,23E+02	1,14E+02	3,88E+02		5,56E+01	
Haz.02		6,80E+01		2,40E+01		3,80E+02		4,80E+02		3,90E+02		1,50E+02	
Nis.05		2,47E+02		2,30E+01		6,10E+01		4,10E+01		7,60E+01		6,00E+01	
Eyl.08			9,54E+00	1,36E+01	1,19E+01		1,44E+01		2,63E+01	1,02E+02		7,26E+01	
Zaman	Chy		Py		BaP		BbFlA		BkFlA		dBahA		AcN
	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Doğu	Merkez	Merkez
Nis.54		3,20E+01		4,60E+01		2,20E+01		2,70E+01		1,30E+01		8,80E+00	4,10E+00
Nis.60		3,20E+01		4,90E+01		2,30E+01		2,90E+01		1,30E+01		8,30E+00	4,90E+00
Nis.80		4,70E+01		7,10E+01		2,00E+01		3,00E+01		1,30E+01		1,10E+01	8,30E+00
Nis.91		2,13E+01		3,13E+01		1,02E+01		1,42E+01		7,44E+00		3,05E+00	1,80E+00
Haz.99	1,96E+01	1,05E+01	7,96E+01	1,66E+02	1,91E+01	1,34E+01	2,34E+01	7,80E+00	1,43E+01	2,26E+01	4,25E+00	6,47E+00	
Eyl.99	2,66E+01	1,01E+02	8,61E+01	1,92E+02	3,24E+01	6,41E+01	5,43E+01	5,96E+01	2,13E+01	2,52E+01	5,41E+00	9,38E+00	
Eyl.01				2,34E+02			2,40E+04	2,36E+04					
Oca.02	5,05E+01	1,17E+02	1,78E+02	2,76E+02	1,00E+02	1,67E+02	1,86E+04	2,44E+04		4,40E+01			
Şub.02		7,20E+01		2,60E+02		2,10E+02		2,24E+03		5,60E+01		2,80E+01	2,30E+01
Nis.02							5,64E+04	2,97E+04					
Haz.02		7,20E+01		2,60E+02		2,10E+02		2,24E+03		5,60E+01		2,80E+01	2,30E+01
Nis.05		6,70E+01		1,19E+02		5,90E+01		8,90E+01		4,10E+01		2,50E+01	1,10E+01
Eyl.08	2,36E+01	5,69E+01	1,31E+01	5,20E+01						1,85E+01			

Ölçüm verilerinin elde edildiği çalışmalar metin içerisinde belirtilmiştir.



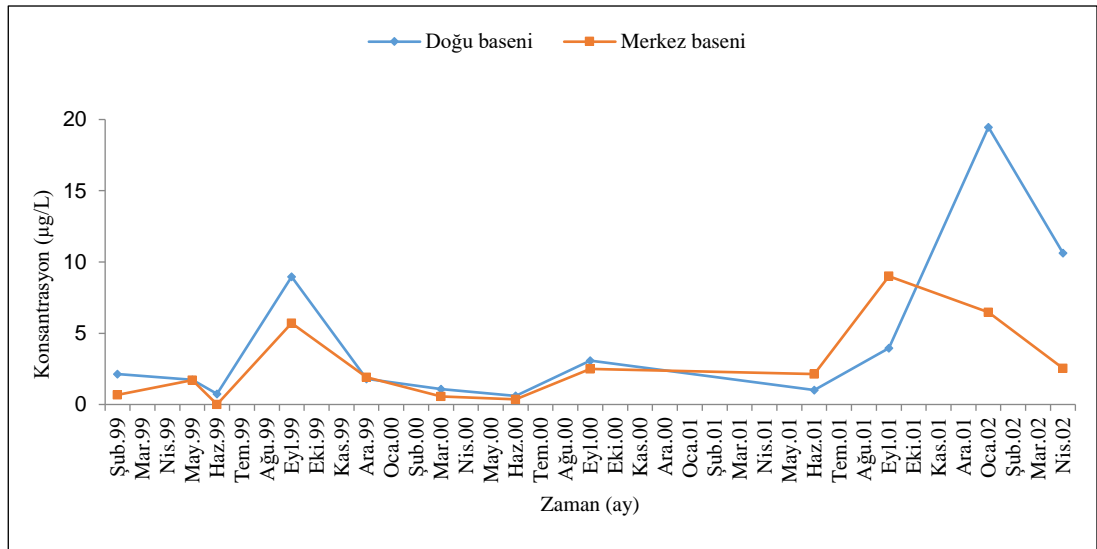
Şekil 2.3. İzmit Körfezi yüzey sedimentlerinde PAH bileşikleri konsantrasyonlarının ($\mu\text{g}/\text{kg}$) zamansal değişimi



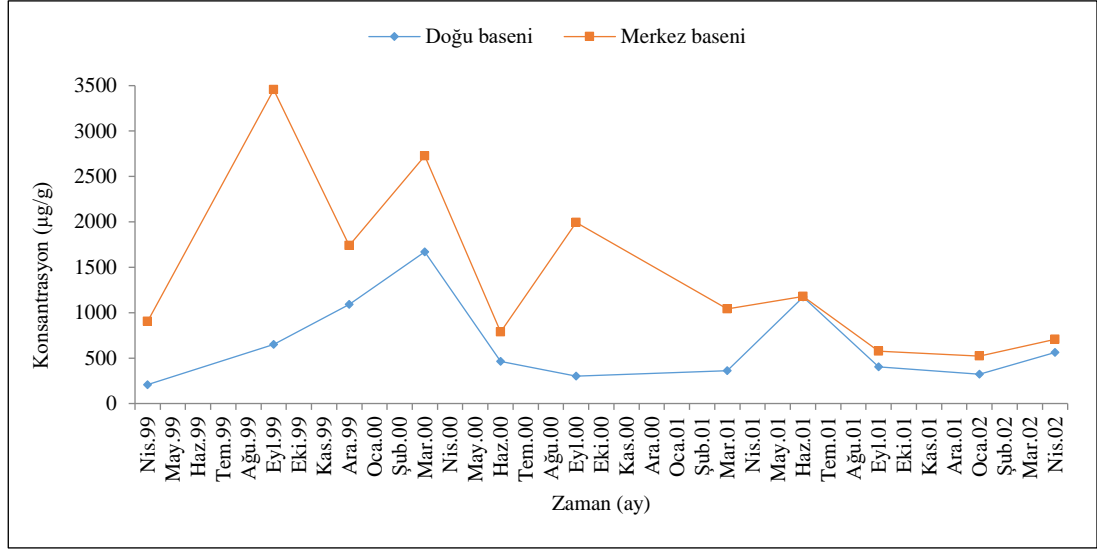
Şekil 2.3. (Devam) İzmit Körfezi kıyı sedimentlerinde PAH bileşikleri konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Tablo 2.11. t-PAH ölçüm noktaları

	Kıyı suları		Kıyı sedimentleri	
	Morkoç ve diğ., 2007	Telli-Karakoç ve diğ., 2002b	Okay ve diğ., 2003	Telli-Karakoç ve diğ., 2002b
Doğu Baseni				
Doğu Kanalı	✓	✓	✓	✓
SEKA	✓	✓	✓	✓
TTK	✓			
Shell	✓			
Petrol Ofisi	✓	✓	✓	✓
Merkez Baseni				
TÜPRAŞ	✓	✓	✓	✓
PETKİM	✓	✓	✓	✓
İGSAŞ	✓			
Hereke		✓	✓	✓
Solventaş		✓		✓
Dil Deresi	✓	✓	✓	✓
Batı Baseni				
TÜBİTAK		✓		✓



Şekil 2.4. İzmit Körfezi kıyı sularında t-PAH konsantrasyonları (1999-2002)



Şekil 2.5. İzmit Körfezi sedimentlerinde t-PAH konsantrasyonları (1999-2002)

Kıyıya yakın noktalardan alınan yüzey sediment örneklerinde yapılmış çalışmalar da depremden hemen sonra sediment ortamında kirleticide bir artış meydana geldiği ancak bu durumun çok uzun sürmeden yatışkın haline döndüğü görülmüştür. Petrol ve daha birçok endüstriye ev sahipliği yapan merkez baseni sedimentlerinde t-PAH konsantrasyonu ilki 1999 yılı Aralık ayında ve ikincisi 2000 yılı Haziran ayında olmak üzere iki keskin düşüş yaşamıştır. Son artışı 2001 yılı Haziran ayında görülmektedir. Bu durum bu tarihe kadar olan verilerle bu tarihten sonraki verilerin birbirinden bağımsız iki çalışma olmasından kaynaklanabilir. 2001 yılı Haziran ayı sonrasında doğu ve merkez basenlerinde konsantrasyonlar birbirine yakın çıkmıştır. Ancak bu durum yine istasyon konumlarının dağılımlarına, örnekleme periyodu sıklıklarına ve örnek sayısına karşı çok hassastır.

Genel olarak 1990'lı yıllarda başlayan İzmit Körfezi'nde PAH kirliliğini konu edinen araştırmalar, deprem sonrasında depremin körfezin çevresel ortamlarına etkilerini incelemek üzere artmıştır. Verilerden de anlaşıldığı üzere deprem zamanı sediment ve suda PAH konsantrasyonlarında ani değişimler meydana gelmiştir.

17 Ağustos günü meydana gelen 7,4 büyüklüğündeki deprem, TÜPRAŞ İzmit rafinerisinde bir yangına sebep olmuş, yangın ancak 21 Ağustos sabahında tamamen söndürülebilmektedir (Danış ve Görgün, 2005). Muhtemelen havaya yüksek miktarda PAH emisyonuna sebep olmuş bu yangından sonra uzun bir süre hava ortamında PAH konsantrasyonlarına ait herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Yangın öncesinde

de körfez bölgesinde hava ortamını inceleyen herhangi bir çalışma yoktur. PAH konsantrasyonlarının hava ortamındaki ilk verileri 2006 yılında elde edilmiştir (Gaga ve diğ., 2012).

İzmit Körfezi çevresinde, deprem felaketini takip eden yıllarda birçok kaza ve doğal afet meydana gelmiş ve gelmektedir. TÜPRAŞ yangınına takiben 2002 yılı 28 Temmuz'da yine aynı bölgede Akçagaz LPG dolum tesisinde depolama tanklarının patlaması sonucu bir yangın meydana gelmiştir (Danış ve Görgün, 2005). 12 Ocak 2017 tarihinde Dilovası'nda bulunan Poliport limanında iki kara tankı arasında transfer yapılırken, önemli miktarda akaryakıt denize karışarak su ortamı ve canlı bünyelerinde kirliliğe neden olmuştur (URL-1). 6 Kasım 2018 tarihinde Darıca sahilinde bir gemiden sızan sintine ve fuel oil kıyı sularında büyük oranda bir kirlilik oluşturmuştur (URL-2). Bu tarihten iki hafta sonra, 19 Kasım 2018 tarihinde, Dilovası'ndaki bir limana yanaşırken iskeleye çarpan bir yük gemisinden körfez sularına yakıt sızmıştır (URL-3). 18 Eylül 2019'da Tuzla Orhanlı Deri Sanayi Bölgesi'ndeki bir Polyester fabrikasında bir yangın başlamış, yangın sonucu havaya karışan gazlar rüzgârın etkisiyle Kocaeli İli bölgesine kadar ulaşmıştır (URL-4). 26 Eylül 2019'da İstanbul Silivri açıklarında 5,7 şiddetinde meydana gelen deprem İzmit Körfezi'nde de sarsıntılara sebep olmuştur. Bu tür kaza ve doğal afetlerin körfeze önemli miktarda PAH salınımına ve mevcut PAH kirlilik dağılımlarında ani ve önemli değişikliklere neden olması muhtemeldir. Bu durum körfezin çevresel ortamlarında PAH kirliliği ve giderimine yönelik çalışmalar yapmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Fugasite Yaklaşımı

Kimyasalların, çevresel ortamlarda davranışlarını bilmek (kalıcılık, reaktivite, ortamlar arası paylaşım eğilimi), kirli ortamları saptayarak temizleme yöntemlerini değerlendirmek ve uygulamak açısından önemlidir. Kimya biliminde, kimyasal kirleticilerin fazlar arasında transferlerini ve denge durumlarını açıklamada kimyasal potansiyel kullanılmaktadır. Ancak kimyasal potansiyel, konsantrasyonla logaritmik olarak değişmekte ve laboratuvar şartlarında ölçülememektedir. Dolayısıyla, bu özelliği çok-ortamlı çevresel modellerde kullanmak hem zor hem de istenmeyen bir durumdur. 1901 yılında bu soruna çözüm olması amacıyla Amerikan Kimyacı Gilbert Newton Lewis tarafından Termodinamik bilimine kazandırılan (Mackay, 2001) fugasite terimi, kimya biliminde özellikle kimya mühendisliği termodinamiğinde oldukça sık kullanılmaktadır. Kimya Mühendisliği uygulamalarında, ortaya atıldığından günümüze kadar önemli bir yere sahip olan fugasite kavramının, çevre kirliliği araştırmalarında kullanılmaya başlaması ise son kırk yıla dayanmaktadır. 1979 yılında, 'Finding Fugacity Feasible' (Mackay, 1979) isimli makalede fugasite kavramının çevresel kütle dengesi modellerinde başarılı bir şekilde uygulanabileceği öne sürülmüştür. Buradaki ana fikir, kütle dengesi denklemlerindeki konsantrasyon terimini fugasite ile değiştirmektir (Mackay and Macleod, 2002). Fugasite, bir kirleticinin bulunduğu ortamdaki bir diğer ortama kaçma eğilimi olarak tanımlanabilir. Bir ortamda bulunan bir kimyasalın fugasitesi (f , Pa) ile aynı kimyasalın aynı ortamdaki konsantrasyon (C , mol/m³) değeri arasında doğrusal bir ilişki bulunur. Bu ikisi arasındaki oran ise o kimyasalın o ortama ait fugasite kapasitesi veya fugasite potansiyeli (Z , mol/m³Pa) olarak tanımlanır (Denklem 3.1).

$$C = fZ \quad (3.1)$$

Fugasite kapasitesi, kimyasalın bulunduğu ortamın o kimyasalı absorblama kapasitesi veya o kimyasalın o ortamdaki çözünübilirliği olarak da tanımlanabilir

(Mackay, 2004). Kendisini absorblayacak yeterli kapasiteye sahip olmayan bir ortamda belli bir konsantrasyonda bulunan bir kimyasalın, kendisini absorbe edebilecek bir ortama kaçma eğilimi (fugasitesi) de yüksek olacaktır. Aynı kimyasal, fugasite kapasitesi daha yüksek olan bir ortamda yine aynı konsantrasyonda bulunduğu komşu başka bir ortama kaçma eğilimi (fugasitesi) daha düşük olacaktır. Kapalı bir sistemdeki bir kimyasalın, birbirine temas halindeki iki ayrı ortamdaki fugasiteleri, bir süre sonra eşit olacaktır. Yani bir denge durumu söz konusu olacaktır. Dolayısıyla, fugasiteyi bir denge kriteri olarak kullanmak mümkündür (Mackay and Macleod, 2002).

Fugasite kapasitesi hem kimyasalın var olduğu ortama hem de kimyasalın fiziksel kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bir kimyasal farklı çevresel ortamlarda birbirinden farklı fugasite kapasitelerine sahiptir. Hava, su ve sediment ortamları için fugasite kapasitesi değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bir kimyasalın farklı ortamlardaki fugasite kapasitesi değerleri için o kimyasala ait buhar basıncı, çözünürlük ve oktanol-su paylaşım katsayısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Türker Saçan, 1990).

Tablo 3.1. Fugasite kapasitesi ($\text{mol/m}^3\text{Pa}$) değeri denklemleri (Mackay, 2001)

Kompartman	Alt kompartman	Z değeri	Z değeri denklemi
Hava	Hava (gaz faz)	Z_h	$1/(R \times T)$
	Aerosol	Z_a	$Z_h \times 6 \times 10^6 / P_L$
Su	Su	Z_{su}	$1/H$
	Askıda katı madde	Z_{akm}	$V_{oc,akm} \times 0,41 \times K_{ow} \times Z_{su} \times \rho_{akm}$
Sediment	Gözenek suyu	Z_{gsu}	$1/H$
	Sediment katıları	Z_s	$V_{oc,s} \times 0,41 \times K_{ow} \times Z_{su} \times \rho_s$

R: ideal gaz sabiti ($8,314 \text{ m}^3\text{Pa/molK}$); T: ortam sıcaklığı (K); P_L : sıvı buhar basıncı (Pa); H: Henry sabiti ($\text{m}^3\text{Pa/mol}$); 0,41: K_{ow} ile organik karbon paylaşım katsayısı arasındaki ilişkiyi tanımlayan faktör (L/kg); $V_{oc,akm}$ ve $V_{oc,s}$: sırasıyla askıda katı madde ve Sediment ortamının organik karbon içeriği; K_{ow} : oktanol-su paylaşım katsayısı; ρ_{akm} ve ρ_s : sırasıyla askıda katı madde ve Sediment katılarının yoğunluğu (kg/m^3)

Fugasite tabanlı kirletici akıbeti modellerinde, çeşitli varsayımlar yapılarak model denklemlerinin basitleştirilmesi veya karmaşıklaştırılması mümkündür. Fugasite tabanlı çok-ortamlı akıbet modelleri, mevcut sistemin ve kimyasalın özelliklerine, sistemin girdi-çıkış durumlarına ve kimyasal reaksiyon varlığına göre Seviye I, Seviye II, Seviye III ve Seviye IV olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır (Mackay,

2001). Yatışkın (kararlı) durumda, giriş ve çıkış akılarının olmadığı ve kimyasalın herhangi bir reaksiyona girmediği denge durumundaki kapalı sistemlerde Seviye I hesaplamaları kullanılmaktadır. Bu varsayımlarla karmaşıklığın minimuma indirildiği Seviye I hesaplamaları için kimyasalın sistem içerisindeki miktarı (M, mol), sistemin hacmi (V, m³) ile kimyasalın ve çevresel ortamın özelliklerine bağlı olarak hesaplanan Z değerleri yeterlidir (Mackay and Paterson, 1982) (Denklem 3.2). Denge varsayımının sonucu olarak sistemi oluşturan tüm ortamlarda fugasite eşittir. Seviye I, kimyasalın farklı çevresel ortamlarda paylaşım eğilimleri ve bu ortamlardaki denge konsantrasyonları hakkında bilgi vermektedir.

$$f = M/(\Sigma VZ) \quad (3.2)$$

Seviye II modelleri, açık sistemlere Seviye I'de olduğu gibi denge ve kararlı durum varsayımlarıyla uygulanmaktadır. Sisteme giren ve sistemden çıkan akılar mevcuttur. Bu seviye, sistem içerisindeki bir madde için kalma süresinin (τ , sa) tahminini sağlamaktadır (Denklem 3.3). Hidrolik bekleme süresi (kalıcılık) ve yarı ömür ($\tau_{1/2}$, sa) değerleriyle, sırasıyla, adveksiyon ve kimyasal reaksiyon süreçleri tanımlanmaktadır. Seviye II model hesaplamaları için sisteme toplam kimyasal girişini (I, mol/sa) ve D değerlerini (mol/saPa) bilmek yeterlidir (Denklem 3.4). Bu seviye, sistemdeki kayıplar ve kalıcılık hakkında bilgi sağlamaktadır (Mackay, 1979).

$$\tau = M/I \quad (3.3)$$

$$f = I/(\Sigma D) \quad (3.4)$$

Bir ortamda kimyasal alınımlar, kayıp ve reaksiyon süreçlerini açıklamak amacıyla D değerleri veya diğer bir adıyla fugasite hız katsayıları kullanılır. Bu D değerlerine fugasite tabanlı taşınım veya dönüşüm hız sabitleri de denebilmektedir (Webster et al, 2016). D değerleri, kimyasal reaksiyonlar, advektif taşınım ve ortamlar arası difüzyon değişim gibi süreçleri tanımlamak için kullanılırlar (Mackay and Macleod, 2002) (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. D değeri (mol/saPa) denklemleri (Mackay, 2001)

Ortamlar	Süreç	D değeri	D değeri denklemi
Akışkan ortamlar	Adveksiyon	D_{adv}	GZ
Tüm ortamlar	Reaksiyon	D_{rxn}	VZk
Hava-su	Islak çökeltme	$D_{i\check{c}ö}$	$U_R Q \Phi_a Z_a$
	Kuru çökeltme	$D_{k\check{c}ö}$	$U_D \Phi_a Z_a$
	Difüzyon (Absorpsiyon)	D_d	$1/(1/k_h A Z_h + 1/k_{su} A Z_{su})$
	Yaş çözünme	$D_{y\check{c}ö}$	$U_R Z_{su}$
Su-hava	Difüzyon (Buharlaşma)	D_d	$1/(1/k_h Z_h + 1/k_{su} Z_{su})$
Sediment-su	Resüspansiyon	D_r	$U_r Z_s$
	Difüzyon	D_d	$1/(1/k_{su-s} Z_{su} + Y/B_{su} Z_{su})$
	Gömülüm	D_g	$U_g Z_s$
Su-sediment	Çökeltme	$D_{\check{c}ö}$	$U_{\check{c}ö} Z_{akm}$
	Difüzyon	D_d	$1/(1/k_{su-s} Z_{su} + Y/B_{su} Z_{su})$

G: akış hızı (m/sa); k: birinci dereceden reaksiyon kinetiği sabiti (1/sa); U_R : yağış hızı (m/sa); U_D : atmosferik partiküllerin kuru çökeltme hızı (m/sa); U_r : sediment restüspansiyon hızı (m/sa); U_g : sediment gömülme hızı (m/sa); $U_{\check{c}ö}$: Sediment çökeltme hızı (m/sa); Q: süpürme oranı; Φ_a : Aerosol hacim oranı; k_h : Hava/su ara yüzeyi üzerinde hava tarafı kütle aktarım katsayısı (m/sa); k_{su} : Hava/su ara yüzeyi üzerinde su tarafı kütle aktarım katsayısı (m/sa); k_{su-s} : Sediment/su ara yüzeyi üzerinde su tarafı kütle aktarım katsayısı (m/sa); Y: Etkin sediment gözenek suyu difüzyon hızı (m^2/sa); B_{su} : difüzyon mesafesi (m)

Seviye III'de denge durumu söz konusu değildir. Bu model yaklaşımı, bozunum ve ortamlar arasında taşınımı da içermektedir. Sistem için kararlı durum varsayımı yapılmaktadır. Bu seviye ile ortamlar arasındaki taşınım süreçleri, denge durumunda olmayan konsantrasyonlar ve kirleticinin çevresel kalıcılığı gibi bilgiler edinilebilmektedir (Palm, 2001). Model hesaplamaları bu seviye ile birlikte oldukça karmaşık hale gelebilmektedir. Sisteme dahil edilen her bir ortam için ayrı emisyon girişi kabul edilerek ayrı ayrı denklemler yazılır. Örneğin hava ve su ortamlarından oluşan bir çevrede, bir kirleticinin hava ve su kompartmanlarındaki akıbetini belirlemek üzere kullanılacak Seviye III fugasite modeli hesaplamaları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'da verilmektedir. Ayrıca, herhangi bir kayıp sürecine bağlı yarı ömürler de hesaplanmaktadır (Örneğin sudan havaya transfer yarı ömrü hesabı) (Denklem 3.7). Sistemde gerçekleşen süreçlerin hızları ve bir kirleticinin sistem içinde bekleme süresi Seviye II'de hesaplandığı şekildedir.

$$E_h + G_{ah} C_{bh} + f_{su} D_d = f_h (D_d + D_{y\check{c}ö} + D_{i\check{c}ö} + D_{k\check{c}ö} + D_{rxn} + D_{adv}) \quad (3.5)$$

$$E_{su} + G_{asu}C_{bsu} + f_h (D_d + D_{y\check{c}o} + D_{i\check{c}o} + D_{k\check{c}o}) = f_{su} (D_d + D_{rxn} + D_{adv}) \quad (3.6)$$

$$\tau_{1/2} = 0,693V_{su}Z_{su}/D_d \quad (3.7)$$

E_h ve E_{su} hava ve suya doğrudan emisyon girişini (mol/sa), G_{ah} ve G_{asu} sisteme hava ve su akışını (m^3 /sa), C_{bh} ve C_{bsu} sisteme giren hava ve sudaki kimyasal konsantrasyonlarını (mol/ m^3) ve f_h ve f_{su} sırasıyla hava ve sudaki fugasitelerini (Pa) ifade etmektedir.

Diğer seviyelerden farklı olarak Seviye IV-fugasite modellerinde sistem için kararlı durum söz konusu değildir. İncelenen sistem için denge varsayımı yapılmamaktadır. Dolayısıyla, gerçekliğe en yakın sonuçları verebilecek bir dinamik sistem modelidir (Denklem 3.8). Bu seviye, kirleticinin, emisyon girişinin başlamasından sonra farklı ortamlarda kirletici birikiminin zamanla değişiminin hesaplanabilmesini sağlamaktadır (Mackay and Paterson, 1982).

$$V_i Z_i (df_i/dt) = I_i + (\sum D_{ji}f_j) - D_{Ti}f_i \quad (3.8)$$

Burada V_i i ortamının hacmi (m^3), Z_i i ortamının fugasite kapasitesi (mol/ m^3 Pa), f_i ve f_j , sırasıyla i ve j ortamlarının fugasiteleri (Pa), I_i i ortamına toplam kirletici girişini (mol/sa), D_{ji} , j ortamından i ortamına transfer süreçlerine ait D değerleri ve D_{Ti} , i ortamından farklı ortamlara transfer süreçlerine ait D değerlerinin toplamını ifade etmektedir.

Seviye I-IV fugasite modellerinde kararlı durum ve denge durumu varsayımları sıklıkla karıştırılmakta ancak birbirlerinden farklı durumları anlatmaktadırlar. Kararlı durum, incelenen sistemin özelliklerinin zamanla değişmediği durumu ifade etmektedir. Denge durumu ise sisteme giren kirleticinin fazlar arasında kütle transferi olmadığı (net kütle transferinin sıfıra eşit olduğu) durumu ifade etmektedir.

Tablo 3.2’de belirtilen su-hava ve su-sediment arasındaki kütle transfer süreçleri, PAH’ların çevresel ortamlardaki akıbetini, yüklemelerini ve taşınımalarını belirlemede kritik önem taşımaktadır. Kuru çökeltme, ıslak çökeltme ve su-hava arasındaki difüzyif değişimler PAH’ların hava ile su ortamları arasındaki transfer süreçlerini oluşturmaktadırlar. Bu kapsamda, hesaplanacak akı değerleri havadan

suya ($N_{\text{hava-su}}$, mol/sa) ve sudan havaya ($N_{\text{su-hava}}$, mol/sa) transfer akılarıdır (Denklem 3.9 ve Denklem 3.10).

$$N_{\text{hava-su}} = (D_d + D_{y\text{çö}} + D_{i\text{çö}} + D_{k\text{çö}}) f_h \quad (3.9)$$

$$N_{\text{su-hava}} = (D_d) f_{\text{su}} \quad (3.10)$$

Hava-su arasındaki değişim, sucul ortamlarda kimyasal akıbetinin modellenenilmesi için hesaba katılması gereken bir süreç olmanın yanı sıra bu kimyasalların sediment ortamlarına ulaşımını da etkilemektedir. Kimyasalların göl sistemlerinde akıbetini ve transfer süreçlerini belirlemek üzere fugasite tabanlı QWASI (Kantitatif Su Hava Sediment Etkileşimi) modelleri geliştirilmiş ve bu modellerle kimyasalların hava-su ve su-sediment arası transferleri niceliksel olarak açıklanmıştır (Mackay ve diğ., 1983; Xu ve diğ., 2013). Dolayısıyla su-sediment arasındaki transfer süreçleri de su-hava arasındaki transfer süreçleri kadar önem arz etmektedir. Su ve sediment ortamları arasındaki transfer süreçleri, partiküllere tutunmuş kimyasalların su ortamından dip sedimentlere çökmesi ve tersi süreç olan resüspansiyon ile su ve gözenek suyu arasındaki difüzyon değişimlerden oluşmaktadır. Sudan sedimente ve sedimentten suya gerçekleşen süreçler için akı değerleri ($N_{\text{su-sediment}}$ ve $N_{\text{sediment-su}}$, mol/sa) Denklem 3.111 ve Denklem 3.12'de verilmiştir.

$$N_{\text{su-sediment}} = (D_d + D_{\text{çö}}) f_{\text{su}} \quad (3.11)$$

$$N_{\text{sediment-su}} = (D_d + D_r) f_s \quad (3.12)$$

f_s , sedimentin fugasite değeridir (Pa). Herhangi bir kirleticinin su-hava ve sediment-su ortamları arasında denge durumunu ve dengeye ulaşmak için sistemin değişim yönünü saptamak için ise fugasite oranları kullanılabilir. Su-hava (f_{su}/f_h) ve sediment-su (f_s/f_{su}) fugasite oranları Denklem 3.13 ve Denklem 3.14'deki şekilde hesaplanmaktadır.

$$f_{\text{su}}/f_h = (C_{\text{su}}H)/(C_hRT) \quad (3.13)$$

$$f_s/f_{\text{su}} = C_s/(0,41C_{\text{su}}K_{\text{ow}}\gamma_{\text{oc,s}}) \quad (3.14)$$

C_{su} ($\mu\text{g/L}$), C_h (ng/m^3) ve C_s ($\mu\text{g/kg}$ kuru ağırlık) sırasıyla su (çözünmüş faz), hava (gaz faz) ve sediment ortamlarındaki kirletici konsantrasyonlarıdır. $f_{\text{su}}/f_h = 1$, hava-su

arasında dengeyi, $f_{su}/f_h < 1$ havadan suya net absorpsiyonu ve $f_{su}/f_h > 1$ sudan havaya net buharlaşmayı belirtmektedir. $f_s/f_{su} = 1$ ise sediment-su arasında dengeyi, $f_s/f_{su} < 1$ sudan sedimente net sorpsiyonu ve $f_s/f_{su} > 1$ sedimentten suya net geçişi ifade etmektedir.

3.2. Model Uygulamaları

PAH bileşiklerinin İzmit Körfezi'nin çevresel ortamları (hava, su, sediment) arasındaki transferlerini ve akıbetini açıklamak için çalışma kapsamında uygulanan modellerde kirleticilerin fiziksel-kimyasal özellikleri (Tablo 1.2) (Mackay, 2001; Mackay ve diğ., 2006), körfeze ait çevresel özellikler (Tablo 3.3), derlenmiş gözlem verilerinden yararlanarak elde edilen kirletici konsantrasyon değerleri ve literatürden alınan tipik transfer parametre değerleri (Tablo 3.4) kullanılmıştır. Bu çalışmada, Mackay'in kalıcı organik kirleticilerin (KOK) çevredeki davranışlarının modellenmesine yönelik fugasite yaklaşımını konu alan kaynak kitabı (2001) temel alınmıştır.

Tablo 3.3'te verilen çevresel parametre değerleri bölgede gerçekleştirilmiş saha çalışmaları yayınlarından alınmıştır. Yapılan çalışma sonuçları özellikle körfez yüzey alanı değeri için farklılık göstermektedir. Okay ve diğ., (1996) körfez yüzey alanını 279 km², Öztürk ve diğ., (2000) 300 km², Güven ve Ünlü (2000) ve Morkoç ve diğ., (2001) 261 km², Morkoç ve diğ., (2008) ise 310 km² olarak vermiştir. Körfez tüm yüzey alanının, körfez batı baseni ile Marmara Denizi arasındaki belirsiz sınıra bağlı olarak farklı araştırmacılar tarafından farklı olarak kaydedilebileceği kabul edilebilir bir durumdur. Bunun yanında, bu çalışma kapsamındaki model uygulamalarında üç baseni ile körfez sadece Seviye-I'de ele alınacaktır. Seviye-II ve diğer modelleme çalışmalarının merkez ve doğu baseni temelli olacaktır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus körfeze ait çevresel parametre değerlerinin azlığıdır. Körfez sularının ve sedimentlerinin yoğunluğu, suda askıda katı maddelerin organik karbon içeriği, sediment ortamı sıcaklığı gibi parametre değerleri körfez için raporlanmamış ve bu nedenle literatürden alınan değerler kullanılmıştır.

Tablo 3.3. İzmit Körfezi çevresel parametre değerleri

Parametre	Birim	Değer	Kaynak
Körfez su ortamının (merkez ve doğu basenleri) yüzey alanı	m ²	2.10E+08	Baştürk ve diğ., 1985
Körfez su ortamının tüm hacmi	m ³	1,80E+10	Tolun ve diğ., 2012
Körfez su ortamının (merkez ve doğu basenleri) hacmi	m ³	1.33E+10	Baştürk ve diğ., 1985
Yağış hızı (kış dönemi) ^a	m/sa	8.16E-06	MGM
Yağış hızı (yaz dönemi) ^b	m/sa	6.12E-06	MGM
Sediment katılarının organik karbon içeriği		3,40E-02	Pekey ve diğ., 2005
Atmosferik partiküllerin konsantrasyonu (yaz dönemi)	µg/ m ³	1,27E+02	Gaga ve diğ., 2012
Atmosferik partiküllerin konsantrasyonu (kış dönemi)	µg/ m ³	1,98E+02	Gaga ve diğ., 2012

Yağış verileri Kocaeli için uzun dönem (1928-2018) aylık yağış verilerinden elde edilmiştir.

a: Ocak, şubat, mart ve nisan ayları geometrik ortası alınarak hesaplanmıştır.

b: Temmuz, ağusto, eylül, ekim ayları geometrik ortası alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. Literatürden alınan tipik transfer parametre değerleri

Parametre	Birim	Değer	Kaynak
Sediment ortamının karışım derinliği	m	3,00E-02	Mackay, 2001
Sediment katılarının yoğunluğu	kg/m ³	1,50E+03	Mackay, 2001
Gözenek suyu yoğunluğu	kg/m ³	1,00E+03	Hughes ve diğ., 2012
Sediment katılarının hacim oranı		2,00E-01	Mackay, 2001
Sediment çökme hızı	m/sa	1,14E-07	Mackay, 2001
Sediment resüpsansiyon hızı	m/sa	4,56E-08	Mackay, 2001
Sediment gömülme hızı	m/sa	4,19E-08	Mackay, 2001
Difüzyon mesafesi	m	5,00E-03	Mackay, 2001
Etkin sediment gözenek suyu difüzivitesi	m ² /sa	2,97E-06	Mackay, 2001
Sediment/su ara yüzeyi üzerinde su tarafı kütle aktarım katsayısı	m/sa	1,00E-02	Mackay, 2001
Gözenek suyu hacim oranı		8,00E-01	Mackay, 2001
Atmosferik partiküllerin yoğunluğu	kg/m ³	1,50E+03	Mackay, 2001
Askıda katı madde yoğunluğu	kg/m ³	1,50E+03	Mackay, 2001
Süpürme oranı	-	2,00E+05	Mackay, 2001
Partiküllerin kuru çökme hızı	m/sa	1,00E+01	Mackay, 2001
Hava/su ara yüzeyi üzerinde su tarafı kütle aktarım katsayısı	m/sa	5,00E-02	Mackay, 2001
Hava/su ara yüzeyi üzerinde hava tarafı kütle aktarım katsayısı	m/sa	5,00E+00	Mackay, 2001
Aerosol/atmosferik partikül hacim oranı		2,00E-11	Hughes ve diğ., 2012
Suda askıda katı madde hacim oranı		5,00E-06	Hughes ve diğ., 2012
Askıda katıların organik karbon içeriği		2,00E-01	Mackay ve diğ., 1996

Çalışma kapsamında ilk olarak körfezin çevresel ortamlarına (hava, su, sediment) ait Z değerleri, sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmıştır (Tablo A.3). Z değerleri hesaplamalarında sıcaklığa bağlı olarak değişen H, K_{OW} ve P_L değerleri kullanılmaktadır. Körfeze ait çevresel ortamlar için sıcaklık değerleri körfezde yapılan izleme çalışmalarından elde edilmiştir. Körfezde alt tabaka sularında yapılan tüm çalışmalar yıl boyunca bu tabaka sıcaklığının 14-15 °C'de sabit olduğunu göstermektedir (Oğuz ve Sur, 1986; Morkoç ve diğ., 2001; Telli-Karakoç ve diğ., 2002b; Aktan ve diğ., 2005). Buradan hareketle, alt tabaka suları ile temas halinde bulunan dip sedimentlerinin sıcaklığı tüm yıl boyunca 15 °C olarak kabul edilmiştir. Bununla beraber, dip sedimentlerinin sıcaklığını ölçmüş ya da raporlamış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Z değeri sedimentte bu sıcaklık için hesaplanmıştır. Sediment ortamına ait Z değeri hesabında kullanılan oktanol-su paylaşım katsayısının çeşitli sıcaklıklardaki değerleri değiştirilmiş Van't Hoff denklemiyle (Beyer ve diğ., 2002) elde edilmiştir (Denklem 3.15):

$$\ln K_{OW,2} = \ln K_{OW,1} + [1/T_1 - 1/T_2] \cdot \Delta H/R \quad (3.15)$$

K_{OW,1} ve K_{OW,2}, iki farklı sıcaklık değeri için oktanol-su paylaşım katsayıları, T₁ ve T₂ sıcaklıklar (K), ΔH ise oktanol-su faz transferi entalpidir (kJ/mol).

Mevcut veriler ışığında, hava ortamına ait, yaz (22,7 °C) ve kış (7,2 °C) mevsimleri için iki ayrı Z değeri hesaplanmıştır (Gaga ve diğ., 2012). Su ortamında da kıyı istasyonları yaz ve kış dönemleri için aynı sıcaklıklar için Z değerleri hesaplanmıştır (Telli-Karakoç ve diğ., 2002b). Açık deniz istasyonlarında bazı örneklemeler 50 metreyi bulabilen derinliklerden (merkezi basende alt tabakaya denk gelen) yapılmıştır. Alt tabaka sıcaklığı 15 °C'de sabit olduğundan Z değeri buna bağlı olarak hesaplanmıştır. Denge durumunda bir bileşiğin hava ve sudaki derişimlerini ifade eden Henry sabitinin farklı sıcaklıklardaki değerleri yine Van't Hoff denkleminin modifikasyonu ile (Maagd ve diğ., 1998; Bamford ve diğ., 1999; Beyer ve diğ., 2002) hesaplanmıştır (Denklem 3.16):

$$\ln H_{T2} = \ln H_{T1} + [1/T_1 - 1/T_2] \cdot \Delta H_w/R \quad (3.16)$$

H_{T1} ve H_{T2}, iki farklı sıcaklıktaki Henry sabitlerini (m³Pa/mol), T₁ ve T₂ sıcaklıkları (K), ΔH_w sudan havaya buharlaşma entalpisini (kJ/mol), R ideal gaz sabitini (8,314

$m^3Pa/molK$) ifade etmektedir. Kimyasalların ortamlar arası paylaşımını açıklamada kullanılan ve havada Aerosol fazının Z değeri hesabında kullanılan sıvı buhar basıncı (P_L), çoğunlukla Gaz Kromatografisinde (GC) alıkonma zamanı metodu ile saptanmakta; deney sonucunda elde edilen doğru denklemden de hesaplanmaktadır (Denklem 3.17) (Lei ve diğ., 2002; Odabaşı ve diğ., 2006):

$$\log P_L = m_L/T + b_L \quad (3.17)$$

Bu denklemde m_L ve b_L sırasıyla eğim ve kesim noktalarıdır.

Çalışmada, İzmit Körfezi'nde öncelikli PAH'ların akıbetini simüle etmek için Seviye I ve Seviye II fugasite model hesaplamaları yapılmıştır. Seviye-I modelinde, ana ortamlar deniz suyu ve yüzey sedimentleri, alt ortamlar ise su ve sudaki askıda katı maddeler ile sediment katıları ve sedimentteki gözenek suyu olarak kabul edilmektedir. Geliştirilen bu modelde hava kompartmanı dahil edilmemiştir. Seviye-I'de, tüm körfez kapalı bir sistem olarak kabul edilmiş ve denge koşullarında, 100 kg'lık kimyasal girişinin olduğu varsayılmıştır.

Seviye-II fugasite modeli, sistemin çevresel ortamları arasında Seviye-I ile aynı dağılım özelliklerini göstermekte ayrıca adveksiyon ve reaksiyon süreçlerini hesaba katmaktadır. Çalışması kapsamında, Seviye-II, $1,33 \times 10^{10} m^3$ su ve $6,30 \times 10^6 m^3$ sedimentten (Baştürk ve diğ., 1985) oluşan İzmit Körfezi sistemi (batı baseni hariç) için reaktif süreçlerin ve suda (su akıntıları) advectif süreçlerin hesaba katılması ile modellenmiştir. Su kolonu ile etkileşim içinde olan iyi karışmış aktif sediment tabakasının kalınlığı 3 cm olarak varsayılmıştır (Mackay, 2001). Sediment ortamının hacmi, sistem yüzey alanı ile çarpılarak hesaplanmıştır. Sisteme 400 kg/sa'lik emisyon girdisi kabulü ile PAH'ların fugasiteleri, konsantrasyonları, kalıcılık ve çıkış akıları hesaplanmıştır. Seviye-II model simülasyonu, kimyasal kalıcılığın ilk tahminini vermektedir.

Bölgede PAH bileşiklerinin hava-su değişimi süreci, hava-su arasındaki difüzyon, havadan suya kuru ve ıslak çökme süreçleri ele alınarak modellenmiştir (Tablo A.4) (Mackay, 2001). Hava ve su ortamları arasındaki buharlaşma ve ters absorpsiyonla gerçekleşen difüzyon süreci için D değeri, Whitman (1923) tarafından geliştirilmiş iki-film modeli denklemlerinin (Denklem 3.18) fugasite yaklaşımıyla

entegre edilmesiyle hesaplanmıştır (Denklem 3.19). Sediment-su değişim süreci ise çökme, resüspansiyon, su ve gözenek suyu arasındaki difüzyon süreçleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır (Tablo A.4).

$$N = K (C_{su} - (C_h RT/H)) \quad (3.18)$$

$$N = D_d(f_{su}-f_h) \quad (3.19)$$

Hava-su difüzyon süreçleri denge durumunun analizi için f_{su}/f_h değeri, mevcut 2006 kış ve 2006 yaz dönemi hava konsantrasyonları değerlerinden yararlanılmıştır (Tablo 3.5). Derlenmiş gözlem verilerine dayanarak sudaki PAH konsantrasyonlarında, Marmara depremine bağlı olarak ani bir değişim meydana geldiği ancak sonrasında yatışkın bir durumun varlığı gözlenmektedir. Dolayısıyla, su ortamı için yaz ve kış dönemleri için en güncel olan Eylül 2001 ve Ocak 2002 konsantrasyon değerleri alınmıştır (Tablo 3.5). Tablo 3.5'teki konsantrasyon verileri ayrıca hava-su değişim modelinde de kullanılmıştır.

Tablo 3.5. $f_{su}-f_h$ hesabı için kullanılan su konsantrasyonu ($\mu\text{g/L}$) ve hava konsantrasyonu (ng/m^3) değerleri

Bileşik	C_{su} , Eylül 2001 ^a	C_h , Yaz 2006 ^b	C_{su} , Ocak 2002 ^a	C_h , Kış 2006 ^b
Fl	1.50E-05	2.30E+00	1.50E-05	4.31E+01
PhA	5.00E-06	3.34E+01	1.82E-05	9.29E+01
AN	2.00E-06	3.30E+00	9.09E-06	2.62E+01
FIA	6.98E-05	1.45E+01	1.01E-04	4.46E+01
BaA	1.80E-05	2.60E+00	1.94E-05	3.40E+00
Chy	6.30E-04	2.00E+00	1.07E-03	2.60E+00
Py	1.00E-05	1.31E+01	5.86E-05	3.65E+01
BaP	3.68E-05	2.00E-01	3.50E-06	4.00E-01
BbFIA	1.60E-04	2.00E-01	2.01E-03	2.00E-01
BkFIA	8.24E-06	3.00E-01	2.50E-06	2.00E-01

a: Telli-Karakoç ve diğ., 2002b

b: Gaga ve diğ., 2012

Sediment ve su fugasitelerinin oranı, f_s/f_{su} , körfezin merkez basenindeki kıyı suları ile kıyı sedimentleri arasındaki ilişkiyi açıklamak üzere, Eylül 2001 ve Ocak 2002 merkez baseni sediment konsantrasyon değerleri ile Eylül 2001 ve Ocak 2002 merkez baseni kıyı suları konsantrasyon verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo

3.6). Kimyasallara ait özellik ve konsantrasyon ölçüm verilerindeki eksikliklerden dolayı f_s/f_{su} için 10 PAH bileşiği f_s/f_{su} için ise 4 PAH bileşiği ele alınabilmektedir.

Tablo 3.6. f_s/f_{su} hesabı için kullanılan merkez basenisediment konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ve su konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{L}$) değerleri (Telli-Karakoç ve diğ., 2002b).

Bileşik	C_s , Eylül 2001	C_{su} , Eylül 2001	C_s , Ocak 2002	C_{su} , Ocak 2002
AN	1.16E+02	2.00E-06	8.77E+02	2.26E-05
FIA	2.30E+02	1.10E-04	1.41E+03	4.00E-05
Py	2.34E+02	1.00E-05	2.76E+02	1.70E-04
BbFIA	2.36E+04	4.30E-05	2.44E+04	8.50E-04

İzmit Körfezi sediment-su ara yüzeyinde kirletici madde değişimine neden olan süreçlerin sulu fazda moleküler difüzyon, sudaki partikül maddelerin fiziksel sedimentasyonu, sediment katılarının resüpsansiyonu, gömülümü ve bozunumu olduğu kabul edilmiştir. İzmit Körfezi sedimentlerinde PAH konsantrasyonları su ortamı PAH konsantrasyonlarından çok daha yüksektir. Ergül ve diğ., (2011), Nisan 2008-Mayıs 2010 tarihleri arasında körfezin doğu, merkez ve batı basenlerinde, belirledikleri 74 farklı noktadan periyodik olarak yüzey sedimenti örnekleri olarak bir PAH izleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sonuçları, inceledikleri PAH bileşiklerinin her biri için ortalama konsantrasyonlar ele alındığında; İzmit Körfezi yüzey sedimentlerinde, FIA, BaP, BaA, PhA ve AN'in daha yüksek, AcN, dBahA, BghiP ve Fl'nin ise daha düşük konsantrasyonlarda olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Fl, FIA ve Py'in bütün örneklerde tespit edildiğini, diğerlerinin ise örneklem zamanı ve yerine bağlı olarak limit saptama değerinin altında çıktığını belirtmişlerdir. Çalışmaları kapsamında, düşük molekül ağırlıklı bileşiklerden NaP'ı ele almamışlardır. NaP, nispeten uçucu olduğundan taşınımı önemli ölçüde atmosfer yoluyla gerçekleşmektedir. İzmit Körfezi sedimentlerinde, NaP için sadece Eylül 2001 döneminde kayda değer bir ölçüm verisi bulunmaktadır (Telli-Karakoç ve diğ., 2002b). Sediment modeli kapsamında, Ergül ve diğ., (2011)'in çalışması sonuçlarından yüzey ve trap sediment konsantrasyonları, toplam organik karbon (TOK) içerikleri ve trap sedimenti örneklerinden elde edilen sedimentasyon akı verileri kullanılmıştır. Değişim süreçleri, merkez baseninde spesifik bir nokta ve bir tarih için (Birbirlerine yakın, DD2 istasyonu trap sedimenti konsantrasyon değerleri (12/09/2008) ve B21 istasyonu yüzey sedimenti konsantrasyon değerleri

(16/09/2008)) modellenmiştir. Modelde ele alınan süreçler fugasite bazlı olarak Denklem 3.20'deki gibi ifade edilmektedir (Mackay, 2001):

$$f_s (D_d + D_r + D_g + D_{rxn}) = f_{su}D_d + f_{su}D_{\text{çö}} \quad (3.20)$$

f_s ve f_{su} değerleri sırasıyla ölçülmüş yüzey sediment konsantrasyonları (C_s , $\mu\text{g/kg}$) ve trap sediment konsantrasyonları ($C_{s,\text{trap}}$, $\mu\text{g/kg}$) kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 3.21 ve Denklem 3.22):

$$f_s = C_s/Z_{s,\text{topl}} \quad (3.21)$$

$$f_{su} = C_{s,\text{trap}}/Z_{akm} \quad (3.22)$$

$Z_{s,\text{topl}}$ ve Z_{akm} değerleri Tablo 3.1'de verilen denklemlerle, DD2 ve B21 istasyonlarında askıda katı madde ve sedimentin ölçülmüş organik karbon içeriği kullanılarak 15°C için hesaplanmıştır. Denklem 3.20'de, $f_{su}D_{\text{çö}}$ ile verilen çökme süreci için DD2 istasyonunda sediment tuzakları örneklerinden elde edilen sediment çökme akısı verileri doğrudan kullanılmakta olup diğer süreçlere ait D değerleri hesapları Tablo 3.2'de olduğu şekildedir. D_{rxn} için kullanılan birinci dereceden reaksiyon kinetiği sabiti (k , 1/sa) değeri Denklem 3.23'teki gibi hesaplanmıştır:

$$k = \ln(2)/t_{1/2} \quad (3.23)$$

B21 istasyonu yüzey sedimenti PAH konsantrasyon değerleri ve DD2 istasyonu sediment trap sedimenti örneklerinde PAH konsantrasyonları ve literatürden elde edilen yarı ömür değerleri (Mackay, 2001) Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. İzmit Körfezi Dil Deresi DD2 ve B21 İstasyonları sediment trap sedimenti ve yüzey sedimenti örneklerinde PAH konsantrasyonları ($\mu\text{g/kg}$ -kuru ağırlık); yarı ömür değerleri (sa)

PAH	Fl	PhA	AN	FIA	BaA	Chy	Py	BaP	BbFIA	BkFIA
C_s	49.2	81.4	45.90	90.7	78.2	47.6	37.4	117.2	21.60	6,70
$C_{s,\text{trap}}$	39	16,60	12,50	59.3	11,50	44.9	44	11,20	12	11,80
$t_{1/2}$	17000	17000	17000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000

3.3. Belirsizlik Analizi

Bu tez çalışmasında uygulanan modellerde kullanılan farklı zamanlarda farklı çalışmalarla belirlenmiş konsantrasyon değerleri ve literatürden alınan tipik değerleri kullanılan diğer parametreler (sediment yoğunluğu, paylaşım katsayıları, aerosol hacim oranı, süpürme oranı vb. gibi) önemli miktarda belirsizlik içermektedir. Bu belirsizliklerin model çıktılarına etkisi, sonuçların güvenilirliği açısından araştırılması gereken bir konudur. Çalışma kapsamında, bu parametrelerdeki belirsizliklerin model çıktılarındaki belirsizliğe etkileri Monte Carlo simülasyonları ile incelenmiştir (MacLeod ve diğ., 2002). Monte Carlo analizleri Excel yazılımına eklenti olarak çalışan ve güncel literatürde yaygın olarak kullanılan Oracle Crystal Ball yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (URL-6).

Monte Carlo belirsizlik analizinde, incelenecek belirsiz parametrelerinin değerleri olasılık dağılımlarının ile tanımlanmaktadır. Literatürde aynı parametreleri ve sonuçları için farklı olasılık dağılımlarını değerlendiren çalışmalar mevcuttur ve her bir değişkeni tanımlamada kullanılan olasılık dağılımı o değişkenin karakteristik özelliklerine göre belirlenmektedir. Olasılık ve istatistik biliminde sıklıkla kullanılan normal, lognormal, üçgen, düzgün vb. dağılımlar arasından en uygunu, söz konusu model değişkeni hakkındaki bilimsel bilgi ve mevcut veriye dayalı olarak seçilir. Örneğin, MacLeod ve diğ., (2002) bölgesel bir kirletici ve besin zincirinde biyobirikim modelleri uygulamalarında belirsizlik analizi gerçekleştirmiş, değişken olarak tanımladıkları parametrelerden kütle aktarım katsayıları için lognormal dağılım uygulamışlardır. Model değişkenlerinden belirsizlik içeren parametreler için olasılık dağılımları tanımlandıktan sonra, bu dağılımlar içerisinde tekrar tekrar örnekleme yapılarak farklı model girdi parametre setlerine sahip çok sayıda simülasyon gerçekleştirilir. Crystal Ball yazılımıyla istenilen sayıda model senaryosu kısa sürede simüle edilebilmektedir. Çalışma kapsamında, f_s/f_{su} , f_{su}/f_h oranları ve hava-su değişim modeli için belirsizlik analizi yapılmıştır. Gerçekleştirilen belirsizlik analizlerinde geçmiş çalışmalardan elde edilen sediment, su ve hava konsantrasyonları ile literatürden alınan değerleri için, MacLeod ve diğ., (2002)'nde çevresel parametreler için varsayılan güvenilirlik faktörleri (confidence factor, Cf) (Tablo 3.8) kullanılmıştır. Bir veri setindeki tüm değerlerin %95'inin, setin medyan değerinin (μ), Cf ile bölümü ve çarpımı arasında olması ilgili parametrenin (X)

medyandan ne kadar sapabileceğini tanımlamaktadır (Denklem 3.24) (MacLeod ve diğ., 2002). Monte Carlo simülasyonları 10000 tekrarlı olarak hesaplanmıştır.

$$\text{olasılık} \left\{ \frac{\mu}{C_f} < X < C_f \mu \right\} = 0,95 \quad (3.24)$$

Tüm parametreler için lognormal dağılım atanarak, medyan değerleri ve %95 olasılık aralığının sınır değerleri ($\frac{\mu}{C_f}$ ve $C_f \mu$ değerleri) ile parametrize edilmiştir. Olasılık dağılımını tanımlayan parametre değerleri Oracle Crystal Ball programına girilerek belirsizlik analizleri gerçekleştirilmiştir. C_s , C_{su} , C_h değerleri ve değerleri literatürdeki tipik değerler kullanılarak belirlenen parametreler için ilgili parametrenin temel durum modellemesinde kullanılan değeri μ olarak kabul edilmiştir. Çalışma boyunca modellemede kullanılan C_s ve C_{su} değerleri, derlenmiş gözlem verilerinden elde edilen konsantrasyon değerleri setlerinin geometrik ortalamasıdır.

Tablo 3.8. Çevresel parametreler için varsayılan girdi güvenilirlik faktörleri (MacLeod ve diğ., 2002).

Model	Çevresel girdi parametresi	Güvenirlik faktörü (Cf)
f_s/f_{su} oranı	Log K_{ow}	1,1
	C_s	3
	C_{su}	2
	$\gamma_{oc, s}$	1,5
f_{su}/f_h oranı	$H_{25^\circ C}$	1,5
	C_h	2
	C_{su}	2
Hava-su değişim	C_h	2
	C_{su}	2
	U_R	3
	U_D	3
	Φ_a	3
	k_{su}	3
	k_h	3
	$H_{25^\circ C}$	1,5
	ρ_{akm}	1,5
	$\gamma_{oc, akm}$	1,5
	Log K_{ow}	1,1
Φ_{akm}	3	

3.4. Hassasiyet Analizi

Oluşturulan bir matematiksel modelde, model sonuçlarının model parametre değerlerine duyarlılığının hesaplanması da önemlidir. Duyarlılık (hassasiyet) analizi belirli girdi parametrelerinin değerlerindeki değişkenlikten dolayı model sonuçlarındaki değişkenliği değerlendirmek için yapılmaktadır. Çevresel akıbet modellerinde kullanılan parametrelerdeki değişkenlik çevresel ve kimyasal verilere büyük ölçüde bağlıdır. Duyarlılık analizleri ile model girdilerindeki bir parametre değerinin değişmesinin modelin sonucu üzerine etkisi incelenmektedir. Model girdi parametrelerinin belli bir oranda değişimi (örn., %10) ve bu değişimlerin çıktı üzerindeki etkisi gözlenerek hassasiyet analizleri yapılabilmektedir (Trapp ve Matthies, 1998). Geleneksel bir duyarlılık analizinde, bir giriş parametresi değişkenini (P) belli bir miktar (ΔP) değiştirmenin model sonucu (S) üzerindeki etkisi Denklem 3.25'teki gibi hesaplanmaktadır (MacLeod ve diğ., 2002):

$$\text{Hassasiyet} = (\Delta S/S)/(\Delta P/P) \quad (3.25)$$

Elde edilen hassasiyet değeri, S' nin P'deki değişikliklere hassasiyetini tanımlamaktadır. Bu çalışmada, hava-su ve sediment-su fugasite oranları ve değişim süreçlerinde kullanılan parametreler için hassasiyet analizi yapılmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. f_{su}/f_h ve f_s/f_{su} oranları hassasiyet analizi için ele alınan parametreler

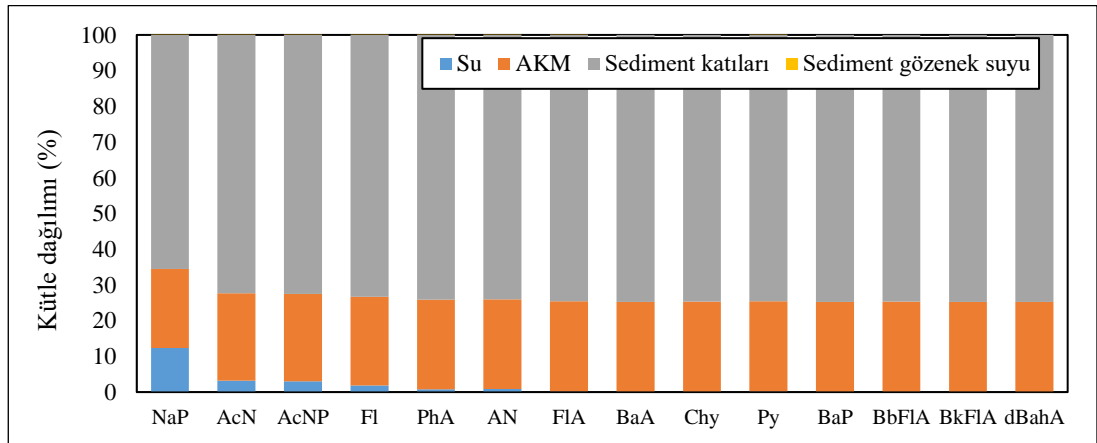
f_{su}/f_h	f_s/f_{su}
C_h	C_s
C_{su}	C_{su}
$H_{25^\circ C}$	$\log K_{ow}$
	$\gamma_{OC_{sediment}}$

Crystal Ball yazılımı da model çıktılarının model parametrelerindeki değişkenliğe duyarlılığını hesaplamakta, grafikler ve tablolar aracılığı ile raporlamaktadır. Bu sayede model oluşturulurken yapılan varsayımların model sonuçlarına etkisi belirlenmekte ve sonuca en çok etki eden model parametreleri ortaya çıkarılabilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Seviye-I ve Seviye-II Fugasite Modelleri

Bu çalışmada, PAH'ların İzmit Körfezi'ndeki akıbetini belirlemek amacıyla fugasite tabanlı çok-ortamlı bir çevre modeli oluşumuna yönelik ilk uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Seviye I-II model uygulamaları, sediment ve alt tabaka suları sıcaklığının 15 °C'de sabit olduğu ve 1970-2017 yılları arasında deniz suyu sıcaklık ortalamasının 15,5 °C (MGM, 2017) olması gerekçesiyle, sistem sıcaklığı 15 °C varsayılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Seviye-I Modeli, körfezin çevresel özelliklerine ait gözlem verileriyle hesaplanmış Z değerleri, İzmit Körfezi sisteminin hacmi, PAH bileşiklerinin kimyasal özellikleri ve sisteme 100 kg'lık kirletici girdisi ile çalıştırılmıştır. Bu modelde, 261 km²'lik yüzey alanı ile su ve sediment ortamlarından oluştuğu kabul edilen İzmit Körfezi sistemi için dört kompartman seçilmiştir: su, sudaki askıda katı maddeler, sediment katıları ve sediment gözenek suyu. Kapalı İzmit Körfezi sistemindeki kararlı hal ve denge varsayımı ile yapılan bu basit hesaplama, körfeze ait çevresel ortamlar için PAH bileşiklerinin genel dağılım eğilimini ortaya koymaktadır. 14 öncelikli PAH bileşiğinin su, askıda katı madde, sediment katıları ve sediment gözenek suyu ortamlarındaki kütle dağılımları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. BghiP ve IP bileşikleri, bu bileşiklere ait kimyasal parametrelerdeki (Henry sabiti, logK_{ow}) eksikliklerden dolayı modellenememiştir.



Şekil 4.1. Öncelikli PAH bileşiklerinin su, askıda katı madde, sediment katıları ve sediment gözenek suyunda kütle dağılımı, Seviye I

Şekil 4.1, sisteme giren PAH kirleticilerinin büyük çoğunluğunun sediment katılarında ve sudaki askıda katı maddeler arasında paylaşıldığını göstermektedir. Yüksek K_{ow} değerine sahip bileşikler sediment ve toprak gibi katı faza sahip ortamlara paylaşılma eğilimindedirler. Sisteme giren 100 kg'lık FlA, BaA, Chy, Py, Bap, BbFlA, BkFlA ve dBahA bileşikleri, sistem denge halinde iken yaklaşık %75 oranında sediment katıları ve yaklaşık %25 oranında suda askıda bulunan katı maddelere dağılmaktadır. En küçük K_{ow} değerine sahip NaP, %14,9 oranında suda bulunmaktadır. Körfezde 1999-2002 yılları arasında yapılan PAH izleme çalışmaları su ve sediment ortamlarında gerçekleştirilmiştir. AKM ve sediment gözenek sularında konsantrasyon ölçümü yapan herhangi bir çalışma mevcut değildir. Çalışmalardan elde edilen veriler bu kimyasalların sediment ortamında bulunmaya meyilli olduğunu göstermektedir. Su ortamında naftalin hariç neredeyse hiç PAH bileşiği saptanamamıştır. Bu veriler Seviye I model sonuçlarını desteklemektedir, ancak gerçekte, körfez sisteminin kapalı ve dengede olmadığı unutulmamalıdır. Ayrıca endüstriler ve kara ve deniz trafiği kaynaklı emisyon miktarı da belirsizdir ve büyük oranda değişiklik göstermektedir. Seviye I model sonuçlarından elde edilen konsantrasyon ve kütle dağılımı değerleri sırasıyla Tablo 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

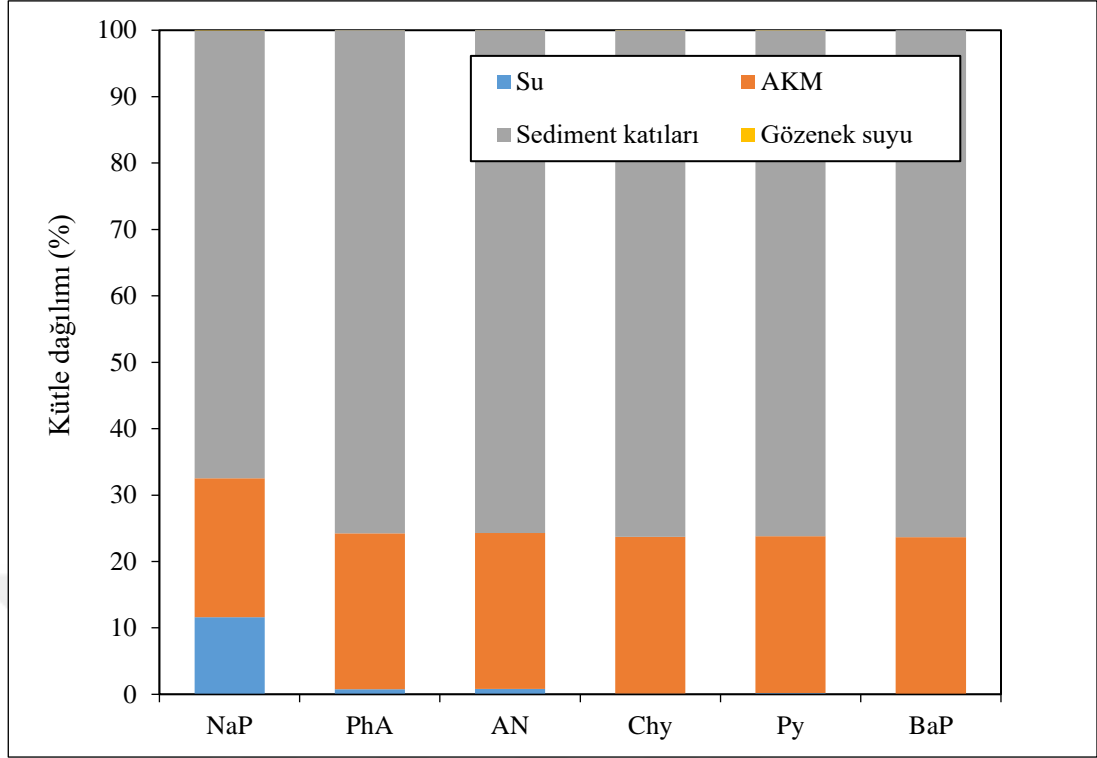
Tablo 4.1. Seçilen öncelikli PAH bileşiklerinin konsantrasyon (mol/m^3) dağılımı (Seviye-I model)

PAH bileşiği	Su	AKM	Sediment Katıları	Gözenek Suyu
NaP	5,34E-09	1,92E-03	3,26E-04	5,34E-09
AcN	1,15E-09	1,76E-03	3,00E-04	1,15E-09
AcNP	1,10E-09	1,79E-03	3,04E-04	1,10E-09
Fl	6,35E-10	1,66E-03	2,82E-04	6,35E-10
PhA	2,56E-10	1,56E-03	2,66E-04	2,56E-10
AN	2,78E-10	1,56E-03	2,65E-04	2,78E-10
FlA	4,87E-11	1,39E-03	2,36E-04	4,87E-11
BaA	8,87E-12	1,23E-03	2,09E-04	8,87E-12
Chy	1,78E-11	1,23E-03	2,09E-04	1,78E-11
Py	5,32E-11	1,39E-03	2,36E-04	5,32E-11
BaP	5,78E-12	1,11E-03	1,89E-04	5,78E-12
BbFlA	1,08E-11	1,11E-03	1,89E-04	1,08E-11
BkFlA	6,83E-12	1,11E-03	1,89E-04	6,83E-12
dBahA	1,10E-12	1,01E-03	1,71E-04	1,10E-12

Tablo 4.2. Seçilmiş öncelikli PAH bileşiklerinin kütle dağılımı (kg) (Her bir bileşiğin sistemde bulunan toplam kütlesi 100 kg'dır.) (Seviye-I model)

PAH bileşiği	Su	AKM	Sediment	Gözenek suyu
NaP	1,23E+01	2,21E+01	6,55E+01	4,29E-03
AcN	3,20E+00	2,45E+01	7,23E+01	1,11E+03
AcNP	3,01E+00	2,45E+01	7,25E+01	1,05E-03
Fl	1,90E+00	2,48E+01	7,33E+01	6,61E-04
PhA	8,23E-01	2,51E+01	7,41E+01	2,86E-04
AN	8,91E-01	2,50E+01	7,41E+01	3,10E-04
FIA	1,77E-01	2,52E+01	7,46E+01	6,16E-05
BaA	3,64E-02	2,53E+01	7,47E+01	1,27E-05
Chy	7,33E-02	2,52E+01	7,47E+01	2,55E-05
Py	1,94E-01	2,52E+01	7,46E+01	6,74E-05
BaP	2,62E-02	2,53E+01	7,47E+01	9,13E-06
BbFIA	4,92E-02	2,53E+01	7,47E+01	1,71E-05
BkFIA	3,10E-02	2,53E+01	7,47E+01	1,08E-05
dBahA	5,52E-03	2,53E+01	7,47E+01	1,92E-06

Seviye-II modelinde, İzmit Körfezi sistemine sadece merkez ve doğu baseni dahil edilmiştir. Ele alınan sistem $1,33 \times 10^{10}$ m³ su ve $6,30 \times 10^6$ m³ sedimentten oluşmaktadır (Tablo 3.3). İzmit Körfezi sularına atmosferik çökeltme ve advectif taşınım ile (sisteme giren sular aracılığıyla) toplamda 400 kg/sa'lik PAH girdisi (*I*) olduğu kabul edilmiştir (Eisler, 1987). Sediment ortamına doğrudan emisyon ya da advectif giriş yoktur. Körfez batı baseninden (Marmara Denizi'nden) iç körfeze su girdisi ve körfezden su çıktısı 5.832.000 m³/saattir (İrtem, 1991). Su hacmi ve akış debisi değerleri kullanılarak batı baseninden giren suyun körfezde 95 gün kaldığı hesaplanmıştır ($V_{su}/G_{su}=t_{su}$). Körfeze giren PAH bileşikleri ayrıca su ve sedimentlerde reaksiyona uğramaktadır. Reaksiyon *D* değerlerinin hesaplanmasında reaksiyon hız sabitleri ve dolayısıyla yarı ömür değerleri gerekmektedir (Denklemler 3.23). Literatürde yarı ömür değerleri mevcut olan bileşikler (NaP, PhA, AN, Chy, Py, BaP) bu modelde ele alınmıştır. Yarı ömür değerleri suda NaP, PhA, AN, Chy, Py ve BaP için sırasıyla 170, 550, 550, 1700, 1700 ve 1700 saat ve sedimentte sırasıyla 5500, 17000, 17000, 55000, 55000 ve 55000 saattir (Mackay, 2001). Körfezde ortamlar arası denge ve kararlı durum için, fugasiteleri, her iki ortamdaki konsantrasyonları, PAH bileşiklerinin bu çevresel sistemdeki bekleme süreleri (kalıcılıkları) ve her iki ortamdan çıktı değerleri hesaplanmıştır. Seviye II modeli Seviye I modeli ile benzer ortamlararası dağılım sonuçları vermiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Bazı PAH bileşiklerinin su, askıda katı madde, sediment katıları ve sediment gözenek suyunda kütle dağılımı, Seviye-II

Tablo 4.3'te 16 PAH bileşiği için Seviye II model girdi ve çıktı parametreleri özetlenmiştir. Körfez sularına deniz suyu girdileri ile gelen PAH'ların (advectif akış) ve sisteme doğrudan PAH emisyonlarının toplamı olan PAH girdisi (I) sonucu körfezdeki PAH'ların akıbeti incelenmiştir. Modelde, Tablo 3.2'de verilen D değerleri denklemleri arasından akışkan ortamlardaki taşınım ve tüm ortamlar için geçerli reaksiyon süreçlerini ifade eden D değerleri kullanılmıştır. Bu süreçler ve karşılık gelen D değerleri Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Seviye II modeli D değerleri

Ortam	Süreç	D değeri	D değeri denklemi
Su	Adveksiyon	D_{adv}	$G_{su}Z_{su}$
	Reaksiyon	$D_{rxn,su}$	$V_{su}Z_{su}k_{su}$
Sediment	Reaksiyon	$D_{rxn,s}$	$V_sZ_s k_s$

V_{su} : Su ortamı hacmi (m^3); V_s : Sediment ortamı hacmi (m^3); k_{su} : Su ortamı için reaksiyon hız sabiti (1/sa); k_s : Sediment ortamı için reaksiyon hız sabiti (1/sa)

Denklem 3.4 kullanılarak fugasite hesaplanmıştır. Hesaplanan fugasite değeri, denge durumu kabulünden ötürü su ve sediment ortamları için eşittir (Denklem 4.2). Genel

kütle denge denklemi, her iki ortamdaki transfer süreçleri açısından Denklem 4.3'teki gibi yazılmaktadır.

$$f_{su} = f_s = f \quad (4.2)$$

$$I = f D_{adv} + f D_{rxn,su} + f D_{rxn,s} \quad (4.3)$$

Son durumda, PAH'ların körfez yüzey sedimentleri ve sularındaki konsantrasyonları fugasite ve konsantrasyon arasındaki bağıntıdan hesaplanmıştır (Denklem 3.1). Model sonuçları en yüksek PAH konsantrasyonlarının sedimentte ve suda askıda katılarda bulunduğunu göstermektedir (Tablo 4.4). Sistemden adveksiyon ve reaksiyon süreçleri ile kaybolan bu PAH bileşiklerinin toplam kalma süreleri 0,27 yıl ile 4 yıl arasında değişmektedir. Model sonuçları modellenen tüm PAH bileşikleri için körfez sisteminden kayıpların önemli ölçüde reaktif süreçlerle olduğunu göstermektedir (Tablo 4.5). Modellenen bileşiklerden kalıcılığı en yüksek olanı benzo(a)pirendir. Benzo(a)piren için toplam kalıcılık 1 yıldır.

Tablo 4.4. Seviye-II model çıktıları (f, Pa; C, mol/m³; τ, ay)

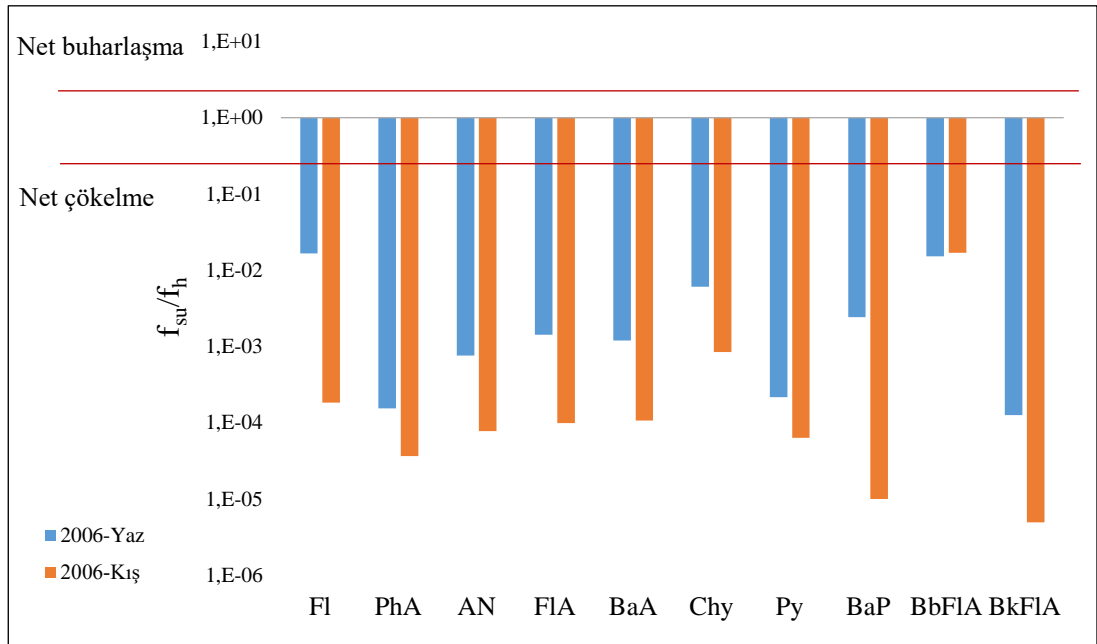
	f	C _{su}	C _s	C _{akm}	C _{gsu}	τ
NaP	3,66E-04	1,87E-05	1,14	6,72	1,87E-05	1
PhA	4,16E-06	3,86E-06	4,00	23,55	3,86E-06	4
AN	5,44E-06	4,17E-06	4,00	23,44	4,17E-06	4
Chy	1,34E-08	8,53E-07	10,00	58,74	8,53E-07	13
Py	6,61E-07	2,53E-06	11,20	65,89	2,53E-06	13
BaP	2,70E-09	2,76E-07	9,05	53,23	2,76E-07	13

Tablo 4.5. İzmit Körfezi sisteminde meydana gelen advektif ve reaktif kayıplar (mol/sa)

Bileşik	fD _{adv}	fD _{rxn,su}	fD _{rxn,s}	f(D _{adv} +D _{rxn,su} +D _{rxn,s})
NaP	109	2830	181	3121
PhA	5	2034	206	2244
AN	10	2030	205	2244
Chy	0.03	1594	159	1752
Py	4	1796	178	1978
BaP	0.01	1442	144	1585

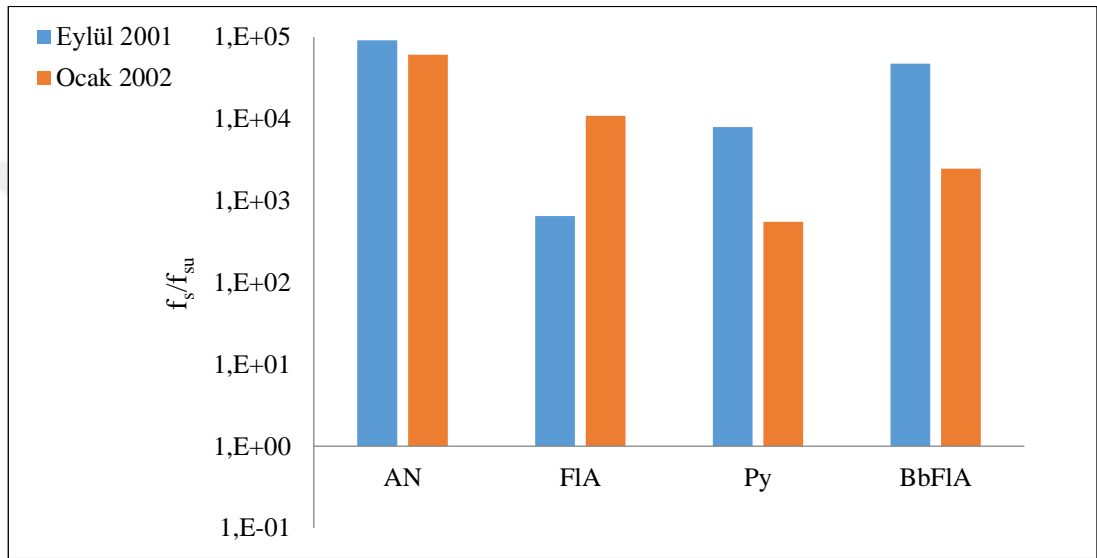
4.2. Fugasite Oranları

Körfezde PAH'ların hava-su ve sediment-su ortamları arasındaki transfer yönünü saptamak üzere fugasite oranları hesaplanmıştır. Hava-su ve su-sediment fugasite oranları için önceki çalışmalardan derlenen ölçülmüş hava, su ve sediment konsantrasyonları kullanılmıştır (Tablo 3.5 ve Tablo 3.6). f_{su}/f_h oranı körfez doğu ve merkez basenleri için f_s/f_{su} oranı ise konsantrasyon verilerindeki yetersizliklerden dolayı sadece merkez baseni için hesaplanmıştır. Şekil 4.3 PAH bileşikleri için f_{su}/f_h değerlerini göstermektedir. f_{su}/f_h oranının hesaplanan tüm PAH bileşikleri için 1'den çok daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durum, hava ve su ortamlarının bu PAH bileşikleri açısından dengede olmadığını, transfer eğiliminin ise havadan suya doğru olduğunu göstermektedir. Yapılan bazı çalışmalarda her iki ortam arasında kirleticinin denge durumunun $0,25 < f_{su}/f_h < 2,5$ için geçerli olduğu kabul edilmiştir (Kim ve diğ., 2013; Kim ve Chae, 2016). f_{su}/f_h oranı hesaplanan bileşiklerin hepsinin havadan suya transfer eğiliminde ve denge durumundan uzakta olduğu görülmektedir. Bununla beraber, her iki ortam arasında florenin yaz döneminde ve benzo(b)florantenin her iki dönemde de dengede olmaya en yakın PAH bileşikler olduğu söylenebilir. Genel olarak, PAH'ların havadan suya transfer eğilimi kışın daha baskın durumdadır.



Şekil 4.3. Hava-su fugasite oranları

Şekil 4.4, İzmit Körfezi merkez baseni kıyı suları ve yüzey sedimentleri arasındaki fugasite oranlarını göstermektedir. Eylül 2001 ve Ocak 2002 dönemleri için suyun yine alıcı ortam olduğunu gösteren bir durum söz konusudur. Hesaplamaya dahil edilebilen PAH bileşikleri için $f_s/f_{su} > 1$ olduğu görülmektedir. Bu durum körfez bölgesinde sediment ortamının kirletici kaynak olduğuna işaret etmektedir. Fugasite oranı hesaplamalarının sonuçları, hava-su ve sediment-su arayüzlerinin PAH'ların hiçbirini için dengede olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.4. Sediment-su fugasite oranları

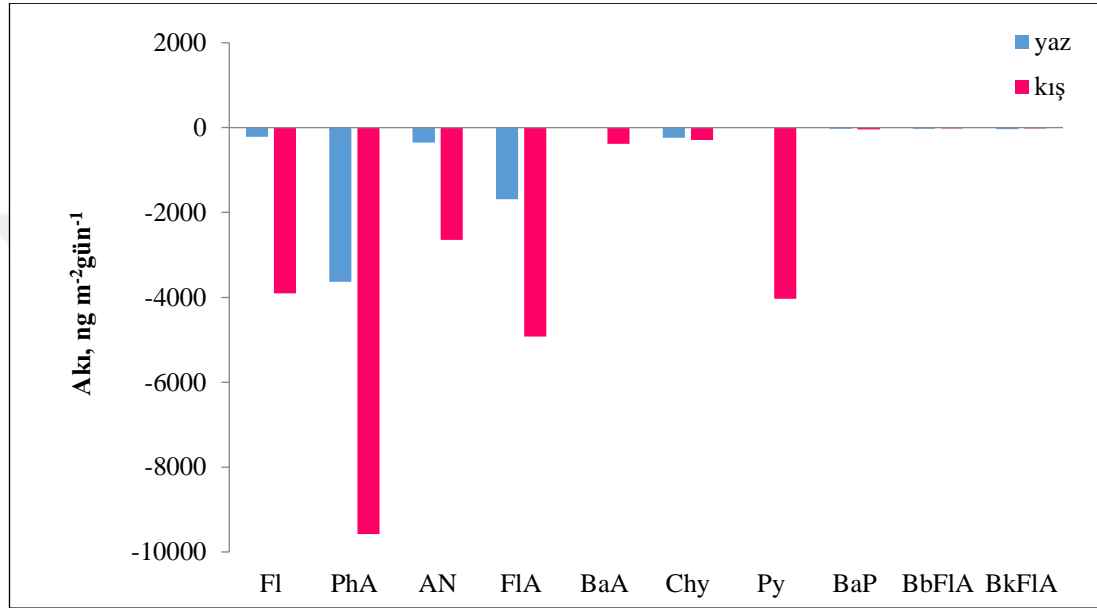
4.3. Hava-Su değişim Modeli

Su-hava ve su-sediment arasındaki kütle transfer süreçleri, PAH'ların çevresel sistemlerdeki akıbetini, yüklemelerini ve taşınımını belirlemede kritik önem taşımaktadırlar. Kuru çökeltme, ıslak çökeltme, yağ çözünme ve su-hava arasındaki difüzyon değişimleri PAH'ların havadan suya transfer süreçlerini oluşturmaktadırlar. İzmit Körfezi'nde PAH hava-su değişim akıları 2006 yılı yaz ve kış dönemleri için belirlendi.

Şekil 4.5, farklı örnekleme dönemlerinde (yaz ve kış aylarında) batı baseni haricinde İzmit Körfezi'ndeki 10 PAH bileşiğinin (Kimyasal özelliklerdeki ve konsantrasyon verilerindeki eksikliklerden ötürü 10 PAH bileşiği ele alınmıştır.) her iki dönem için net difüzyon transfer akısı değerlerini göstermektedir. Üç ve dört halkalı bileşiklerden PhA, FIA, Py, Fl ve AN'nin hava-su arasındaki net difüzyon değişiminde absorbtif

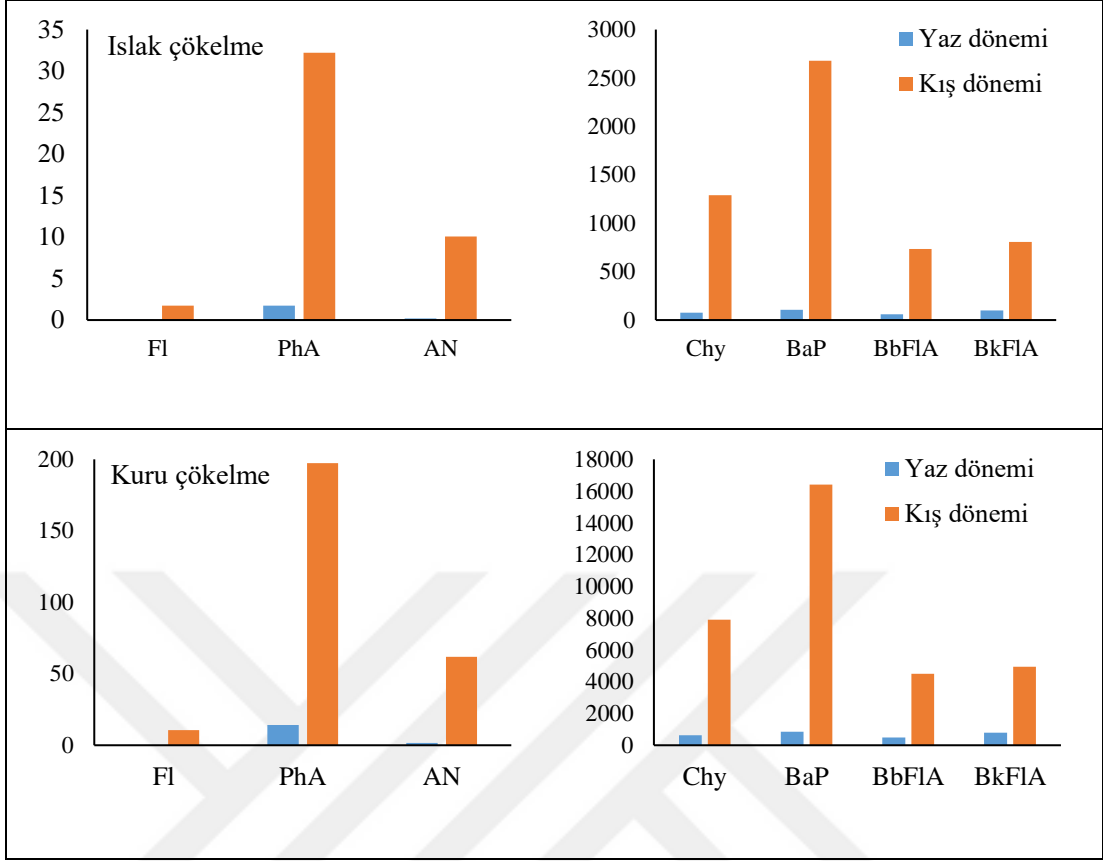
akıların baskın olduğu görülmektedir. PhA, FlA, Fl ve AN'in yaz dönemindeki difüzyon akıları sırasıyla -3634, -1690, -220 ve -352 $\text{ngm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ 'dir. (-) akılar net absorpsiyonu ifade etmektedir. Yaz örnekleme döneminde, PAH'ların akılarının kış örnekleme dönemindeki değerlerden çok daha düşük olduğu görülmektedir. Kış döneminde akılar sırası ile PhA, FlA, Fl ve AN için -9578, -4926, -3906 ve -2647 $\text{ngm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Atmosferik ve sucul sistemlerdeki PAH'ların nispi konsantrasyonları, akı büyüklüklerini ve yönlerini etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek gaz fazı PAH konsantrasyonları ölçüldüğünde yüksek absorptif akı, nispeten düşük gaz fazı PAH konsantrasyonları için ise buharlaşma akıları baskın görülmektedir (Lai ve diğ., 2017). İzmit Körfezi havasında hem yaz hem de kış dönemlerinde PhA, FlA, Py ve AN bileşikleri gaz fazı konsantrasyonları (yaz ve kış dönemleri için sırasıyla, PhA: 33,4 ve 92,9 ng/m^3 ; FlA: 14,5 ve 44,6 ng/m^3 ; Py: 13,1 ve 36,5 ng/m^3 ; 3,3 ve 262 ng/m^3) BaA, Chy, BaP, BbFlA ve BkFlA bileşikleri gaz fazı konsantrasyonlarına (Sırasıyla, BaA: 2,6 ve 3,4 ng/m^3 ; Chy: 2 ve 2,6 ng/m^3 ; BaP: 0,2 ve 0,4 ng/m^3 ; BbFlA: 0,2 ve 0,2 ng/m^3 ; BkFlA: 0,3 ve 0,2 ng/m^3) göre daha yüksek oranda tespit edilmiştir (Gaga ve diğ., 2012). İzmit Körfezi'nde PAH'ların hava ve su ortamları arasındaki difüzyon değişimi inceleyen bu model sonuçları Lai ve diğ., (2017)'nin Tayvan'ın Kaohsiung kıyı bölgesinde yaptığı çalışmada bildirilenlerle benzer bulgular göstermektedir. Ölçülen ve bir simülasyon programı ile tahmin ettikleri en büyük net absorptif akıları, sırasıyla sonbaharın sonunda (Kasım) ve kışın -984,41 ve -684,44 $\text{ngm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ gözlemlenmiştir. Ölçtükları ve bir simülasyon programı ile tahmin ettikleri PAH'ların en büyük net absorptif akı değerleri PhA için sonbaharın sonunda (Kasım) -984,41 $\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ ve kış dönemi için -684,44 $\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ 'di. Li ve diğ., (2009), Çin, Guangzhou'da şehir içinde bir gölde PAH bileşiklerinin hava ve su ortamları arasındaki değişim süreçlerini incelemiştir. Gerçekleştirdikleri saha çalışmaları, net difüzyon akılarının, tüm örnekleme dönemlerinde havadan suya (net birikim) olduğunu göstermektedir. PAH'lar için ortalama -20700 $\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ net difüzyon akı değeri hesaplamışlardır. Bireysel PAH bazında ise en yüksek değişim akısının (net absorptif akı) -13100 $\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ ile PhA olduğunu ve ardından FlA, AN ve Py'nin takip ettiğini söylemiştir. Bu çalışmada, en yüksek net absorpsiyon akısı (-3634 ve -9578 $\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ sırasıyla 2006 yılı yaz ve kış dönemlerinde) üç halkalı PAH PhA için elde edilmiştir. PhA İzmit Körfezi'nde genel olarak havadan su ortamına geçme eğilimindedir ancak faklı

çalışmalarda da belirtildiği üzere akı büyüklükleri mevsime bağlı olarak değişmektedir. Havada, gaz fazında, yüksek moleköl ağırlıklı PAH (MA>252 g/mol) konsantrasyonları, ölçüm sınırının yakınında veya altında olduğundan, akıları oldukça düşüktür (Li ve diğ., 2009; Chen ve diğ., 2016). Genel olarak, net PAH buharlaşmasının açık denizlerde (Chen ve diğ., 2016) ve net PAH adsorpsiyonunun ise kentsel alanlardaki su kütlelerinde (Li ve diğ., 2009) görüldüğü tespit edilmiştir.



şekil 4.5. İzmit Körfezi'nde, 2006 yılı için PAH bileşikleri için havadan suya net difüzyif akı değerleri

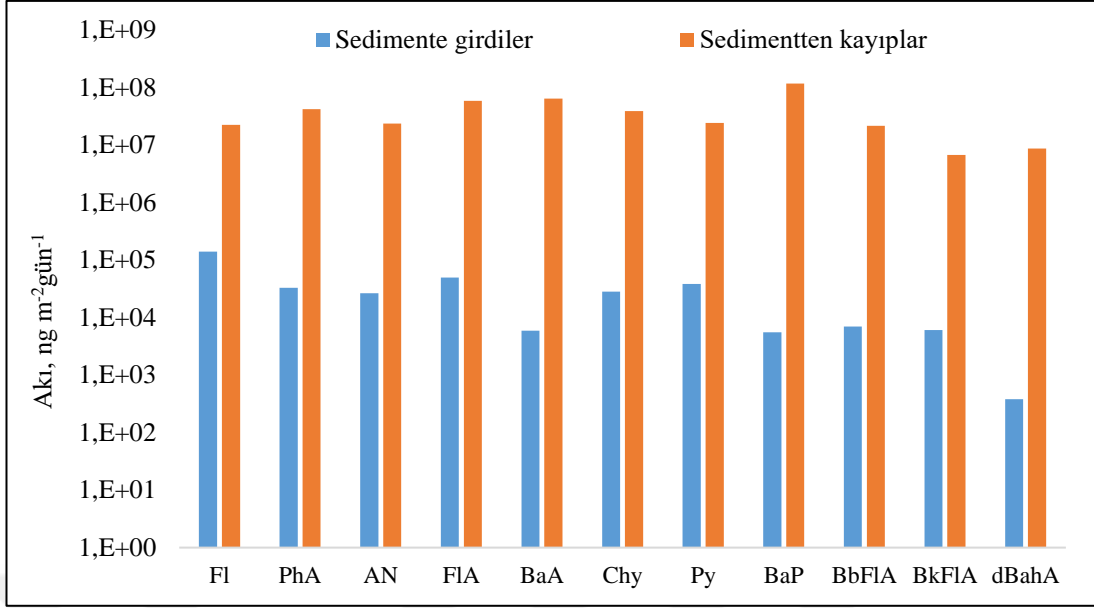
Havadan suya ele alınan tüm süreçler (ıslak çökeltme, kuru çökeltme, yaş çözünme, absorpsiyon) için PAH akılarına baktığımızda partiköl fazda bulunmaya eğimli yüksek moleköl ağırlıklı PAH bileşikleri için ıslak ve kuru çökeltme süreçlerinin etkili olduğu görölmektedir (şekil 4.6). Yaz ve kış dönemlerinde en yüksek kuru çökeltme akısı BaP için gözlemlenmiştir (sırasıyla 854 ve 16414 ng m⁻²gün⁻¹). Gaz fazda bulunan kimyasalları havadan suya taşıyan yaş çözünme ve absorpsiyon süreçlerinde ise tersi bir durum söz konusudur. En yüksek absorpsiyon akısı fenantren için elde edilmiştir. şekillerden de görüldüğü üzere akı büyüklüklerini mevsime bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4.6. İzmit Körfezi'nde, 2006 yılında PAH bileşiklerinin ıslak ve kuru çökeltme ile havadan suya akı değerleri ($\text{ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$).

4.4. Sediment Modeli

Ergül ve diğ., (2011)'in yürüttüğü saha çalışmaları ölçüm verileri ile oluşturulan sediment modelinde Eylül 2008 tarihi için konsantrasyon verisi mevcut olan PAH'ların hepsi, sediment ortamının su ortamı için kaynak olduğunu göstermektedir (Şekil 4.7). Merkez baseninde 2008 yılı Eylül ayı için sudan sedimente Σ PAH akısı (Şekil 4.7'de verilen PAH bileşiklerinin toplam akıları) $3411897 \text{ ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tablo 3.3 ve 3.4'te yer alan uygun parametrelerle tahmin edilen sediment-su difüzyon akıları, PAH bileşiğine bağlı olarak değişmektedir. Model sonucu BaP'nin, $1,18\text{E}+08 \text{ ng m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ ile sedimentten suya net transferi en yüksek olan bileşik olduğunu göstermektedir. Model, Dil Deresi açıklarındaki yüzey sedimenti örnekleme verileri kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. İzmit Körfezi'nde, Eylül 2008 tarihi için sediment ortamına giren ve çıkan PAH akıları

4.5. Belirsizlik Analizi

Oluşturulan f_s/f_{su} , f_{su}/f_h ve hava-su değişim modelleri üzerinde yapılan hassasiyet ve belirsizlik analizleri ile İzmit Körfezi ve körfezdeki PAH kirliliğine dair en önemli bilgi ve veri eksiklikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çok-ortamlı çevresel akıbet modellerinde belirsizlik analizi için en yaygın kullanılan yöntem Monte Carlo yaklaşımıdır (MacLeod ve diğ., 2002). Monte Carlo yaklaşımı, model girdilerinin tekil değerler yerine hepsinin istatistiksel dağılımları ile tanımlanmalarını ve daha sonra bu dağılımlar içerisinde örnekleme yapılarak elde edilen parametre setleri ile çok sayıda model simülasyonu yapılmasını içermektedir. 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. f_s/f_{su} , f_{su}/f_h ve hava-su değişim modellerinde Monte Carlo yöntemiyle belirsizlik analizi simülasyonlarında ele alınan parametreler Tablo 3.8'de verilmiştir. PAH bileşiklerinin fizikokimyasal özellikleri, İzmit Körfezi'ne ait çevresel ortamların özellikleri ve körfezde hava, su ve sedimentlerde ölçülmüş PAH konsantrasyonları belirsiz parametre olarak ele alınmıştır. Tüm değerler için lognormal dağılım varsayılmış, dağılımlar MacLeod ve diğ., (2002)'de verildiği şekilde parametrize edilmiştir. Olasılık dağılımları güvenilirlik faktörleri ile belirlenmiştir. Ayrıntılar Bölüm 3.3'te açıklanmıştır.

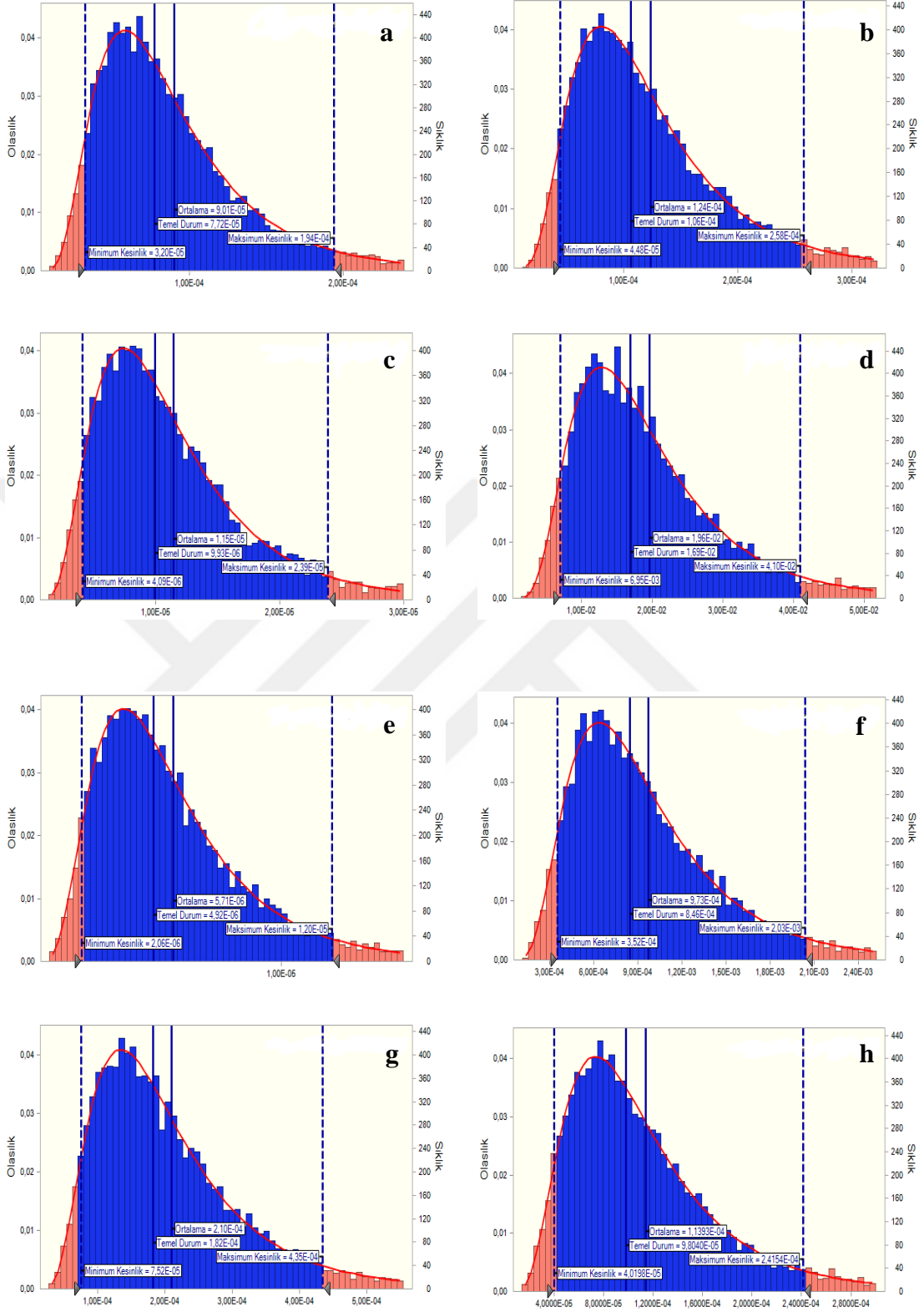
4.5.1. f_{su}/f_h oranındaki belirsizlik

Monte Carlo simülasyonları ile, PAH bileşiklerinin İzmit Körfezi hava ve su ortamları arasındaki denge durumundaki belirsizlik incelenmiştir. Çalışma kapsamında f_{su}/f_h oranı ile açıklanmış bu dağılımdaki belirsizliğe, hava ve sudaki kirletici konsantrasyonları (C_h ve C_{su}) ile sıcaklıkla değişen Henry sabiti (H) değerindeki belirsizliğin katkısı irdelenmiştir. f_{su}/f_h kış dönemi için yapılan simülasyon sonuçlarına ait olasılık-sıklık grafikleri Şekil 4.8’de özetlenmiştir. Analiz sonuçlarının % 90 kesinlik aralığındaki sonuçları Tablo 4.8’de verilmiştir.

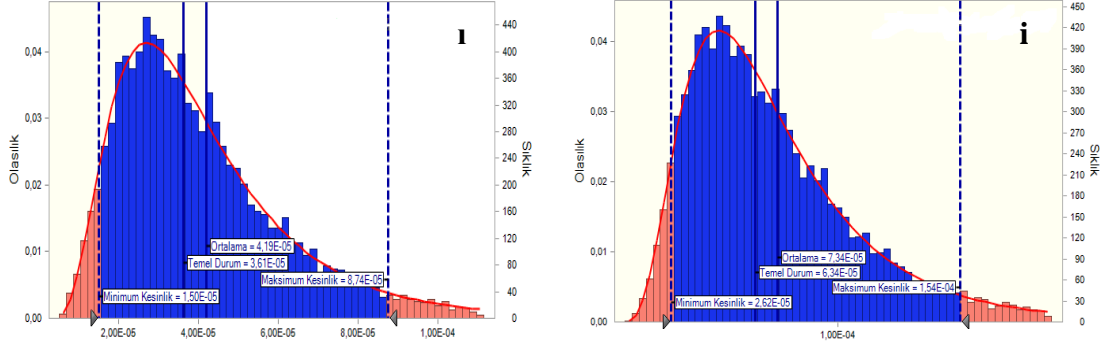
Tablo 4.8. f_{su}/f_h oranı %90 kesinlik aralığı belirsizlik sınır değerleri

Bileşik	Minimum kesinlik	Maksimum kesinlik	Temel durum
AN	3,20E-05	1,94E-04	7,72E-05
BaA	4,48E-05	2,58E-04	1,06E-04
BaP	4,09E-06	2,39E-05	9,93E-06
BbFIA	6,95E-03	4,10E-02	1,69E-02
BkFIA	2,06E-06	1,20E-05	4,92E-06
Chy	3,52E-04	2,03E-03	8,46E-04
Fl	7,52E-05	4,35E-04	1,82E-04
FIA	4,01E-05	2,42E-04	9,80E-05
PhA	1,50E-05	8,74E-05	3,61E-05
Py	2,62E-05	1,54E-04	6,34E-05

PAH bileşiklerinin körfez hava ortamındaki fugasitesi körfez sularında olduğundan çok daha fazladır. $f_{su}/f_h < 1$ ’dir. Havadan suya net sorpsiyonu ifade eden bu durumun % 90 belirsizlik sınırının minimum ve maksimum değerleri için bile değişmediği gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonları sonucunda görülmüştür. Dengeye olmaya en yakın benzo(b)florantenin de dahi maksimum kesinlik sınırında 1’den küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8 f_{su}/f_h için Monte Carlo simülasyon sonuçları sıklık grafikleri; a: AN, b:BaA, c: BaP, d: BbFIA, e: BkFIA, f: Chy, g: Fl, h: FIA, i: PhA, j: Py



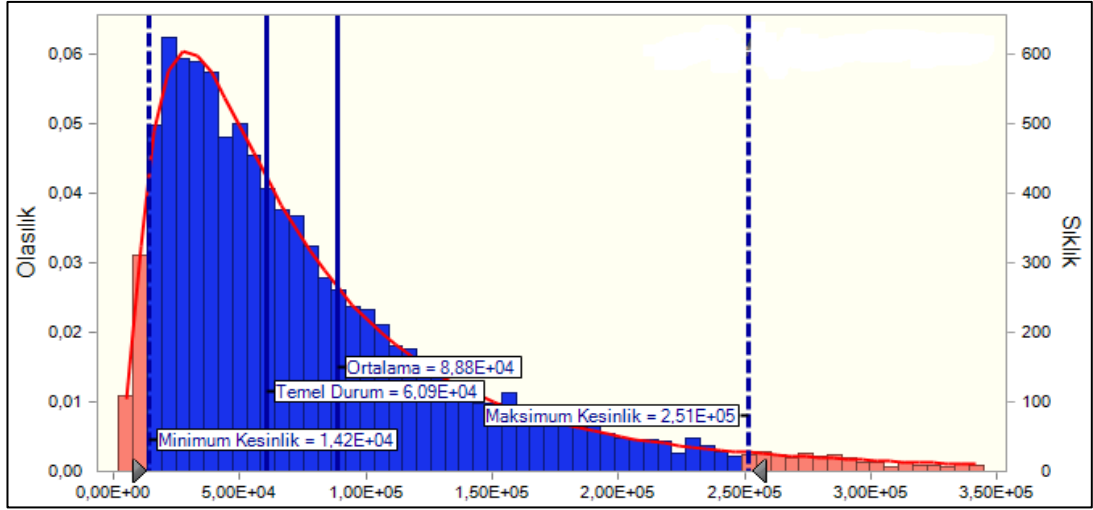
Şekil 4.8. (Devam) f_{su}/f_h için Monte Carlo simülasyon sonuçları sıklık grafikleri; a: AN, b:BaA, c: BaP, d: BbFIA, e: BkFIA, f: Chy, g: Fl, h: FIA, ı: PhA, i: Py

4.5.2. f_s/f_{su} oranındaki belirsizlik

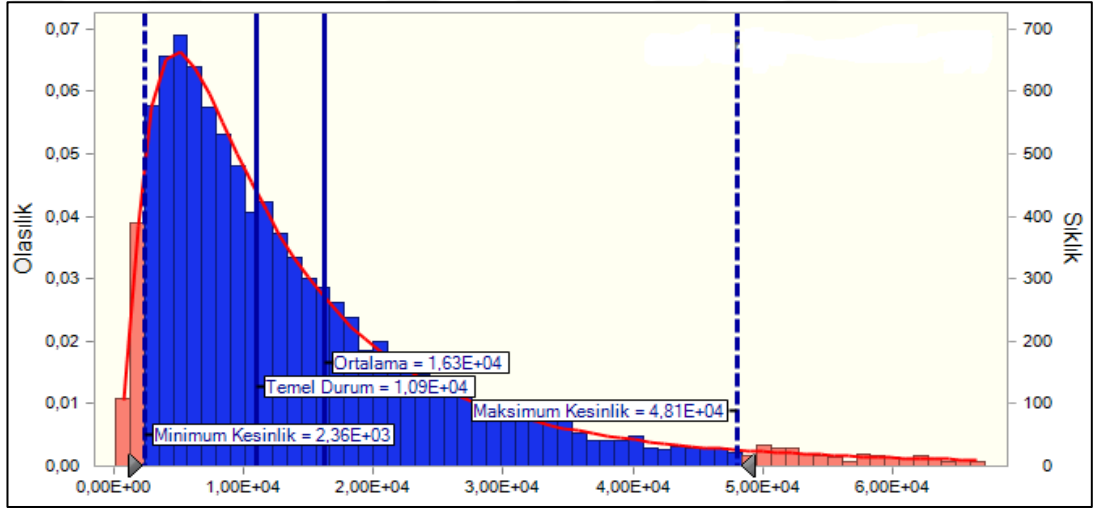
PAH bileşiklerinin İzmit Körfezi sediment ve su ortamları arasındaki difüzyon dağılımının belirsizliğine, sediment ve sudaki kirletici konsantrasyonları ile sediment katılarının organik karbon içeriği ve oktanol-su paylaşım katsayısı değerlerindeki belirsizliğin katkısı Monte Carlo simülasyonları ile kantitatif olarak araştırılmıştır. Oranın hesaplanmasında kullanılan parametrelerden, Ocak 2002 dönemi için, C_{su} , C_s , $\log K_{ow}$ ve $\gamma_{oc,s}$ değerleri simülasyon girdisi olarak kullanılmıştır. Yapılan simülasyon sonuçlarına ait olasılık-sıklık grafikleri AN, FIA, Py ve BbFIA için sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Analiz sonuçlarının % 90 kesinlik aralığındaki sonuçları (bu aralıktaki minimum ve maksimum değerleri) Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. f_s/f_{su} oranı %90 kesinlik aralığı belirsizlik sınır değerleri

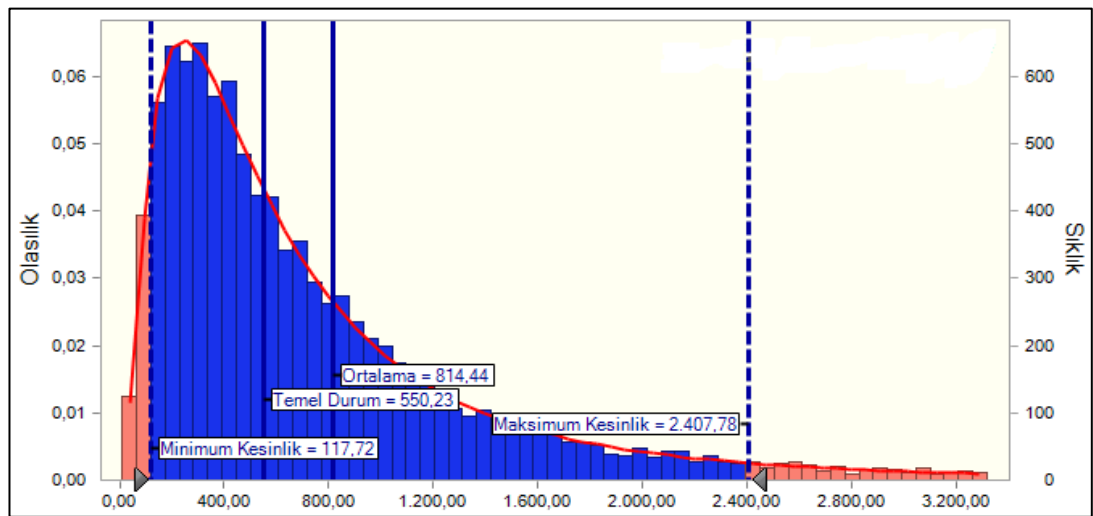
Bileşik	Minimum kesinlik	Maksimum kesinlik	Temel durum
AN	14200	251000	60900
FIA	2360	48100	10900
Py	118	2408	550
BbFIA	510	11400	2470



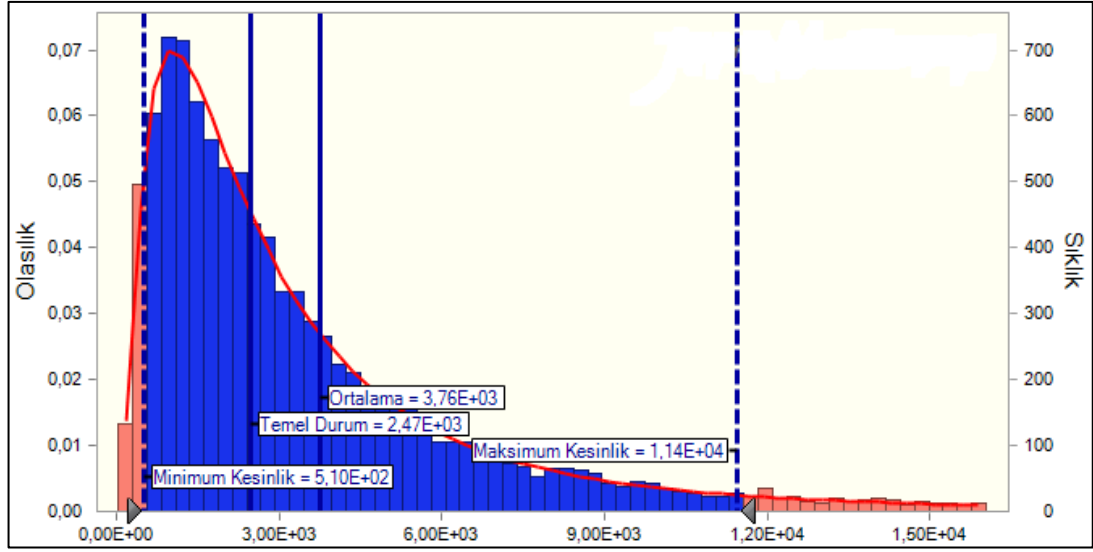
Şekil 4.9. AN için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (f_s/f_{su} oranı)



Şekil 4.10. FIA için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (f_s/f_{su} oranı)



Şekil 4.11. Py için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (f_s/f_{su} oranı)

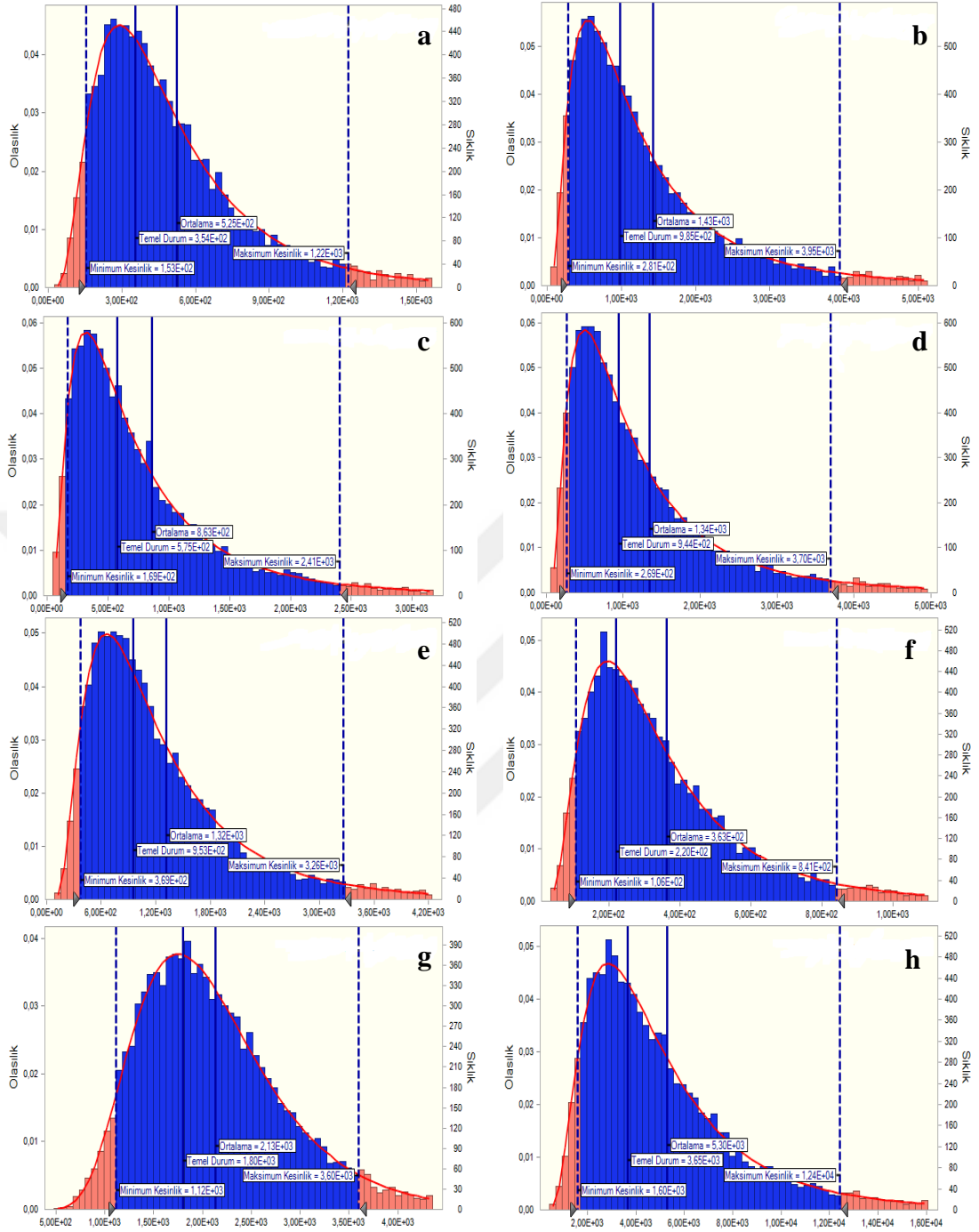


Şekil 4.12. BbFIA için Monte Carlo simülasyon sonucunun sıklık grafiği (f_s/f_{su} oranı)

Model sonuçları, kirleticilerin %90 (kesinlik aralığı) belirsizlik sınırında bile denge durumuna yaklaşmadığını göstermektedir. Simülasyon sonuçları minimum ve maksimum değerlerde bile denge durumunun sağlanamayacağını göstermektedir ($f_s/f_{su} > 1$). Su ortamı ile kıyaslandığında sedimentlerin fugasitesi çok daha fazladır ve sedimentler körfeze giren PAH kirleticileri için kaynak durumundadır.

4.5.3. Hava-su değişim modelindeki belirsizlik

İzmit Körfezi, körfezdeki PAH kirliliği ve PAH'ların fizikokimyasal özellikleri ile, İzmit Körfezi'nde hava-su arası PAH transferleri değişim modeli üzerinde belirsizlik analizleri gerçekleştirilmiştir. PAH'ların su ve karasal ortamlara girmesi süreçlerini oluşturan kuru çökeltme, ıslak çökeltme, yağ çözünme ve su-hava arasındaki difüzyon değişimlerinin hesaplanmasında kullanılan çevresel parametreler ile literatür değerlerindeki (Tablo 3.8) belirsizliklerin PAH'ların yaz döneminde havadan suya net transferindeki belirsizliğe etkisi simüle edilmiştir. Şekil 4.13'te model sonuçlarındaki belirsizliğin olasılık dağılımları verilmiştir. %90 kesinlik aralığı ile sınırlanan belirsizlik analizi minimum ve maksimum değer sonuçları Tablo 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.13. Havadan suya net transfer akırlarındaki belirsizlik için Monte Carlo simülasyon sonuçları sıklık grafikleri; a: AN, b: BaP, c: BbFIA, d: BkFIA, e: Chy, f: Fl, g: FIA, h: PhA.

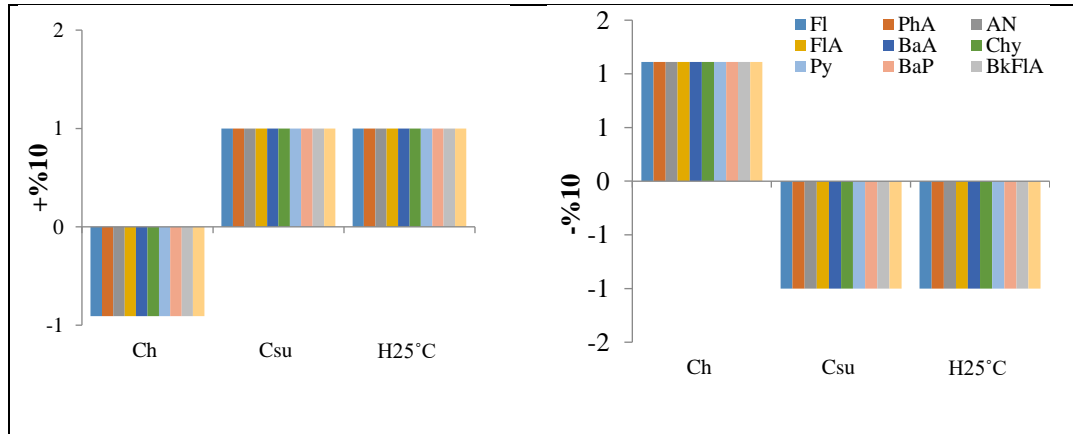
Analiz sonuçları ele alındığında körfez hava ve su ortamı arasında öncelikli PAH bileşiklerinin kararlı durumdan uzak olduğu görülmektedir. PAH'ların bu iki ortam arasındaki net geçişi havadan suya olmaktadır. İzmit Körfezi'nde hava PAH kirlenmeleri için bir kaynaktır.

Tablo 4.9. Havadan suya net transfer akılarının %90 kesinlik aralığındaki sınır değerleri

Bileşik	Minimum kesinlik	Maksimum kesinlik	Temel durum
AN	1,57E+02	1,20E+03	3,54E+02
BaP	2,78E+02	3,92E+03	9,85E+02
BbFIA	1,69E+02	2,41E+03	5,75E+02
BkFIA	2,80E+02	3,62E+03	9,44E+02
Chy	3,64E+02	3,34E+03	9,53E+02
Fl	1,06E+02	8,41E+02	2,20E+02
FIA	1,09E+03	3,58E+03	1,80E+03
PhA	1,52E+03	1,22E+04	3,65E+03

4.6. Hassasiyet Analizi

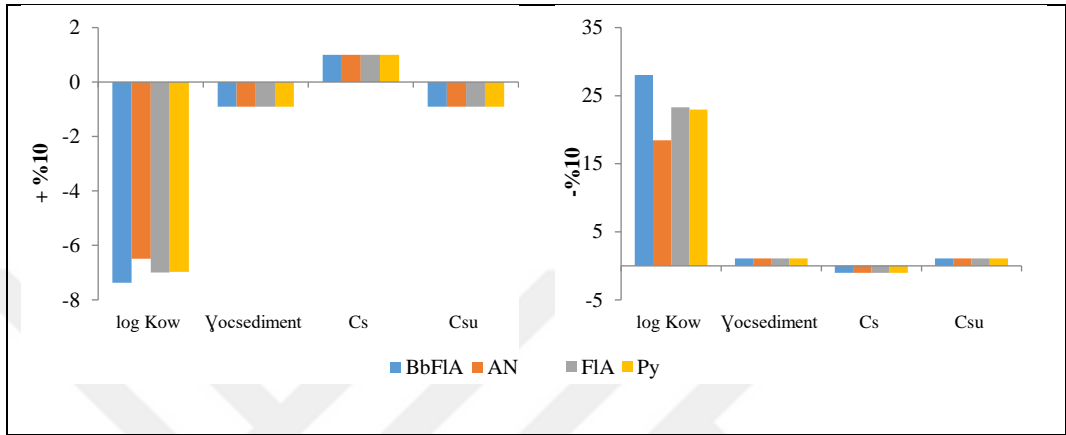
Bu tez çalışmasında, hava-su, sediment-su fugasite oranları ve değişim modelleri için hassasiyet (duyarlılık) analizi yapılmıştır. Modelde duyarlılığı yüksek olan parametreler model sonuçları için kritik öneme sahiptir. Tablo 3.8’de verilen parametreler \mp %10 oranında, bir seferde tek bir parametre olmak üzere, değiştirilerek f_{su}/f_h ve f_s/f_{su} oranları hesaplanmıştır. f_{su}/f_h oranı kış dönemi için gerçekleştirilen hassasiyet analizi sonuçları Şekil 4.14’te verilmiştir. Sonuçlar ilgili parametredeki %10’luk değişimin sonuç için %10’luk bir değişime neden olduğunu göstermektedir.



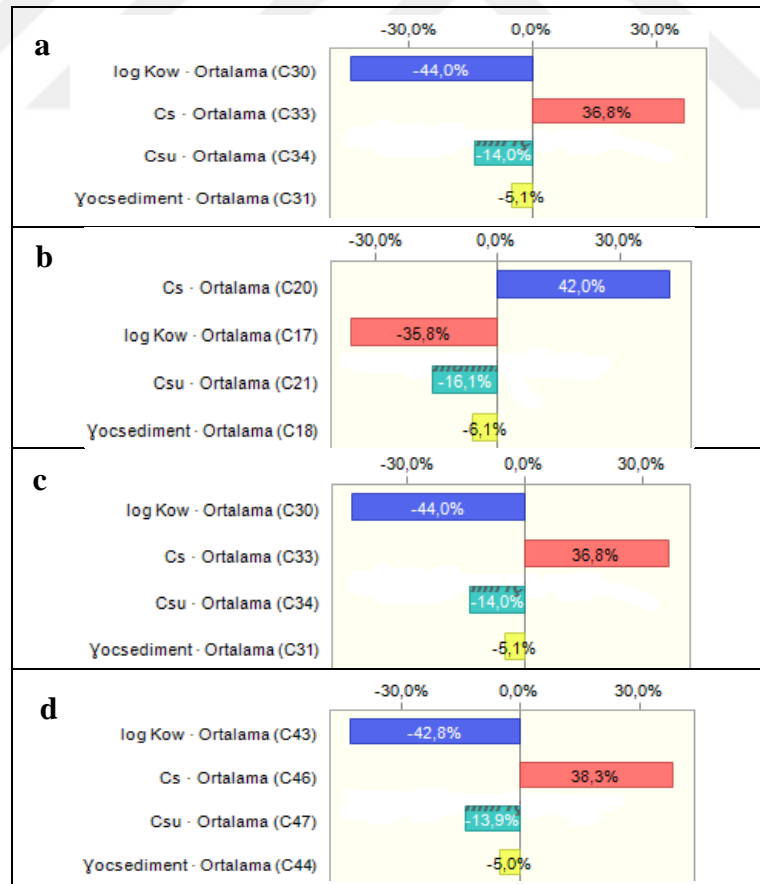
Şekil 4.14. f_{su}/f_h oranı hassasiyet analizi sonuçları

f_s/f_{su} oranı hassasiyet analizi sonuçları Şekil 4.15’te gösterilmektedir. Model hassasiyet analizi çıktıları PAH kirleticilerinin f_s/f_{su} değerlerinin önemli ölçüde $\log K_{ow}$ değerlerine hassas olduğunu göstermektedir. Monte Carlo yöntemi, belirsizlik analizi simülasyonlarında ayrıca girilen parametreler için yaptığı hassasiyet analizi ile model sonuçlarına en çok etki eden model parametrelerini de belirlemektedir. f_s/f_{su} oranı ilgili PAH bileşikleri için Monte Carlo simülasyon

metodu hassasiyet analizi sonuçları Şekil 4.16’da verilmiştir. Monte Carlo simülasyonu sonucunda elde edilen hassasiyet analiz sonuçları, Denklem 3.24 kullanılarak gerçekleştirilen hassasiyet analizi sonuçları birbirlerini destekler niteliktedir. Hassasiyet analizi ile model sonuçlarına en çok etki eden model parametresinin K_{ow} ve sediment konsantrasyonları olduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. f_s/f_{su} oranı hassasiyet analizi sonuçları



Şekil 4.16. Monte Carlo simülasyonu f_s/f_{su} oranı hassasiyet analizi sonuçları; a: BbFIA, b: AN, c: FIA, d: Py.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile İzmit Körfezi'nde PAH kirliliğinin geçmişten günümüze ve gelecekteki olası durumlardaki değişimini bir fugasite tabanlı, çok-ortamlı çevresel akıbet modeli aracılığıyla niceliksel olarak belirlemek için ön simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, İzmit Körfezi ve çevresinin fiziksel, coğrafi, hidrolojik ve oşinografik özelliklerini araştıran çalışmalar incelenmiş ve bölgedeki PAH kirliliğini araştıran çalışmaların sonuçları derlenmiştir. Bu çalışmalar tarafından üretilen verilerle öncelikli PAH bileşiklerinin hava, su ve sediment ortamlarındaki konsantrasyonlarının zamanla değişimi incelenmiştir. Çalışmada, 118Y155 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında İzmit Körfezi'nde kirlilik ölçüm verileri ile körfezin çevresel özelliklerine dair mevcut veriler kullanılarak körfez için fugasite-tabanlı bir matematiksel model seti uygulanmıştır. İzmit Körfezi'nde PAH kirleticilerinin hava, su ve sediment ortamları arası akıbeti için geliştirilmiş matematiksek modellerin çözümü için Excel yazılımı kullanılmıştır.

Bölge için uygulanmış Seviye-I ve Seviye-II fugasite modelleri, körfez bölgesindeki PAH sınıfı kirleticilerin sediment ortamında birikmeye meyilli olduğunu doğrulamaktadır. Seviye-II modeli sonuçları körfezdeki PAH kirleticileri için reaksiyonun adveksiyona oranla çok daha önemli bir kayıp süreci olduğuna işaret etmektedir. Hava-su ve sediment-su arasında PAH'ların transfer eğiliminin belirlenmesi ve kaynak-alıcı ortam eğilimlerinin anlaşılması için PAH bileşiklerinin birbirine temas eden ortamlardaki fugasitelerinin oranları belirlenmiştir. f_{su}/f_h ve f_s/f_{su} sonuçları, hava ve su ile su ve sediment ortamları arasında PAH'ların dengede olmadığını göstermiştir. Hava-su değişim modeli sonuçlarına göre hava ve su ortamları arasındaki transfer akıları kararlı durumdan uzaktadır. Toplam transfer yönü havadan suya doğrudur. Havadan suya difüzyon transferler kış döneminde daha yüksektir. Partikül fazdaki PAH bileşiklerinin havadan suya transferinde özellikle kış döneminde ıslak çökme daha baskındır. Eylül 2008 yılında İzmit Körfezi merkez baseninde ölçülmüş sediment konsantrasyon verileri kullanılarak yapılan sediment

modeli hesaplamaları ölçüm dönemi ve konumunda sedimentten kayıpların sedimente girdilerden daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Bu tez çalışmasında, İzmit Körfezi'nin çevresel özellikleri ile körfezdeki PAH kirliliğine dair çalışmaların incelenmesinden elde edilen veriler kullanılarak körfezdeki çok-ortamlı PAH kirliliği fugasite yaklaşımı kullanılarak niceliksel olarak analiz edilmiştir. Seviye-I ve Seviye-II fugasite modelleri oluşturulmuştur. Geçmiş yıllarda yapılmış çalışmalarda elde edilmiş PAH konsantrasyon verileri kullanılarak, Seviye-III fugasite modeli için de altyapı oluşturacak olan hava-su değişim ve sediment modelleri oluşturulmuş, ayrıca, hava/su ve su/sediment fugasite oranları hesaplanarak körfezde ortamlar arası denge durumu incelenmiştir. Ayrıca belirsizlik ve hassasiyet analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen deneyim sonucu gelecek çalışmalar için aşağıda listelenen önerilerde bulunulabilir:

- Bu çalışmada üretilen bilgi birikimi kullanılarak İzmit Körfezi için Seviye-III ve Seviye-IV fugasite modelleri geliştirilebilir.
- Bu çalışmada kullanılan yöntemler, Türkiye ve dünyanın farklı bölgelerinde deniz ve göl sistemlerindeki organik kimyasal kirliliğin analizi için kullanılabilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamalar, özellikle çevresel gözlem çalışmalarının sınırlı olduğu bölgelerde mevcut bilgi birikiminin analizi için yol gösterici olabilir.
- Bu çalışmada elde edilen niceliksel analiz sonuçları gelecekte İzmit Körfezi'nde yapılacak olan çevresel gözlem ve kirlilik modelleme çalışmalarına yol gösterici olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Aghadadashi V., Mehdiinia A., Bakhtiari A.R., Mohammadi J., Moradia M., Source, spatial distribution, and toxicity potential of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in sediments from Iran's environmentally hotzones, the Persian Gulf, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, **173**, 514-525.

Aktan Y., Tüfekçi V., Tüfekçi H., Aykulu G., Distribution patterns, biomass estimates and diversity of phytoplankton in İzmit Bay (Turkey), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, **64**, 372-384.

Algan O., Altıok H., Yüce H., Seasonal Variation of Suspended Particulate Matter in Two-layered İzmit Bay, Turkey, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, **49**(2), 235-250.

Alver E., Demirci A., Özcimder M., Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlık Etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2012, **3**(1), 45-52.

Artüz İ., Kor N., İzmit Körfezi Kirlenmesi Kontrolü Yönünde Ön Çalışma Projesi, İÜ Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü, İstanbul, 1970.

ATSDR, Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, Atlanta, GA., 1995.

Balcıoğlu E.B., Gönülal O., Güreşen S.O., Aksu A., Öztürk B., Comparison and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the entrance and the exit of the Turkish Straits System (TSS), *Marine Pollution Bulletin*, 2018, **136**, 33-37.

Balkaş T., Baştürk Ö., Tuğrul S., Sunay M., Morkoç E., Bozyap A., Sağlamer O., Determination of Characteristics and Self-Purification Capacity of İzmit Bay, *TÜBİTAK-MAM*, NATO TU-WATERS Project, 1. Teknik Rapor, 1985.

Bamford H.A., Poster D.L., Baker J.E., Temperature Dependence Of Henry's Law Constants Of Thirteen Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Between 4 °C and 31 °C, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1999, **18**(9), 1905-1912.

Baştürk Ö., Tuğrul S., Sunay M., Balkaş T., Morkoç E., Okay O.S., Bozyap A., Determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of İzmit Bay, *TÜBİTAK-MAM*, NATO TU-WATERS Project, 1. Yıllık Rapor, 1985.

Beşiktepe Ş.T., Sur H.İ., Özsoy E., Latif M.A., Oğuz T., Ünlüata Ü., The circulation and hydrography of the Marmara Sea, *Progress in Oceanography*, 1994, **34**(4), 285-334.

Beyer A., Wania F., Gouin T., Mackay D., Matthies M., Selecting Internally Consistent Physicochemical Properties Of Organic Compounds, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2002, **21**(5), 941-953.

Çetin B., Investigation of PAHs, PCBs and PCNs in soils around a Heavily Industrialized Area in Kocaeli, Turkey: Concentrations, distributions, sources and toxicological effects, *Science of the total environment*, 2016, **560-561**, 160-169.

Çetin B., Yurdakul S., Keleş M., Çelik I., Öztürk F., Doğan C., Atmospheric concentrations, distributions and air-soil exchange tendencies of PAHs and PCBs in a heavily industrialized area in Kocaeli, Turkey, *Chemosphere*, 2017, **183**, 69-79.

Çetindamar D., Veli S., Öztürk T., Arslanbaş D., Aslan Kılavuz S., Çetin Doğruparmak Ş., Can Doğan E., Topraklarda PCB ve PAH'ların İncelenmesi: Alikahya Bölgesi, *Journal of Polytechnic*, 2014, **17**(3), 127-133.

Danış H., Görgün M., Marmara Depremi ve Tüpraş Yangını, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.

Dede O.T., Sezer M., Karakurt S., Investigation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) Pollution in Pazarsuyu Stream (Giresun, Turkey), *Int. J. of Environmental Pollution & Environmental Modelling*, 2018, **1**(3), 67-70.

Eisler R., Polycyclic aromatic hydrocarbon hazards to fish, wildlife and invertibrates: A synoptic review, 85(1.11), *U.S. Fish and Wildlife Services*, 1987.

Ergül H.A., Pekey, B., Ay Ü., Kılavuz S., Karademir A., Topcuoğlu S., Telli B., Terzi M., İzmit Körfezi Sediment ve Biyota Örneklerinde Çevresel Kirleticilerin Belirlenmesi, İzlenmesi ve Alıcı Ortam Kaynak Belirleme Modelinin Uygulanması, Proje no: 107Y261, *TÜBİTAK*, 2011.

Gaga E. O., Ari A., Döğeroğlu T., Cakirca E. E., Machin N. E., 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*, 2012, **14**(8), 2219-2229.

Giuliani S., Bellucci L. G., Çağatay M. N., Polonia A., Piazza R., Vecchiato M., Pizzini S., Gasperini L., The impact of the 1999 Mw 7.4 event in the İzmit Bay (Turkey) on anthropogenic contaminant (PCBs, PAHs and PBDEs) concentrations recorded in a deep sediment core, *Science of The Total Environment*, 2017, **590-591**, 799-808.

Güven K. C., Ünlü S., Oil pollution in sea water of İzmit Bay following the earthquake (17 Aug 1999), *Turkish J. Marine Sciences*, 2000, **6**, 215-226.

Gysel N., Dixit P., Schmitz D.A., Engling G., Cho A.K., Cocker D.R., Karavalakis G., Chemical speciation, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and toxicity of particles emitted from meat cooking operations, *Science of the Total Environment*, 2018, **633**, 1429-1436.

Hughes L., Mackay D., Powell D.E., Kim J., An updated state of the science EQC model for evaluating chemical fate in the environment: Application to D5 (decamethylcyclopentasiloxane), *Chemosphere*, 2012, **87**, 118-124.

İrtem E., Tabakalı Körfezlerdeki Su Kütlesi Hareketlerinin Belirlenmesi ve İzmit Körfezine Uygulanması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.

Karakaş D., Pekey B., Telli-Karakoç F., Tolun L., Morkoç E., Tüfekçi H., Yakupoğlu G., Yakan H., İzmit Körfezi'ne Giren Kanserojenik Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH): Kaynak ve Seviye Tespiti, Proje no: YDABAG-101Y111, *TÜBİTAK*, 2004.

Karakaş D., Pekey B., Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Izmit Bay (Turkey), *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2005, **85**(7), 433-442.

Ke H., Chen M., Liu M., Chen M., Duan M., Huang P., Hong J., Lin Y., Cheng S., Wang X., Huang M., Cai M., Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons from the North Pacific to the Arctic: Field measurements and fugacity model simulation, *Chemosphere*, 2017, **184**, 916-923.

Ke R., Wei Z., Bogdal C., Göktaş R. K., Xiao R., Profiling wines in China for the biogenic amines: A nationwide survey and pharmacokinetic fate modelling, *Food Chemistry*, 2018, **250**, 268-275.

Kim J., Powell D.E., Hughes L., Mackay D., Uncertainty analysis using a fugacity-based multimedia mass-balance model: Application of the updated EQC model to decamethylcyclopentasiloxane (D5), *Chemosphere*, 2013, **93**, 819-829.

Kim S.K., Chae D.H., Seasonal variation in diffusive exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons across the air-seawater interface in coastal urban area, *Marine Pollution Bulletin*, 2016, **109**, 221-229.

Kor N., Göknil H., Ayalp A., Karpuzcu M., Demirlıkan R., İzmit Körfezi Kirlenmesinin Kontrolü, Proje no: MAG 318, *TÜBİTAK*, 1974.

Lai I.C., Lee C.L., Ko F. C., Lin J.C., Huang H.C., Shiu R.F., Use of a numerical simulation approach to improve the estimation of air-water exchange fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal zone, *Marine Pollution Bulletin*, 2017, **120**(1-2), 259-267.

Lei Y.D., Chankalal R., Chan A., Wania F., Supercooled Liquid Vapor Pressures of the Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, *J. Chem. Eng. Data*, 2002, **47**, 801-806.

Li J., Cheng H., Zhang G., Qi S., Li X., Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) deposition to and exchange at the air-water interface of Luhu, an urban lake in Guangzhou, China, *Environmental Pollution*, 2009, **157**(1), 273-279.

Maagd P.G.J., Hulscher D.T., Heuvel, H., Opperhuizen, A., Sijm D.T.H.M., Physicochemical Properties Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Aqueous

Solubilities, N-Octanol/Water Partition Coefficients, And Henry's Law Constants, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1998, **17**(2), 251-257.

Mackay D., Finding Fugacity Feasible, Fruitful, and Fun, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2004, **23**(10), 2282-2289.

Mackay D., Finding Fugacity Feasible, *Environmental Science&Technology*, 1979, **13**(10), 1218- 1223.

Mackay D., *Multimedia Environmental Models: the Fugacity Approach*, 2nd ed., CRC Press LLC, 2001.

Mackay D., Guardo A.D., Paterson S., Cowan C.E., Evaluating The Environmental Fate Of A Variety Of Types Of Chemicals Using The EQC Model, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1996, **15**(9), 1627-1637.

Mackay D., Joy M., Paterson S., A Quantitative Water, Air, Sediment Interaction (QWASI) Fugacity Model for Describing the Fate of Chemicals in Lakes, *Chemosphere*, 1983, **12**(7-8), 981-997.

Mackay D., Macleod M., Multimedia Environmental Models, *Practice Periodical of Hazardous Toxic and Radioactive Waste Management*, 2002, **6**(2), 63-69.

Mackay D., Paterson S., Fugacity revisited, *Environmental Science&Technology*, 1982, **16**(12), 654A-660A.

Mackay D., Shiu W. Y., Ma K. C., Lee S. C., *Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals*, 2nd ed., Taylor & Francis Group, LLC, 2006.

Macleod M., Fraser A. J., Mack D., Evaluating And Expressing The Propagation Of Uncertainty In Chemical Fate And Bioaccumulation Models, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2002, **21**(4), 700-709.

Morkoç E., Legoviç T., Okay O. S., Tüfekçi H., Tüfekçi V., Tolun L., Karakoç F., Changes of oceanographic characteristics and the state of pollution in the Izmit bay following the earthquake of 1999, *Environmental Geology*, 2007, **53**, 103-112.

Morkoç E., Okay O. S., Edinçliler A., Land-based sources of pollution along the Izmit Bay and their effect on the coastal waters, *Environmental Geology*, 2008, **56**, 131-138.

Morkoç E., Okay O.S., Tolun L., Tüfekçi V., Tüfekçi H., Legoviç T., Towards a Clean Izmit Bay, *Environment International*, 2001, **26**, 157-161.

MGM, Resmi İstatistikler: İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri, Ankara, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A>, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2019).

Odabaşı M., Çetin E., Sofuoğlu A., 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*, 2006, **40**, 6615-6625.

Oğuz T., Sur H.I., A numerical modelling study of circulation in the İzmit Bay, Proje no: 86/12, *TÜBİTAK-MAM*, Final Raporu, 1986.

Okay O.S., Legoviç T., Tüfekçi V., Egesel L., Morkoç E., Environmental Impact of Land-Based Pollutants on izmit Bay (Turkey): Short-Term Algal Bioassays and Simulation of Toxicity Distribution in the Marine Environment, *Archives Of Environmental Contamination and Toxicology*, 1996, **31**, 459-465.

Okay O. S., Tolun L., Telli- Karakoç F., Tüfekçi V., Tüfekçi H., Morkoç E., İzmit Bay (Turkey) Ecosystem after Marmara Earthquake and Subsequent Refinery Fire: the Long-term Data, *Marine Pollution Bulletin*, 2001, **45**(5), 361-369.

Okay O. S., Tolun L., Telli- Karakoç F., Tüfekçi V., Tüfekçi H., Olgun A., Morkoç E., The changes of T-PAH levels and health status of mussels in İzmit bay (Turkey) after Marmara earthquake and subsequent refinery fire, *Environment International*, 2003, **28**, 671-675.

Öztürk H., Koral H., Geist E.L., Intra-basinal water movements induced by faulting: the August 17, 1999, Gölcük (İzmit Bay) earthquake ($M_w=7.4$), *Marine Geology*, 2000, **170**, 263-270.

Pandit G.G., Sahu S.K., Puranik V.D., Raj V.V., Exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons across the air–water interface at the creek adjoining Mumbai harbour, India, *Environment International*, 2006, **33**(2), 259-264.

Paris A., Ledauphin J., Poinot P., Gaillard J.L., Polycyclic aromatic hydrocarbons in fruits and vegetables: Origin, analysis, and occurrence, *Environmental Pollution*, 2018, **234**, 96-106.

Pekey B., Karakaş D., Ayberk S., Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to İzmit Bay, Turkey, *Chemosphere*, 2007, **67**, 537-547.

Pekey H., Bakoğlu M., Pekey B., Sources of heavy metals in the Western Bay of İzmit surface sediments, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 2005, **85**(14), 1025-1036.

Petit P., Maitre A., Persoons R., Bicout D.J., Lung cancer risk assessment for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons in various industries, *Environment International*, 2019, **124**, 109-120.

Ravindra K., Sokhi R., Grieken R.V., Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factor and regulation, *Atmospheric Environment*, 2008, **42**, 2895-2921.

Sonne C., Gustavson K., Rigét F. F., Dietz R., Krüger T., Bonefeld- Jørgensen E. C., Physiologically based pharmacokinetic modeling of POPs in Greenlanders, *Environment International*, 2014, **64**, 91-97.

SPICOSA, An Integrated Project Under the EU's 6th Framework Programme for Research, *CoastLine*, 2008, **17**(2-3), 1-24.

Şahin O A., İzmit Körfezi Deniz Trafiğinin Iwrap Model Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.

Taghvaei S., Sowlat M.H., Hassanvand M.S., Yunesian M., Naddafi K., Sioutas C., Source-specific lung cancer risk assessment of ambient PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in central Tehran, *Environment International*, 2018, **120**, 321-332.

Telli-Karakoç F., Tolun L., Henkelmann B., Klimm C., Okay O., Schramm K. W., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara sea: Izmit Bay, *Environmental Pollution*, 2002, **119**, 383-397.

Telli-Karakoç F., Tolun L., Tüfekçi V., Karakaş D., Morkoç E., Tüfekçi H., Karakoç F., Okay O., Olgun A., Deprem Sonrası İzmit Körfezinde Kirlilik Boyutunun Tespiti, Proje no: 101Y083, *TÜBİTAK*, 2002.

Terzi M., İzmit Körfezi Biyota ve Sediment Örneklerinde PAH ve PCB Düzeylerinin Mevsimsel Değişimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011.

Tezyapar İ., Ergene Nehri İçin Hidrolik Model ve Kirlenici Taşıma Modeli Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.

Tolun G. L., Ergenekon S., Hocaoglu S. M., Donertas A. S., Cokacar T., Husrevoglu S., Beken C. P., Baban A., Socioeconomic Response to Water Quality: a First Experience in Science and Policy Integration for the Izmit Bay Coastal System, *Ecology and Society*, 2012, **17**(3), 40.

Tolun L., Martens D., Okay O. S., Schramm K. W., Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in coastal sediments of the Izmit Bay (Marmara Sea): Case studies before and after the Izmit Earthquake, *Environment International*, 2006, **32**, 758-765.

Tolun G. L., Okay O. S., Gaines, A. F., Tolay M., Tüfekçi H., Kıratlı N., The pollution status and the toxicity of surface sediments in Izmit Bay (Marmara Sea), Turkey, *Environment International*, 2001, **26**, 163-168.

Trapp S., Matthies M., *Chemodynamics and Environmental Modeling-An Introduction*, Springer, 1998.

Tuğrul S., Morkoç E., Transport and Water Quality Modelling in the Bay of Izmit, *TÜBİTAK MAM*, Final Raporu, 1990.

Türker Saçan M., Environmental Distribution of Polychlorinated Biphenyls by Topology Based Characteristic Root Index, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1990.

URL-1: <https://www.trthaber.com/haber/gundem/bakanliktan-izmit-korfezindeki-kirlilikle-ilgili-aciklama-294534.html>, (Ziyaret tarihi: 4 Kasım 2019).

URL-2: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/izmit-korfezinde-deniz-kirliligi-392733.html>, (Ziyaret tarihi: 4 Kasım 2019).

URL-3: <https://www.haberturk.com/kocaeli-haberleri/64800730-yuk-gemisi-iskeleye-carpti-korfeze-yakit-sizdi>, (Ziyaret tarihi: 4 Kasım 2019).

URL-4: <https://t24.com.tr/haber/tuzla-daki-yangindan-sonra-kocaeli-deki-sirketten-uyari-yagacak-yagmur-tehlikeli-olabilir-disari-cikmayin,840072>, (Ziyaret tarihi: 4 Kasım 2019).

URL-5: <https://www.epa.gov/tsca-screening-tools/epi-suitetm-estimation-program-interface>, (Ziyaret tarihi: 15 Kasım 2019).

URL-6: <https://www.oracle.com/tr/applications/crystalball/>, (Ziyaret tarihi: 18 Kasım 2019).

Uzun M., Analysis Of Geographical is Coastal Geomorphology Relationship Between Usage Of Coastal in Coasts Of The Gulf Of Izmit, *Journal of World of Turks*, 2015, **7**(2), 351-375.

Ünlü S., Alpar B., Hydrocarbon Balance of Surface Sediments in Izmit Bay (Marmara Sea), Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2004, **73**, 85-92.

Webster E.M., Qian H., Mackay D., Christensen R.D., Tietjen B., Zaleski R., Modeling Human Exposure to Indoor Contaminants: External Source to Body Tissues, *Environmental Science & Technology*, 2016, **50**(16), 8697-8704.

Whitman W.G., The Two-Film Theory of Gas Absorption, *Chemical and Metallurgical Engineering*, 1923, **29**(4), 146-148.

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., Multimedia fate modeling of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Lake Small Baiyangdian, Northern China, *Ecological Modelling*, 2016, **252**(0), 246-257.

Zhang X. Y., Lu X. H., Liu L., Chen D. M., Zhang X. M., Liu X. J., Zhang Y., Dry deposition of NO₂ over China inferred from OMI columnar NO₂ and atmospheric chemistry transport model, *Atmospheric Environment*, 2017, **169**, 238-249.



EKLER

Tablo A.1. İzmit Körfezi çevresel özellikleri – TÜBİTAK Projeleri referans listesi

Rapor Adı	Hazırlayanlar	Rapor Türü	Erişim durumu
İzmit Körfezi Kirlenmesinin Kontrolü Yönünde Ön Çalışma Projesi	Artüz ve Kor, 1970		Erişime açık
İzmit Körfezi Kirlenmesinin Kontrolü	Kor ve diğ., 1974		Erişime açık
Prevention and removal of water pollution in İzmit Bay: determination of technological aspects.	Timur ve diğ., 1982	Teknik rapor	
The prevention and removal of water pollution in İzmit Bay. Determination of technological aspects	Timur ve diğ., 1983	Sonuç raporu	
Determination of characteristics and self-purification capacity of İzmit Bay	Balkaş ve diğ., 1985	1. Teknik rapor	Erişime açık
Determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of İzmit Bay	Baştürk ve diğ., 1985	1. Yıllık rapor	Erişime açık
The İzmit Bay Case Study	Tuğrul ve diğ., 1986		
A numerical modelling study of circulation in the Bay of İzmit	Oğuz ve Sur, 1986	Sonuç raporu	Erişime açık
Pollution level of İzmit Bay	Tuğrul ve Morkoç, 1986	Teknik rapor	
The determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of İzmit Bay	Tuğrul ve diğ., 1989	Sonuç raporu	
Oceanographic characteristic of İzmit Bay	Tuğrul ve Morkoç, 1989	Teknik rapor	
Transport and water quality modeling in the Bay of İzmit	Tuğrul ve Morkoç, 1990	Teknik rapor	Final raporu erişime açık
Evaluation and remediation of the impacts caused by the east-channel in İzmit	Baban ve diğ., 1993		
The effects of industrial development on the coastal waters and semi-enclosed areas. The İzmit Bay case study	Morkoç ve diğ., 1995	Teknik rapor	
İzmit Körfezi Su Kalitesinin Özellikleri Teknik Raporu	Morkoç ve diğ., 1995		
Temiz bir İzmit Körfezine Doğru	Morkoç ve diğ., 1996	Sonuç raporu	
İzmit Körfezi İyileştirme Projesi	Morkoç ve diğ., 2000	Sonuç raporu	
Recovery of İzmit Bay	Morkoç ve diğ., 2001	Sonuç raporu	
Deprem Sonrası İzmit Körfezi'nde Kirlilik Boyutunun Tespiti (TÜBİTAK destekli proje)	Telli-Karakoç ve diğ., 2002		Erişime açık
Effect of natural events and land-based sources: İzmit Bay and Dil River	Tolun ve diğ., 2002		
Effects of natural phenomenon and land based pollutants to the coastal waters: İzmit Bay and Dil Deresi as a special area	Tolun ve diğ., 2002	Sonuç raporu	
İzmit Körfezi'ne Giren Kanserojenik Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH): Kaynak ve Seviye Tespiti (TÜBİTAK destekli proje)	Karakaş ve diğ., 2004		Erişime açık
Monitoring of water quality and land-based inputs in the İzmit Bay	Ediger ve diğ., 2009	Sonuç raporu	
İzmit Körfezi Sediment ve Biyota Örneklerinde Çevresel Kirlenmelerin Belirlenmesi, İzlenmesi ve Alıcı Ortam Kaynak Belirleme Modelinin Uygulanması (TÜBİTAK destekli proje)	Ergül ve diğ., 2011	Sonuç raporu	Erişime açık

Tablo A.2. İzmit Körfezi deniz suyunda askıda katı madde konsantrasyonları (mg/L) (Balkaş ve diğ., 1985)

Basen	İstasyon	Derinlik (m)	Mayıs 1984	Temmuz 1984	
Batı	R1	0,5	-	77,2	
		5	-	84	
		10	-	78,80	
		15	-	88,40	
		20	-	134,00	
		30	-	-	
	3	0,5	-	78,00	
		5	27,6	92,40	
		10	-	80,80	
		15	-	80,80	
		20	-	92,80	
Merkez	4A	5	209,2	94,4	
		20	70,4	884	
	4B	5	-	83,2	
		20	-	102,4	
	7	0,5	-	100,8	
		5	70,4	91,2	
		10	-	82,8	
		15	-	110	
		20	-	141,6	
	Doğu	10	5	-	99,6
			30	-	136,8
12		5	-	88	
		30	-	129,2	
13		5	-	91,6	
		15	-	102,4	
		20	-	115,6	
14		0,5	-	161	
		5	72	-	
		10	-	86,8	
		15	72	97,6	
	20	100	115,6		
15	5	-	94		
	15	-	102,4		

Tablo A.3. Z değerleri (mol/m³Pa)

Bileşik	Sediment ortamı (15 °C)			Hava ortamı (22,7 °C-Yaz)			Hava ortamı (7,2 °C-Kış)		
	Z _s	Z _{gsu}	Z _{t,s}	Z _h	Z _a	Z _{t,h}	Z _h	Z _a	Z _{t,h}
NaP	3,1E+03	5,1E-02	6,2E+02	4,1E-04			4,3E-04		
AcN	5,5E+04	2,1E-01	1,1E+04	4,1E-04	2,0E+03	4,1E-04	4,3E-04	7,5E+03	4,3E-04
AcNP	8,4E+04	3,0E-01	1,7E+04	4,1E-04	1,3E+03	4,1E-04	4,3E-04	4,7E+03	4,3E-04
Fl	1,6E+05	3,5E-01	3,1E+04	4,1E-04	5,1E+03	4,1E-04	4,3E-04	2,2E+04	4,3E-04
PhA	9,6E+05	9,3E-01	1,9E+05	4,1E-04	3,6E+04	4,1E-04	4,3E-04	1,9E+05	4,3E-04
AN	7,3E+05	7,7E-01	1,5E+05	4,1E-04	4,0E+04	4,1E-04	4,3E-04	2,1E+05	4,3E-04
FlA	1,7E+07	3,6E+00	3,5E+06	4,1E-04	5,5E+05	4,2E-04	4,3E-04		
BaA	1,7E+08	7,1E+00	3,3E+07	4,1E-04			4,3E-04	2,6E+03	4,3E-04
Chy	7,5E+08	6,4E+01	1,5E+08	4,1E-04	2,6E+07	9,3E-04	4,3E-04	2,7E+08	5,9E-03
Py	1,7E+07	3,8E+00	3,4E+06	4,1E-04			4,3E-04		
BaP	3,4E+09	1,0E+02	6,8E+08	4,1E-04	3,6E+08	7,6E-03	4,3E-04	3,7E+09	7,4E-02
BbFlA	1,2E+06	7,1E-01	2,5E+06	4,1E-04	2,1E+08	4,6E-03	4,3E-04	2,0E+09	4,1E-02
BkFlA	8,3E+09	3,0E+02	1,7E+09	4,1E-04	2,3E+08	4,9E-03	4,3E-04	2,2E+09	4,5E-02
dBahA	5,7E+12	3,7E+04	1,1E+12	4,1E-04	4,7E+09	9,4E-02	4,3E-04	6,0E+10	1,2E+00
BghiP				4,1E-04	4,4E+09	8,7E-02	4,3E-04	5,4E+10	1,1E+00
IP				4,1E-04	3,2E+09	6,4E-02	4,3E-04	3,9E+10	7,8E-01
Bileşik	Su ortamı (15 °C)			Su ortamı (22,7 °C-Yaz)			Su ortamı (7,2 °C-Kış)		
	Z _{su}	Z _{akm}	Z _{t,su}	Z _{su}	Z _{akm}	Z _{t,su}	Z _{su}	Z _{akm}	Z _{t,su}
NaP	5,1E-02	1,8E+04	1,4E-01	2,8E-02	8,4E+03	7,0E-02	9,8E-02	4,2E+04	3,1E-01
AcN	2,1E-02	3,2E+05	1,8E+00	1,0E-01	1,1E+05	6,7E-01	4,6E-01	9,9E+05	5,4E+00
AcNP	3,0E-01	4,9E+05	2,8E+00	1,5E-01	1,9E+05	1,1E+00	6,6E-01	1,4E+06	7,5E+00
Fl	3,5E-01	9,2E+05	4,9E+00	1,6E-01	3,2E+05	1,8E+00	8,2E-01	2,8E+06	1,5E+01
PhA	9,3E-01	5,7E+06	2,9E+01	4,0E-01	1,9E+06	1,0E+01	2,3E+00	1,8E+07	9,2E+01
AN	7,7E-01	4,3E+06	2,2E+01	3,2E-01	1,5E+06	7,7E+00	1,9E+00	1,4E+07	7,0E+01
FlA	3,6E+00	1,0E+08	5,1E+02	1,4E+00	3,0E+07	1,5E+02	9,9E+00	3,7E+08	1,9E+03
BaA	7,1E+00	9,9E+08	4,9E+03	2,4E+00	2,5E+08	1,3E+03	2,3E+01	4,2E+09	2,1E+04
Chy	6,4E+01	4,4E+09	2,2E+04	2,1E+01	1,1E+09	5,7E+03	2,1E+01	1,9E+10	9,4E+04
Py	3,8E+00	1,0E+08	5,0E+02	1,4E+00	2,9E+07	1,5E+02	1,1E+01	3,7E+08	1,9E+03
BaP	1,0E+02	2,0E+10	1,0E+05	3,1E+01	4,5E+09	2,3E+04	3,8E+02	9,8E+10	4,9E+05
BbFlA	7,1E-01	7,2E+09	3,6E+04	2,1E+01	1,8E+09	8,8E+03	2,5E+02	3,3E+10	1,7E+05
BkFlA	3,0E+02	4,9E+10	2,4E+05	8,9E+01	1,2E+10	5,8E+04	1,1E+03	2,2E+11	1,1E+06
dBahA	3,7E+04	3,3E+13	1,7E+08	8,8E+03	6,5E+12	3,2E+07	1,7E+05	1,9E+14	9,7E+08
BghiP									
IP									

Tablo A.4. D değerleri (mol/sa.Pa)

Bileşik	Islak çökeltme	Kuru çökeltme	Buharlaşma	Yaş çözünme	Absorpsiyon	Çökeltme	Resüspansiyon	Difüzyon	Gömülüm
NaP	6,97E+00	3,90E+00	1,93E+05	5,42E+02	1,93E+05	2,00E+05	1,36E+04	7,13E+01	1,25E+04
AcN	1,51E+02	8,48E+01	3,53E+05	1,91E+03	3,53E+05	2,50E+06	1,70E+05	2,52E+02	1,56E+05
AcNP	1,01E+02	5,65E+01	3,92E+05	2,74E+03	3,92E+05	4,30E+06	2,93E+05	3,60E+02	2,69E+05
Fl	3,91E+02	2,19E+02	4,00E+05	2,96E+03	4,00E+05	7,04E+06	4,79E+05	3,89E+02	4,39E+05
PhA	2,67E+03	1,50E+03	4,66E+05	7,19E+03	4,66E+05	4,20E+07	2,86E+06	9,46E+02	2,62E+06
AN	2,93E+03	1,64E+03	4,54E+05	5,88E+03	4,54E+05	3,21E+07	2,18E+06	7,74E+02	2,00E+06
FIA	3,88E+04	2,17E+04	5,07E+05	2,44E+04	5,07E+05	6,35E+08	4,32E+07	3,20E+03	3,96E+07
BaA	1,21E+06	6,80E+05	5,15E+05	4,01E+04	5,15E+05	5,12E+09	3,48E+08	5,28E+03	3,20E+08
Chy	1,77E+06	9,93E+05	5,25E+05	3,58E+05	5,25E+05	2,29E+10	1,56E+09	4,71E+04	1,43E+09
Py	5,43E+04	3,04E+04	5,08E+05	2,54E+04	5,08E+05	6,03E+08	4,10E+07	3,33E+03	3,76E+07
BaP	2,44E+07	1,37E+07	5,26E+05	5,01E+05	5,26E+05	8,64E+10	5,87E+09	6,60E+04	5,39E+09
BbFIA	1,41E+07	7,89E+06	3,62E+05	2,07E+03	3,62E+05	2,05E+08	1,39E+07	2,72E+02	1,28E+07
BkFIA	1,53E+07	8,59E+06	5,26E+05	1,42E+06	5,26E+05	2,23E+11	1,52E+10	1,87E+05	1,39E+10
dBahA	3,07E+08	1,72E+08	5,27E+05	1,36E+08	5,27E+05	1,20E+14	8,16E+12	1,79E+07	7,49E+12
BghiP	2,85E+08	1,60E+08							
IP	2,09E+08	1,17E+08							

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Hasanoğlu S., Göktaş R.K., İzmit Körfezi'nde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Kirliliğinin Tarihçesi ve Fugasite Bazlı İncelemesi, *Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi*, Aydın, Türkiye, 26-28 Ekim 2018.

Hasanoğlu S., Göktaş R.K., İzmit Körfezi'ne Ait Çevresel Ortamlarda Poliaromatik Hidrokarbon Kirliliğinin Fugasite Bazlı İncelemesi, *13. Ulusal 1. Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 10-12 Ekim 2019.



ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2017 yılında birincilikle mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nde başladığı çift ana dal programına ve 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2019 yılı Nisan ayından beri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

