T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HALİÇ SEDİMENTİNİN KİRLİLİĞİ VE AĞIR METAL İÇERİĞİNİN İNCELENMESİ

BERİVAN AKGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. GÜRDAL KANAT

İSTANBUL, 2015

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HALİÇ SEDİMENTİNİN KİRLİLİĞİ VE AĞIR METAL İÇERİĞİNİN İNCELENMESİ

Berivan AKGÜN tarafından hazırlanan tez çalışması 12.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Gürdal KANAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gürdal KANAT

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Neşe TÜFEKCİ

İstanbul Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Kentleşme sürecinde yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmeler, sanayileşme, nüfus artışı gibi faktörlerle birlikte soluduğumuz hava, içtiğimiz su, bastığımız toprak kirlenmekte ve insanlar sağlıklarının yanı sıra sosyolojik ve psikolojik olarak da olumsuz yönde etkilenmektedir. Canlıların sağlıklı bir çevrede yaşaması için toprak, su ve hava kalitesinin belirlenmesinde ağır metal seviyelerinin analiz edilmesi, kirliliğe sebebiyet veren kaynaklarının tespit edilmesi ve alınabilecek önlemlerin saptanması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında 2014 yılında, Haliç-Sütlüce bölgesinden alınan sediment örneklerinde ağır metal analizi yapılarak; Haliç'in mevcut kirlilik durumu, Haliç'e yapılan düzensiz deşarjların ve gemi trafiğinin Haliç'in mevcut metal kirliliğine olan katkılarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışma sürecinde yardımlarını ve desteklerini eksik etmeyen Doç. Dr. Gürdal KANAT'a ve her zaman yanımda olan, yaşamımın her anında beni yüreklendiren, canım annem Fidan AKGÜN, babam Süleyman AKGÜN ve kadim dostum Fatma KAZAK'a sonsuz güvenleri için teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım.

Kasım, 2015

Berivan AKGÜN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ vi

ŞEKİL LİSTESİ vii

ÇİZELGE LİSTESİ viii

ÖZET ix

ABSTRACT xi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

HALİÇ'İN KİRLİLİĞİ 3

2.1 Genel 3
2.2 Su Kirliliği 5
2.3 Sediment Kirliliği 7
2.4 Metal Kirliliği 11
2.4.1 Metallerin Toksik Etkileri 13
2.4.1.1 Çinko (Zn) 16
2.4.1.2 Krom (Cr) 18
2.4.1.3 Bakır (Cu) 19
2.4.1.4 Kurşun (Pb) 21
2.4.1.5 Kadmiyum (Cd) 23
2.4.1.6 Demir (Fe) 25
2.4.1.7 Nikel (Ni) 26
2.4.2 Suda Metal Kirliliği 28
2.4.3 Ağır Metal İçeren Suların Arıtım Yöntemleri 30
2.4.4 Sedimentte Metal Kirliliği 31
2.5 Çalışma Alanı Olan Haliç'in Özellikleri 32

2.6 Haliç'in Kirliliğinin Sebepleri 35
2.7 Haliç'te Alınan ve Alınması Gereken Önlemler 37

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT 42

3.1 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi 42
3.2 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi 44

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA 46

4.1 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi Sonuçları 46
4.2 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi Sonuçları 50
4.3 Sedimentte Bulunan Ağır Metal Konsantrasyon Değerlerinin Standartlarla ve Literatür ile Karşılaştırılması 52

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 58

KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 64

KISALTMA LİSTESİ

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
ERL	Düşük etki aralığı, kuru ağırlık
ERM	Orta etki aralığı, kuru ağırlık
HCl	Hidroklorik asit
HF	Hidroflorik asit
H_2O_2	Hidrojen peroksit
HNO_3	Nitrik asit
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
LEL	En düşük etki düzeyi, kuru ağırlık
MET	Minimal etki eşik düzeyi, kuru ağırlık
PEL	Olası etki düzeyi, kuru ağırlık
PEL-HA28	Hyalella Azteca için olası etki düzeyi, 28 gün testi, kuru ağırlık
SEL	Yüksek etki düzeyi, kuru ağırlık
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TEL	Eşik etki düzeyi, kuru ağırlık
TEL-HA28	Hyalella Azteca için eşik etki düzeyi, 28 gün testi, kuru ağırlık
TET	Toksik etki eşiği, kuru ağırlık

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Haliç'in İstanbul'da bulunduğu bölge [7] 5
Şekil 2. 2 Şematik olarak ağır metallerin doğaya yayılımları [19] 13
Şekil 2. 3 Ağır metallerin insan vücudundaki etki mekanizması [19] 15
Şekil 2. 4 Haliç coğrafi mekanının topoğrafik haritası [25] 33
Şekil 2. 5 Haliç'in uydu görüntüsü [27] 34
Şekil 4. 1 ICP-OES ile elde edilen ortalama Zn konsantrasyonları (mg/kg) 48
Şekil 4. 2 ICP-OES ile elde edilen ortalama Cr konsantrasyonları (mg/kg) 48
Şekil 4. 3 ICP-OES ile elde edilen ortalama Cu konsantrasyonları (mg/kg) 49
Şekil 4. 4 ICP-OES ile elde edilen ortalama Pb konsantrasyonları (mg/kg) 49
Şekil 4. 5 ICP-OES ile elde edilen ortalama Fe konsantrasyonları (mg/kg) 50
Şekil 4. 6 ICP-OES ile elde edilen ortalama Ni konsantrasyonları (mg/kg) 50
Şekil 4. 7 AAS ile elde edilen ortalama Zn, Cr, Cu, Pb, Cd ve Ni konsantrasyonları (mg/kg) 51

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Sediment analizlerinde incelenebilecek parametreler [2] 8
Çizelge 2. 2 Kanada ulusal geçici sediment kalite izleme değerlerini belirleme basamakları (CCME) [2] 10
Çizelge 2. 3 Temel endüstrilerden atılan metal türleri [19] 12
Çizelge 2. 4 Ağır metallerin zehirliliğini etkileyen faktörler [21] 14
Çizelge 2. 5 Tayini yapılan ağır metal iyonlarının insan sağlığına etkileri [23] 16
Çizelge 2. 6 Deniz suyunun genel kalite kriterleri [11] 29
Çizelge 3. 1 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile ağır metal analizi için yapılan parçalama ön işlem çalışması 44
Çizelge 3. 2 Atomik Absorbsiyon Spektrofometresi (AAS) ile ağır metal analizi için yapılan parçalama ön işlem çalışması 45
Çizelge 4. 1 Ön işlemde 8 ml HNO_3+4 ml HCl kullanılarak yapılan analizde elde edilen ağır metal konsantrasyonları (n=3*) 46
Çizelge 4. 2 Ön işlemde 8 ml HNO_3+4 ml H_2O_2 kullanılarak yapılan analizde elde edilen ağır metal konsantrasyonları (n=3*) 47
Çizelge 4. 3 Ön işlemde 7 ml HNO_3+2 ml HF kullanılarak yapılan analizde elde edilen ağır metal konsantrasyonları (n=3*) 47
Çizelge 4. 4 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile elde edilen ağır metal konsantrasyonları (mg/kg) (n=7*) 51
Çizelge 4. 5 Temiz su ekosistemindeki metaller için sediment kalitesini gösteren TEC değerleri (bu değerlerin altında zararlı etkiler gözlenmesi olası değildir) [33] 52
Çizelge 4. 6 Temiz su ekosistemindeki metaller için sediment kalitesini gösteren PEC değerleri (bu değerlerin üstünde zararlı etkiler gözlenmesi olasıdır) [33] 53
Çizelge 4. 7 Sediment kalite sınır değerleri [34] 54
Çizelge 4. 8 Sediment kalite sınır değerleri (devamı) 55
Çizelge 4. 9 Tez çalışması ile literatür verilerinin karşılaştırılması 56

ÖZET

HALİÇ SEDİMENTİNİN KİRLİLİĞİ VE AĞIR METAL İÇERİĞİNİN İNCELENMESİ

Berivan AKGÜN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gürdal KANAT

Haliç yüzyıllar boyunca, bölgede var olmuş bütün medeniyetlere tanıklık etmiş ve İstanbul'un en gözde yeri olma özelliğini korumuştur. Fakat endüstriyel gelişmeler, nüfusun hızla artışı, kontrolsüz yapılaşma ve deşarjlar, trafik kaynaklı atmosferik girdiler gibi nedenlerle, Haliç bölgesi ağır bir kirlilik yükü altında kalmıştır. Çevre ve halk sağlığı açısından alarm vermeye başlayan Haliç bölgesini iyileştirme çalışmaları yürütülmüş, Haliç sedimenti 4-5 m'ye kadar çekilerek ağır metal kirliliği büyük ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca bölgeye kanallar döşenerek Haliç'e gelen atık sular da büyük ölçüde engellenmiştir.

Canlıların sağlıklı bir çevrede yaşaması için toprak, su ve hava kalitesinin belirlenmesinde ağır metal seviyelerinin analiz edilmesi; kirliliğe sebebiyet veren kaynaklarının tespit edilmesi ve alınabilecek önlemlerin saptanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı İstanbul Haliç sedimentinden örnekler alınarak, sedimentte mevcut olan metal kirliliğinin belirlenmesidir. 2014 yılında Haliç sedimentinden alınan örnekler, farklı kimyasallar ile asitlendirilerek mikrodalga ile parçalama ön işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonrasında Çinko (Zn), Krom (Cr), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Demir (Fe) ve Nikel (Ni) konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ve Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile analiz edilmiştir.

ICP-OES ile yapılan ağır metal analizinde Bakır (Cu) konsantrasyonu TEC (Eşik Etki Seviyesi)'in üzerinde olmakla birlikte, ölçüm yapılan diğer tüm ağır metal konsantrasyonları TEC (Eşik Etki Seviyesi) ve PEC (Olası Etki Seviyesi)'in altındadır. Bu

sonuçlar Haliç'te yapılan çalışmalarla Haliç kirliliğinde iyileşmenin sağlandığı fakat sedimentte konsantre hale gelebilen kirleticilerin uzun yıllar sediment yapıda varlığını sürdürebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, Çevre, Haliç, Sediment

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SEDIMENT POLLUTION AND HEAVY METAL CONTENT IN THE GOLDEN HORN ESTUARY

Berivan AKGÜN

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Gürdal KANAT

During the centuries, Golden Horn has witnessed the whole civilization existed in the region and being most popular place in Istanbul. But for reasons as industrial development, increase rapidly population, uncontrolled construction and discharges, traffic-induced atmospheric inputs, Golden Horn region has been under a heavy pollution load. Golden Horn is alarming in terms of public health and environment carried out improvement works, heavy metal pollution is greatly reduced pulling up to 4-5 meters Golden Horn sediment. In addition, laying of channels to wastewater coming to Golden Horn estuary is greatly reduced.

To live in a healthy environment of living creatures, analysis and determination of heavy metal levels in land, water and air quality has a great importance for determining the source of pollution and determining the measures that can be taken. The purpose of this study, samples from the Golden Horn estuary's sediment in Istanbul, which is the determination of metal pollution in the sediment. In 2014, samples taken from the Golden Horn estuary's surface sediment were acidified for pretreatment with various chemicals and analyzed. Later, Zinc (Zn), Chromium (Cr), Copper (Cu), Lead (Pb), Cadmium (Cd), Iron (Fe) and Nickel (Ni) concentrations was analyzed Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) and Atomic Absorption Spectrometry (AAS).

The heavy metal analysis with by ICP-OES showed that only Copper (Cu) concentration is above the TEC (Threshold Effect Concentrations) level. The other heavy metal concentration to be analyzed is below the TEC (Threshold Effect Concentrations) and PEC (Probable Effect Concentrations) levels. Studies in Golden Horn estuary showed, significant improvement for pollution but contaminants can become concentrated in sediments may persist for many years in the structure of sediment.

Keywords: Heavy Metal, Environment, Golden Horn, Sediment

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Sedimentler birçok canlının yaşam alanının bir parçasını oluşturmaktadır. Bu durum ise sedimentte bulunan kirletici ve metallerin besin zinciri yoluyla bir üst canlı tarafından alınmasına neden olmaktadır. Sedimentler yapısı gereği diğer çevre alanlarına göre incelenmesi en zor alanlardan biridir. Birçok sentetik organik maddeler ve metaller partiküllere bağlanıp dip birikiminde yolculuklarına son verirler. Kirlenmiş sedimentlerde depolanan ağır metaller sadece bentik canlılar için değil, üzerinde yer alan su kolonundaki canlı ortam için de toksik etki oluşturmaktadır [1, 2]. 1957'den sonraki şehircilik çalışmaları, Haliç kıyılarını orta ve ağır sanayi kuruluşlarına açmıştır. Bu durum Haliç'in çeşitli sanayi kuruluşlarının atıklarıyla kirlenmesine neden olmuştur. Haliç için uzun bir süre rehabilitasyon çalışması yapılmamış ve kirlilik, çevre ve insan sağlığını tehdit eder durumda kalmıştır [3]. 1988 yılında kaldırılmaya başlanan endüstri kuruluşlarının atıkları, Haliç'in temel kirlilik nedenlerinden biridir. Evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular, katı atıklar, çöpler, Alibeyköy ve Kağıthane derelerinden ve yamaçlardan gelen süprüntü malzemeleri, Haliç Havzası'ndan yağışlarla kirletici taşınımı, erozyon, gemilerden dökülen sintine ve balast suları ve Haliç taban çamuru da diğer kirletici kaynaklarını oluşturmaktadır. Ayrıca taşıt yollarından kaynaklanan emisyonlarda kirletici konsantrasyonun artmasına neden olmaktadır [1, 4, 5]. Sedimantasyonun yaklaşık 3,5 cm/yıl olduğu Haliç'te; inorganik maddeler, besi maddeleri, ağır metaller ve hidrokarbonlar süreç içerisinde 10 cm'lik bentik yapıda birikim yapmıştır [6]. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'nin yürüttüğü çevre projeleri sayesinde Haliç büyük ölçüde temizlenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi

(İBB)'nin 1997 yılında uygulamaya koyduğu rehabilitasyon çalışması neticesinde yaklaşık 4,5 milyon m^3 çamur terk edilmiş maden ocaklarına nakledilmiştir. Böylece, Haliç'in su derinliği yaklaşık 4-5 m artmış ve sedimentteki metal kirliliğinin önemli ölçüde azalması sağlanmıştır [1, 7, 8]. Endüstriyel tesislerin taşınması ve rehabilitasyon çalışmaları neticesinde Haliç'in su kalitesinde iyileşme meydana gelmiştir [9].

1.2 Tezin Amacı

Sediment yapısı kirleticilerin son durak yeri olmakla birlikte, analiz edilmesi ve kirletici takibinin yapılabileceği en zor yapılardan biridir. Yapılan çalışma kapsamında alınan sediment örneklerinde ağır metal düzeyleri tespit edilerek; Haliç'in mevcut kirlilik durumu, Haliç'e yapılan düzensiz deşarjların ve gemi trafiğinin Haliç'in mevcut metal kirliliğine olan katkılarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda; insan kaynaklı kirleticilerden olan Çinko (Zn), Krom (Cr), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Demir (Fe) ve Nikel (Ni) konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ve Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile analiz edilecektir.

1.3 Hipotez

Canlıların sağlıklı bir çevrede yaşamaları için mevcut olan kirlilik durumunun tespit edilmesi, kirletici kaynaklarının belirlenmesi ve alınabilecek önlemlerin tayin edilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında Çinko (Zn), Krom (Cr), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Demir (Fe) ve Nikel (Ni) metallerinin konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ve Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile tayin edilecektir.

Haliç sedimenti uzun yıllar endüstriyel, antropojenik vb. kirleticiler ile kirlendiğinden metal değerlerinin yüksek çıkma ihtimali olmakla birlikte ıslah çalışmaları çerçevesinde çamur taramaları gerçekleştirildiğinden mevcut olan kirleticilerin büyük oranda ortamdan uzaklaştırılması ve de deşarjlar önlendiğinden metal konsantrasyonlarının düşük çıkma ihtimali de söz konusudur. Tez çalışması kapsamında ağır metal analizleri yapılarak sediment yapıdaki konsantrasyonları araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

HALİÇ'İN KİRLİLİĞİ

2.1 Genel

Sanayi devriminden sonra insan hayatını kolaylaştıran birçok yenilik meydana gelmiştir. Bilimsel gelişmeler ve endüstrileşme ile insan hayatının kolaylaşmasının yanı sıra doğa tahribatı ve çevre kirliliği artmıştır. Doğa, hızla artan nüfusa ve tüketime bağlı olarak kapasitesinin üzerinde olduğu için kirleticileri özümseyemeyecek duruma gelmiştir. İnsanların tüketiminden ve endüstrileşmeden kaynaklanan atıklar, alıcı ortam olan hava, su ve toprağı olumsuz yönde etkilemekte, gerekli tedbirler alınmadığı takdirde ise bu atıklar hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadırlar. İnsan vücudunun % 70'inin ve dünya yüz ölçümünün % 75'inin sudan oluştuğunu düşündüğümüzde, suyun canlı yaşamı için vazgeçilmez bir unsur olduğu görülmektedir. Denizler, haliçler, nehirler ve akarsular; evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerle ortaya çıkan atıkları deşarj etmek için kullanılan alıcı ortamlar olmakta ve bütün bu faktörler alıcı ortamın fiziko-kimyasal ve biyolojik niteliğini etkilemekte ve su kirliliğine neden olmaktadırlar. Özelikle endüstriyel faaliyetlerde metal ve ağır metal kullanımının artması, endüstriyel ve evsel atıkların gerekli arıtımı yapılmadan su ortamına deşarj edilmesi, taşımacılık, deniz kazaları, karalardan aşınma yoluyla metallerin nehir ve denizlere ulaşması, günlük yaşamda da insanların metal ve ağır metal içeren malzemeleri kullanması, metal ve ağır metallerin insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini arttırmıştır.

Tatlı su, haliç ve denizler; halkın balık tuttuğu, su sporları gibi rekreasyonel amaçlarla kullanılmasının yanı sıra su ortamındaki canlıların barınabildiği ve çoğalabildiği önemli su alanlarıdır. Bu nedenle su kalitesinin iyi bir şekilde tespitinin sağlanarak, su

ortamının korunması gerekmektedir. Aksi halde su ortamında, standartlarda belirlenen konsantrasyonların üzerinde kirlilik ve ağır metal düzeyleri mevcutsa, bu gerek halk sağlığı gerekse de canlı hayatını olumsuz yönde etkileyecektir [1, 2].

İstanbul'un Avrupa yakasında bulunan Haliç (Şekil 2.1), İstanbul için geçmişten bugüne ve hatta gelecekte de değerini kaybetmeyecek bir bölgedir. Bir bölgeyi incelerken o bölgeyi geçmişten geleceğe bir süreklilik içinde değerlendirmek gerekir. Haliç, İstanbul'un tarihinde önemli yeri olan bir kent parçası olmakla birlikte, İstanbul kentinin fiziksel yapısının önemli bir öğesidir. Haliç bölgesinin jeolojik ve topografik durumu, iklim koşulları, su öğesi ve bitki örtüsü doğal çevre unsurlarını oluşturmaktadır. Bölgenin sahip olduğu doğal çevre unsurlarının iyi analiz edilmesi, doğal çevrenin korunması ve iyileştirilmesi çevre sağlığının yanı sıra kentsel imajı da güçlendiren faktörlerdir. 1957'den sonraki şehircilik çalışmaları, Haliç kıyılarını orta ve ağır sanayi kuruluşlarına açmıştır. Bu durum Haliç'in çeşitli sanayi kuruluşlarının atıklarıyla kirlenmesine neden olmuştur. Bölgenin en önemli sorunları sanayileşme, gecekondulaşma, kentleşme ve kirliliktir. Haliç için uzun bir süre rehabilitasyon çalışması yapılmamış ve kirlilik, çevre ve insan sağlığını tehdit eder durumda kalmıştır [3]. 1988 yılında kaldırılmaya başlanan endüstri kuruluşlarının atıkları, Haliç'in temel kirlilik nedenlerinden biridir. Evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular, katı atıklar, çöpler, Alibeyköy ve Kağıthane derelerinden ve yamaçlardan gelen süprüntü malzemeleri, Haliç Havzası'ndan yağışlarla kirletici taşınımı, erozyon, gemilerden dökülen sintine ve balast suları ve Haliç taban çamuru da diğer kirletici kaynaklarını oluşturmaktadır. Ayrıca taşıt yollarından kaynaklanan emisyonlarda kirletici konsantrasyonun artmasına neden olmaktadır [1, 4].

Drenaj alanı 380 km^2 olan Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin havzalarından Haliç'e yaklaşık olarak $50x10^3$ m^3 su ve $59x10^3$ m^3 sediment maddesi gelmektedir [5]. Sedimantasyonun yaklaşık 3,5 cm/yıl olduğu Haliç'te; inorganik maddeler, besi maddeleri, ağır metaller ve hidrokarbonlar süreç içerisinde 10 cm'lik bentik yapıda birikim yapmıştır [6].

Türkiye'de Haliç uzun yıllar çevrecilik ve çevre kirlenmesinin sembolü haline gelmiş ve bu bölgede çok sayıda araştırma yapılmıştır. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'nin yürüttüğü çevre projeleri sayesinde Haliç büyük ölçüde temizlenmiştir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)'nin 1997 yılında uygulamaya koyduğu rehabilitasyon çalışması neticesinde Haliç'in su derinliği yaklaşık 4-5 m artmış ve sedimentteki metal kirliliğinin önemli ölçüde azalması sağlanmıştır [1, 7, 8]. Haliç'te bulunan 5 milyon m^3 çamur Alibeyköy'de yer alan bir taşocağına çamur tarama gemisi ile taranarak Haliç-Alibeyköy arasına döşenen boru hattı ile taşınmıştır. Taşocağında dibe çöken çamurun suyu tekrar Haliç'e alınmıştır [9]. Endüstriyel tesislerin taşınması ve rehabilitasyon çalışmaları neticesinde Haliç'in su kalitesinde iyileşme meydana gelmiştir [10].



Şekil 2. 1 Haliç'in İstanbul'da bulunduğu bölge [7]

2.2 Su Kirliliği

Su, insan yaşamı ve ekolojik dengeler için vazgeçilmez bir unsurdur. Son yüzyılda teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte, çevresel etkilerinden dolayı su kirliliği, insanlığı ve doğayı tehdit eder hale gelmiştir.

Su kirliliği, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (S.K.K.Y.)'nde: "Su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılması" şeklinde tanımlanmıştır [11]. Kontrolsüz ve hızlı bir şekilde büyüyen nüfus, gelişen endüstri, atıkların yönetmeliklerde belirtilen şekilde gerekli arıtımlarının yapılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmesi gibi nedenler su kirliliğini arttıran faktörler olmaktadır.

Atık su ise, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (S.K.K.Y.)'nde: "Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda gelen suları" ifade etmektedir [11]. Özetle endüstride ve şehirlerde kullanıldıktan sonra atılan suya atık su denilmektedir. Sular, kirletici türlerine göre fiziksek, kimyasal veya biyolojik kirlilik gösterebilmektedirler. Renk, koku, tat, saflık gibi suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi suda fiziksel kirlenmeye, metaller ve inorganik atıklar ise suda kimyasal kirlenmeye sebebiyet verirler [1].

Deniz ortamına gelen kirleticileri su ortamındaki davranışlarına göre dayanıklı, dayanıksız ve devamlı kirleticiler olarak gruplandırmak mümkündür.

1) Dayanıklı Kirleticiler (Bozulmadan Kalanlar): İnorganik ve organik bazı maddelerden oluşmaktadır. Canlılarda birikerek türden türe aktarılan vu bu nedenle bazı canlıların çoğalmasını durdurabilen ya da bir su kütlesindeki canlı çoğalma yolunu köklü olarak etkileyen bu tür kirleticiler, canlıların olumsuz etkilenmesinin yanı sıra, estetik sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadırlar. Sodyum klorür gibi inorganik iyonlarda zamanla parçalanma görülmez. Derişimleri alıcı suda zamanla artarken yağmur suyu ile azalır.
2) Dayanıksız Kirleticiler (Değişebilenler)**:** Biyolojik olarak parçalanabilen organik kirleticilerdir. Mikroorganizmalar tarafından parçalanarak inorganik kararlı maddelere dönüşürler. Dengesiz oldukları için zamanla daha basit, dengeli ve

inorganik ürünlere dönüşürler. Bu işlemde yer alan bakteriler aerobik ya da anaerobik olabilir. Oksijenin bakteriler tarafından kullanılması, diğer canlı türleri için gerekli oksijenin tüketilmesi anlamına gelmektedir. Bu grupta petrol ve yağlar, bazı endüstriyel atıklar ve toksik maddeler sayılabilir.

3) Devamlı Kirleticiler (Kalıcılar)**:** Dayanıklı kirleticilere çok benzerler. Zamanla biyolojik birikime yol açan ve türden türe artan oranlarda iletilebilen civa, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, bakır gibi metaller, tarım ilaçları gibi organik maddeler ve uzun yarı ömürlü radyoaktif maddelerdir [1, 12].

Kirlenmemiş bir su yatağının; dinlenme ve eğlenme için doğal bir ortam, su canlıları için yaşama alanı, kontrol edilmesi gereken bir güç kaynağı, atıkların doğal tasfiyesini temin eden bir alıcı ortam ve insanlar için besin kaynağı olduğu unutulmamalıdır [13]. Bu faktörler göz önüne alındığında su kirliliği kontrolünün sağlanmasının gerekliliği açıktır. Su kirliliği kontrolünde, noktasal kaynaklar için genellikle arıtma, yaygın yapılı kaynaklar içinse planlama, yönlendirme ve yasaklama gibi önlemler alınmalıdır [12].

2.3 Sediment Kirliliği

Sediment, sucul ortamın önemli bir bileşeni olup kimyasal ve fiziksel işlemler ile taşların ve/veya organik materyallerin küçük parçalara ayrılması sonucu oluşmakta ve daha sonra suyun hareketi ile dibe çökerek birikme özelliği göstermektedir. Ayrıca denizde yaşayan canlıların ölüleri, atıkları ve dışkıları yer çekimi etkisiyle dibe çökmektedir ve sedimentin organik kısmının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Kirlenmiş sediment yapısı, çevre ve insan sağlığına yüksek derecede etkisi olabilen, zehirli veya tehlikeli materyalleri içeren ve suyun dibinde biriken toprak, kum, organik madde ve diğer minerallerdir. Kirlenmiş alanlar, ekotoksikolojik etkileri olabilen önemli kirlilik kaynaklarıdır. Ayrıca sedimentler deniz canlıları için besleyici ve toksik maddeleri toplayan alanlar olmakta ve birçok kirletici türü besin zinciri yoluyla da insana kadar ulaşabilmektedir. Sedimentler, bölge havzasındaki kaya formlarının kimyasal bileşimini yansıtan, özellikle nehir malzemelerinden oluşmaktadır ve biyojenik, diyajenik ve antropojenik bileşenlerle deniz ortamına katkıda bulunmaktadır. Bazı kirleticiler hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilmektedir. Ağır metaller, sedimentlerde sürekli olarak sabit olmamakla birlikte sedimentten su kolonuna fiziksel ve biyolojik

proseslerle geri dönebilmektedir. Sedimentlerde kirleticilerin birikim yapması, çevresindeki doğal yaşamı ve canlıları olumsuz etkilemekte ve çevresel sorunlara neden olmaktadır. Toksik maddelerin dağılımı ve transferindeki durumun genel olarak anlaşılmasında sediment analizi oldukça önemlidir. Sediment analizinde izlenebilecek çeşitli parametreler ve testler bulunmaktadır (Çizelge 2.1) [14, 15, 16].

Çizelge 2. 1 Sediment analizlerinde incelenebilecek parametreler [2]

Grup	**Parametre/Test**
Arazi parametreleri	Sediment yapısı, Redoks potansiyeli, pH
Ana ve yapısal parametreler	Partikül büyüklüğü (2000>…20<µm), Fe, Mn, Al, Ca, Mg, S, su içeriği, organik madde, Toplam Organik Karbon (TOC)
Boşluk suyu parametreleri	İletkenlik, NH_4, NO_3, O-PO_4, Çözünmüş Organik Karbon (DOC), UV_{254}, B
Ağır metaller (fraksiyon <20 µm) *Metaller I* *Metaller II*	 Hg, Cd, Ni, Cr, Sn, As Pb, Cu, Zn
Organik kirleticiler (fraksiyon <200 µm) *Organikler I* *Organikler II*	 DDT (DDD, DDE), HCH (α-, γ-), Chlorobenzenes (Tetra-, Penta-, Hexa) PCDD/F, n-butyltin bileşikler AOX, Mineral yağlar, 16 PAHs, (EPA 610) 7 PCBs (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)
Ekotoksikolojik testler *Boşluk suyu testleri* *Tüm sediment testleri*	 Dalphnia magna akut testi, Scenedesmus chlorophy II fluorescence testi, Photobacterium phosphoreumluminescent bakteri testi 10 s Chironomus riparius testi, Caenorhabditis elegans ile 72 s yaşam testi (Nematoda)

Sedimentler birçok canlının yaşam alanının bir parçasını oluşturmaktadır. Bu durum ise sedimentte bulunan kirletici ve metallerin besin zinciri yoluyla bir üst canlı tarafından alınmasına neden olmaktadır.

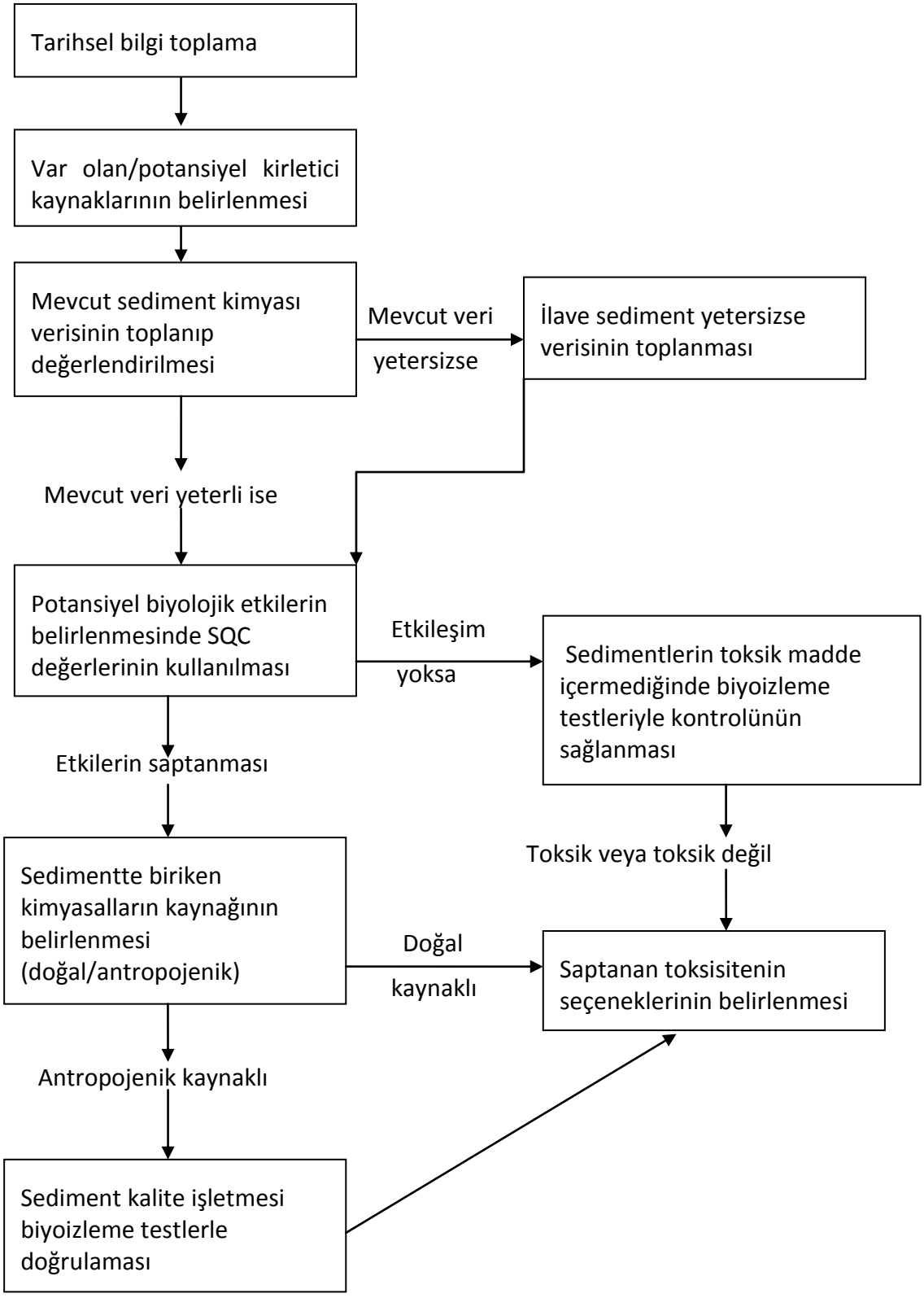
Sedimentler yapısı gereği diğer çevre alanlarına göre incelenmesi en zor alanlardan biridir. Birçok sentetik organik maddeler ve metaller partiküllere bağlanıp dip birikiminde yolculuklarına son verirler. Böylece sediment yapıda biriken bu kirletici maddeler artık üst ekosistemde değillerdir. Böylece daha yüksek veya daha alçak formlara geçiş yapabilir, sedimentten bentik organizmalara göç edebilir veya sedimentte belirli bir doygunluk seviyesine eriştikten sonra suya geri dönebilirler. Bu kirleticilerin ölçülmesi ve belirlenmesi daha karışık olmaktadır [2].

Dip çamuru oluşumu, su ortamının tabanında gelişen (bentik) canlıların yaşamını engeller [12]. Su yatağının tabanına çöken maddeler ile örtülmesi, balık yumurtalarının ve diğer organizma larvalarının gelişmesini önler ve gıdalarını bu ortamdan temin eden organizmaların beslenmesini güçleştirir. Tabanda biriken maddelerin organik yapıda olmaları halinde, bunların zamanla organik olarak parçalanması, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltır ve su çevresi için arzu edilmeyen organizmaların büyük ölçüde çoğalmasına neden olur. Bu ayrışma ve çürüme neticesinde taban oksijensiz bir ortam haline gelebilir ve arzu edilmeyen H_2S (hidrojen sülfür), CO_2 (karbondioksit) ve CH_4 (metan) gazları ortaya çıkabilir [13]. Ayrıca Marmara denizi halici ve körfezlerinde iki tabakalı sistem olması ve her iki tabaka arasında düşey karışımın ve yatay sirkülasyonun sınırlı olması nedeniyle alt tabakada anoksik şartların oluşması muhtemel olmaktadır. Oluşan anoksik şartlar biyolojik ortamı negatif yönde etkilemektedir. Tazeleneme süresinin uzamasıyla da zaman zaman iç bölgelerde ötrofikasyonun sebep olduğu H_2S oluşumu gözlenmiştir [17].

Sediment analizlerinde, yüzey veya kolon örnekleyici cihazlar ile alınan sediment örnekleri santrifüjlenerek su kısmı ayrılmakta ve sediment boşluk suyu olarak adlandırılan bu sıvıda; pH, iletkenlik, nütrient analizi ve çeşitli toksisite testleri yapılabilmektedir. Sediment örnekleri, öncelikli olarak yaş ve kuru analizler için ayrılıp, yaş sediment örneklerinde % su miktarı, % organik madde, % porozite, pH, mekaniksel ve mineralojik testler; kurutulmuş sediment örneklerinde ise ekstrakte işleminden

sonra pestisit, PCB (Polikarbonlu Bifenil), ağır metal, azot ve fosfor gibi çeşitli kimyasal analizler de yapılabilmektedir [2].

Çizelge 2. 2 Kanada ulusal geçici sediment kalite izleme değerlerini belirleme basamakları (CCME) [2]



Sediment kalite kriter çalışmaları kapsamında Amerika'da EPA (Environmental Protection Agency), Kanada'da CCME (Canadian Council of Minister of the Environment), Almanya'da Sediman Kalite Kriterleri-SQC (Sediment Qality Criteria) gibi geliştirme çalışmaları yapılmaktadır (Çizelge 2.2) [2].

2.4 Metal Kirliliği

Endüstrileşme ve nüfusun hızla artması neticesinde oluşan atıkların deniz, nehir, haliç gibi sucul alıcı ortamlara verilmesi ve bu kirliliğin sucul ortamın özümseme kapasitesinin üzerinde olması, su kirliliğine neden olmaktadır. Sucul ekosistemlerde özellikle metallerin standartlarda belirlenen sınır değerlerin üzerinde olması canlı sağlığı açısından tehlike oluşturmaktadır.

Metal, elektron vererek artı (+) değerlikli iyon haline geçebilen, asitlerde yer alan hidrojen $[H]^-$ ile yer değiştirebilen, kendi aralarında bileşik oluşturmayan fakat ametallerle bileşik yapabilen, oksitleri bazik olan, normal şartlar altında Civa (Hg) hariç katı olup ısı ve elektriği iyi ileten, metalik bir renk parlaklığına sahip elementlerdir. Bu fiziksel ve kimyasal özellikleri taşıyan ve yoğunlukları 5,0 gr/cm^3'ten fazla olan metallere "ağır metal" adı verilir [18]. Bu grupta kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere atmıştan fazla metal yer almaktadır. Bu elementler yapıları gereği yer yüzünde genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içerisinde bulunurlar. Ağır metaller su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve yapısındaki ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin sucul sisteme ulaşmasıyla geçmektedirler. Sucul sisteme geçen ağır metaller seyrelmekte ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik yapmakta, tabana çökmekte ve tabanda zenginleşmektedir [19].

Metaller ve ağır metaller değişik yollarla alıcı ortama dahil olmaktadır. Bunlar; madencilik, eritme ve yakma sistemleri, kömür kullanımı, maden cevherlerinin erozyonu, endüstriyel atıklar, denizaltı hidrotermal ve volkanik aktiviteler, diyajenez gibi doğal ve jeokimyasal prosesler, atmosferik taşınım, kayalıklardan rüzgarlarla taşınan volkanik faaliyetler ve yer kabuğundan gelen maddeler, yağışlar, orman yangınları, tarımsal faaliyetler, pestisit üretimi, insan aktiviteleri, kentsel ve endüstriyel bölgelerden gelen deşarjlar, nehirlerden gelen yüksek konsantrasyondaki çözünmüş

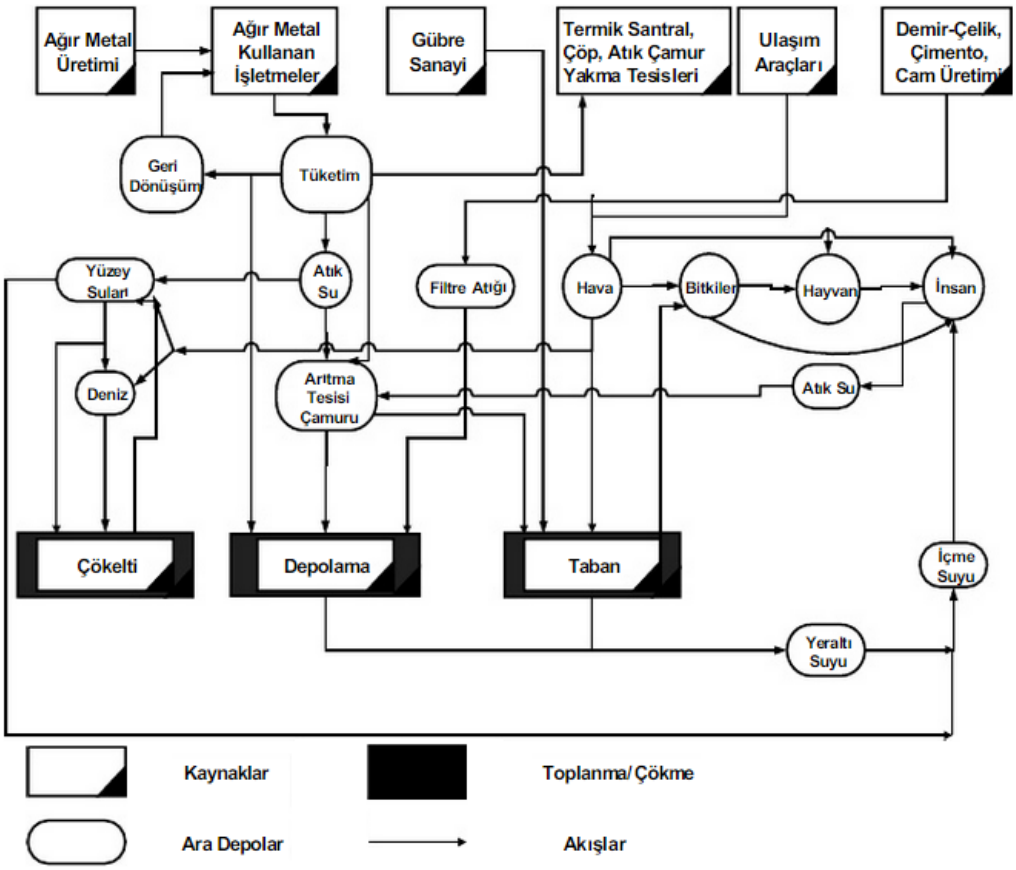
metaller gibi pek çok kaynağı mevcuttur. Temel olarak metallerin sucul ekosistemlere atmosferden, fabrika atıklarından, tarımsal alanlardan, kentsel atıkların ve lağım atıklarının sucul sisteme boşaltılması ile geçtiği bilinmektedir. Metaller Haliç'lerde sediment partiküllerine adsorbe olarak dibe çökmektedirler. Metaller fiziksel olarak; canlı organizmaların bünyesinde, kolloid parçacıklar olarak, kolloid parçacıklarının üzerine adsorbe olarak ve çözünmüş formda bulunabilirler [1, 20].

Ağır metallerin çevreye yayılımında en önemli faktörlerden biri endüstriyel faaliyetlerden olan çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Farklı endüstri kollarından atılan metal türleri de çeşitlilik göstermektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2. 3 Temel endüstrilerden atılan metal türleri [19]

Endüstri	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Pb**	**Ni**	**Zn**
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	-
Petrokimya	+	+	-	+	-	+
Klor - Alkali Üretimi	+	+	-	+	-	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+
Demir - Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+

Havaya salınan ağır metaller karaya ulaşmakta, buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşmaktadır. Ayrıca insanlar ve hayvanlar tarafından bu ağır metaller aeresol ve toz olarak da solunmaktadır. Ağır metal içeren endüstriyel atık suların, içme sularına karışması veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da canlılar üzerinde etkili olabilmektedir. Çeşitli sektörlerden çevreye ağır metal yayılımı kara, hava ve su yoluyla olabilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Şematik olarak ağır metallerin doğaya yayılımları [19]

Metaller denizel ortamlarda farklı yapılar arasında da geçiş yapabilmektedirler. Metaller; karbonatlar üzerine adsorbe olabilmekte, sedimentten suya geçebilmekte, Fe/Mn oksitleri ile birlikte çökebilmekte, denizde yaşayan planktonik organizmaların bünyelerine alınabilmekte, çözünmüş organik maddeler özellikle humik maddeler ile birleşerek sedimentte birikmekte, pH'ın yükselmesi ile kompleks oluşumu artmakta, killi mineraller üzerine sorpsiyon olabilmekte, geniş yüzey alanına ve katyon değişim yeteneğine sahip olan materyaller ağır metal iyonlarını adsorbe edebilmekte, sülfatın sülfite indirgenmiş olması ise metal sülfit komplekslerinin oluşumuna ve çökelmesine neden olabilmektedir [1].

2.4.1 Metallerin Toksik Etkileri

Birçok metal türü canlılar için gerekli olmakla birlikte, yaşam süreci boyunca yapılarında birikerek konsantrasyonunu giderek arttırmakta, canlı bünyesine fazla

alındığı takdirde ise toksik etki gösterebilmektedir. Ağır metallerin zehirliliğini birçok faktör etkileyebilmektedir (Çizelge 2.4).

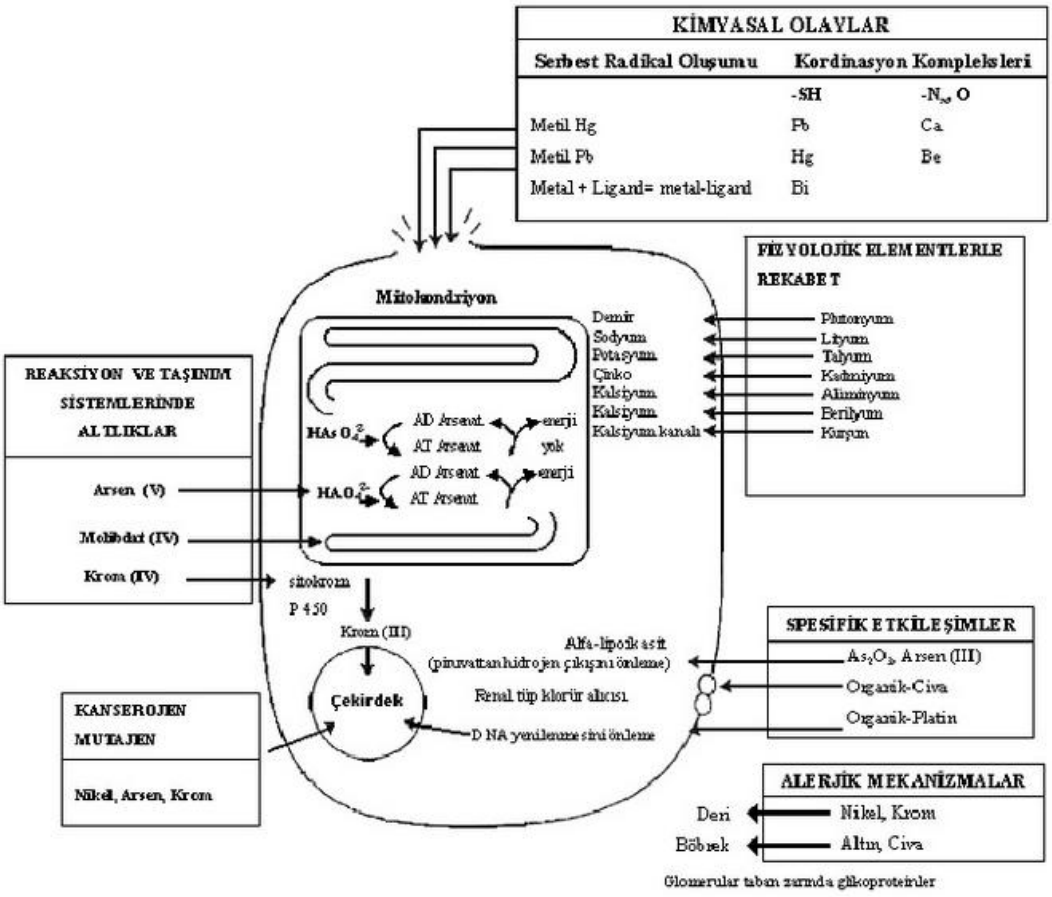
Çizelge 2. 4 Ağır metallerin zehirliliğini etkileyen faktörler [21]

Faktörler	**Çözünürlük**	**İyon (Kompleks, Şelat, Molekül)**
Metallerin Sudaki Durumu	İnorganik, Partikül, Organik	Kolloidal
		Çökelti
		Adsorbe Edilmiş
Zehirlerin veya Diğer Metallerin Bulunuşu	Birlikte Hareket	Biri Diğerinin Etkisini Artırır
	İletişimsizlik	Birbirlerine Etkide Bulunmazlar
	Terslik	Birbirlerinin Etkilerini Azaltırlar
Organizmanın Fizyolojisini Etkileyecek Faktörler ve Sudaki Formları	Sıcaklık	
	Işık	
	Tuzluluk	
	pH	
	Oksijen	
Organizmanın Yapısı	Yaşam Evresi	
	Yaşam Döngüsündeki Değişim	
	Üreme	
	Yaş, Boy	
	Cinsiyet	
	Aktivite	
	Kabuğunun Kalınlaşması	
	Metallere Uyum	

Metal konsantrasyonlarının sudaki ve sedimentteki değerlerinin artması, besin zinciri yoluyla metallerin insan bünyesine daha rahat bir şekilde taşınabileceğini göstermektedir. Ağır metaller, organik maddeler gibi kimyasal ya da biyolojik yollar vasıtasıyla parçalanamamaktadır. Metal iyonu yok olmaksızın, bir metal bileşiği bir başka bileşiğine dönüşebilmektedir. Bu dönüşümler sonunda, bazen bir metalin çok toksik ve suda çözünen bileşiği meydana gelebilmektedir. Sulardaki çoğu ağır metal; HCO_3^-, CO_3^{2}, SO_4^{2-}, Cl^-, F^- ve NO_3^- gibi inorganik iyonlarla birleşerek kompleks iyonlar oluşturmaya eğilimlidir. Bu metaller ise su tabanına çökerek, tabanda yoğunlaşmaktadır. Sediment tabakasının adsorbsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı da suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselmektedir [22]. Besin

zincirine ulaşan ağır metaller, kimyasal ve biyolojik olarak bünyeden atılmayıp birikmesine rağmen, canlı organizmalarda; toprak, hava veya sularda rastlanan konsantrasyonlardan çok daha yüksek ağır metal değerlerine ulaşılsa dahi, çok nadir olarak hayvan ve insanlarda sağlık riski doğuracak ağır metal birikim sınırına ulaşılabilmektedir. Metallerin toksik etki göstermesi sadece metal konsantrasyonuna bağlı olmamakla birlikte, canlı türüne ve metal iyonunun yapısına da bağlıdır (çözünürlük değeri, kimyasal yapısı, redoks ve kompleks oluşturma yeteneği, vücuda alınış şekli, çevrede bulunma sıklığı, lokal pH değeri vb.) [19].

Ağır metallerin insan metabolizmasında oluşturdukları etkiler ve etkin oldukları aşamalar; kimyasal reaksiyonlara etki edenler, fizyolojik ve taşınım sistemlerine etki edenler, kanserojen ve mutojen olarak yapı taşlarına etki edenler, alerjen olarak etki edenler ve spesifik etki edenler olarak sıralanabilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3 Ağır metallerin insan vücudundaki etki mekanizması [19]

Ağır metaller suda çok az miktarlarda bulunmalarına rağmen, çoğu 1 ppm sınırında öldürücüdür. Hepsi suda yaşayan canlılar ve o canlıları tüketenler için toksiktir ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2. 5 Tayini yapılan ağır metal iyonlarının insan sağlığına etkileri [23]

Zn	Buharlarının solunması ile akut metal duman humması, boğaz tahrişi, öksürme, solunum güçlüğü, adale ve eklem ağrıları, mide tahrişi, peptik ülserler ve çeşitli karaciğer etkileri çinkonun kötü etkileridir.
Cr	Deri lezyonları, ülser, kanser, sindirim yaraları, solunum yolları zedelenmesi.
Cu	Karın ağrısı, kusma, kanama, bitkinlik, kansızlık, sarılık, soluma zorluğu, akyuvar çoğalması.
Pb	Diş eti mavileşmesi, kansızlık, kas kilitlenmesi, inme, akıl bozukluğu, beyin kanaması, sinir sistemi hastalıkları.
Cd	Böbrek üstü bezi etkileri, kansızlık, indirgenmiş hemoglobin düzeyleri.
Fe	Özellikle sanayi bölgelerinin çevresinde yaşayan insanlarda zaman zaman demir toksisitesine rastlanır. Bazı alerjik rahatsızlıklar ve siroz gibi rahatsızlıklar ortaya çıkar.
Ni	Aşırı dozları kansere sebep olabilmektedir.

Çalışma kapsamında analizi gerçekleştirilen; çinko, krom, bakır, kurşun, kadmiyum, demir ve nikelin kaynakları ve canlılar üzerindeki etkileri aşağıda yer almaktadır.

2.4.1.1 Çinko (Zn)

Normal bir deniz suyunda ortalama çinko miktarı 0.0049 µg/L'dir [1]. Çinko; pirinç ve bronz alaşımlarında, kaplama metal üretiminde kullanılmaktadır. Çinko özellikle, çelik çalışmaları, ipek ipliği, fiber üretimi ve katot arıtımı uygulayan resirkülasyon soğutma sistemleri ile metal proses atık sularında bulunur. Ayrıca kauçuk, mürekkep, karbon kağıtları, kozmetik ürünleri, boya maddeleri, silgi, muşamba ve cam ürünleri de çinko içermektedir. Çinko atıkların başlıca kaynağı ise elektrolitik kaplama banyoları olmaktadır. Bu banyoların çoğunluğu çinko siyanür içeren bazik çözeltilerdir. Çinko, yoğun endüstri alanlarından bırakılan atıksular, kanalizasyon suları ve asitli yağışların çinko üzerine yapmış olduğu aşındırıcı etki sonucu çevrede konsantrasyonu artan ve toksik düzeylere ulaşabilen iz elementtir. Katı atıklar ve arıtma çamurları yüksek miktarda çinko içeriğine sahip olup, bu tür materyallerin araziye verilmesi veya depolanması da toprakta çinko birikimine neden olmakta ve toksik etkiler

gösterebilmektedir [4, 23]. Toksisite etkisi gösterebilen çinko, pH'yı ve suyun sertliğini etkilemektedir. Besin zincirinde olmasına rağmen çinko fitotoksik özellikteyse, hayvanlar kendilerini zehirlilikten koruyabilmektedirler. Fakat su canlıları çinkoya karşı daha duyarlı olmaktadır [4]. Kronik maruziyet sonucunda ise deri ve akciğer hastalıkları görülebilmektedir [1].

Çinkonun en önemli kullanım alanlarından biri olmasının nedeni, demir konstrüksiyon malzemelerine kıyasla daha elektronegatif olduğundan çinko kaplamaların çelik yapılar için korozyon korunumu sağlamasıdır. Ayrıca düşük ergime sıcaklığına sahip olduklarından kompleks bileşenlerin basınçlı kalıp dökümünde ve pirinçte alaşım elementi olarak kullanılmaktadır.

Çinko oksit (ZnO), boya pigmenti olarak da kullanılmaktadır. Çinko tuzlarının toksikliği çinkodan daha fazla olmakla birlikte, bu durum yapısında bulunduğu bileşiğin anyonik kısmının toksikliğine bağlıdır. Diğer ağır metallerle kıyaslandığında, çinko metali ve birçok bileşiği düşük zehirlilik etkisi gösterirler. Örneğin; yüksek zehirleyici ve kanserojen özelliği gösteren çinko kromatın ($ZnCrO_4$) bu özelliği, Zn^{2+} yüzünden değil anyonik CrO_4^{2-} bileşeni sebebiyledir. Buna rağmen çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme nadir görülmektedir. Zehirlenmenin nedenleri ise besin kaplarında çinkonun çözünmesiyle kirlenen besinin tüketilmesi veya mesleki koşullar altında çinko ya da çinko oksit tozunun solunumu olmaktadır.

ZnO (çinko oksit) buharını uzun süre soluyanlarda çinko ateşi olarak adlandırılan rahatsızlıklar ortaya çıkar ve belirtiler herhangi bir yan etki bırakmadan bir kaç gün içinde kaybolur. Çinko klorür dumanları ise ancak yüksek konsantrasyonlarda öldürücü etkide bulunurlar. Akut zehirlenme belirtileri ise; sindirimde sıkıntı, ishal, mide bulantısı ve karın ağrısı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Aşırı dozda elemantel çinko alındığında, uyuşukluk, kas fonksiyonlarında zayıflık gibi belirtiler gözlenir [23, 24].

Çinko zehirlenmesi, kazayla alınan çinko dozlarıyla sınırlı olup, sık karşılaşılmayan bir durumdur. Çinkonun fazla olması bakırın fonksiyonunu engellemektedir. Hayvanlar yüksek düzeyde çinko alımına karşı tolerans gösterebilirler ve toksisite hayvanın cinsine göre farklılık gösterir. Çinko zehirlenmesi ile beraber hayvanlarda kansızlık, iştahsızlık, beslenme bozuklukları, pankreaslarda düzensizlik ve gelişmede gerileme gibi önemli rahatsızlıklar ortaya çıkmaktadır [23]. Bütün bu olumsuz etkilerin yanı sıra, çinko;

insanlar, bitkiler ve hayvanlar için yaşamsal elementlerden biridir ve günlük alınması gereken doz 10-20 mg civarında olmaktadır. Çinko; gelişme, deri bütünlüğü ve fonksiyonu, yumurta olgunlaşması, bağışıklık gücü, yara iyileşmesi ve karbohidrat, yağ, protein, nükleik asit sentezi ya da degradasyon gibi çeşitli metabolik prosesler için gereklidir. Ayrıca fizyolojik miktarlardaki çinko Cd, Hg, Pb ve Sn gibi diğer ağır metal iyonlarının zehirleyici etkilerini azaltmaktadır.

Çinko yetersizliği neticesinde, gelişim bozuklukları, cinsiyet ve iskeletin gelişememesi, kol ve bacak gibi uzuvlarda ve açık yerlerde deri iltihabı, ishal, kellik, iştah azalması ve davranışlarda değişiklikler gözlenebilmektedir [24].

Yüzey sularında çinko konsantrasyonları insan aktiviteleri ve şehirleşme ile doğrusal orantılı olarak artış göstermektedir. Düşen pH ve ortamın artan redoks potansiyeli, sedimentteki çinkonun çözünerek çözeltiye geçmesini sağlamaktadır. Atık sulardan çinko giderimi, uygulanan proses sonucunda çamurun depolanması ile beraber kimyasal çöktürme ve geri kazanımı gerektirmektedir. Geri kazanım ise iyon değiştirme ve buharlaştırma ile sağlanabilmektedir. Çinkonun çöktürülmesi, alkali şartları sağlamak için pH ayarı yapılarak ve genellikle hidroksit şeklinde çöktürülerek gerçekleştirilmektedir [23].

2.4.1.2 Krom (Cr)

Krom, vücutta insülin hareketini sağlayarak karbonhidrat, su ve protein metabolizmasını etkilemektedir. Havada >0,1 μg/m^3 ve kirlenmiş suda ortalama 1 μg/L krom bulunmaktadır [19].

Doğal rezervleri dışında metal kaplamalarında metal koruyucu olarak, manyetik bantlarda, boya maddesi olarak, zemin kaplamalarında, ahşap ve ahşap ürünlerini korumada, alaşımlarda, çimentoda, kağıt ve kauçuk üretimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyama ve tabaklama endüstrisinde korozyon önleyici olarak kullanılması sonucunda oluşan atıklarda da bulunmaktadır. Yüksek çözünürlüğü sayesinde de madencilik ve endüstriyel atık deşarjları ile karıştığı sucul ekosistemlerde kolayca birikebilmektedir. Krom içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonu, fosil yakıtlar, ağaç ve kağıt ürünlerin yanması sonucunda doğada altı değerlikli krom oluşmaktadır. Kromun +6 değerlikli olması, oksidasyonu, toksisiteyi ve katı fazdaki

hareketini arttırmakta ve kromu daha zararlı hale getirmektedir [4, 19, 20]. Bunun nedeni ise +6 değerlikli kromun oksidasyon potansiyeli ve biyolojik membranlardan kolaylıkla geçebilmesidir. Krom +6, +3 değerlikli kroma göre daha zehirlidir. Krom +6 değerlikli iyonların +3 değerlikli iyonlarına dönüştürülmesi pH 3'ün altında ve sodyum bisülfit gibi indirgeyiciler ile gerçekleşmektedir [23]. Ayrıca okside krom havada ve saf suda nispeten kararlı iken ekosistemdeki organik yapılarda ve toprakta +3 değerliğe geri redüklenir. Sucul ekosistemlerde krom kirliliği ile ilgili temel sorunlardan biri, sedimentte birikmeye başlamadan önce yıllarca suda kalabilmesidir. Krom; bitkilerde, canlılarda ve mikroorganizmalarda toksik özellik gösterebilmektedir. Yüksek miktardaki krom, balıklarda üremeyi engellemekte, bazı balık türlerinde genotoksik etkiler göstermekte, omurgasız canlılarda ise hayatta kalmayı zorlaştırmakta ve besin zinciri ile bir üst basamağa taşınmaktadır. İnsan vücudunda farklı etkilere sebebiyet veren krom; cilde, akciğerlere ve böbreklere zarar verebilmektedir [4, 19, 20].

Kromun başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmadaki davranışı oksidasyon kademesine, oksidasyon kademesindeki kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamın fiziksel yapısına bağlı olmaktadır. Günde ortalama krom alımı 30-200 µg'dır ve 250 µg'a kadar alınan kromun vücut sağlığına bir zararı yoktur. Alınan Cr^{+3}'ün % 0,5-3'ü vücut tarafından absorbe edilirken, Cr^{+6}'nın sindirim sistemindeki absorpsiyonu Cr^{+3}'ten 3-5 kat daha fazladır (yaklaşık % 3-6). Absorbe olan krom genel olarak üre bileşiği olarak atılır ve günlük atılan krom miktarı 0,5-1,5 µg olup bu değer günlük alınan kroma yaklaşık olarak eşit olmaktadır. Çözeltideki krom deri tarafından hemen emilir ve kırmızı kan hücreleri vasıtasıyla böbreklere gider ve dışarı atılır [19].

2.4.1.3 Bakır (Cu)

Bakırın birincil kaynakları metal ve madeni kaplama endüstrileridir. Bakır aynı zamanda bakır tuzları ve bakır katalizleri kullanan kimyasal üretim proseslerinin atık sularında da mevcut olmaktadır. Vernikleme, tel ve pirinçten yapılmış eşyalar bakırın esas kullanım alanlarıdır. Pek çok su sistemi araçları da bakırdan meydana gelmektedir. Çok çeşitli kullanım alanı olan bakırın çevreye bırakılması; endüstri tozları, fungisitler ve atıksular ile olmaktadır [23].

Bakırın deniz suyunda ortalama miktarı $5x10^{-4}$ µg/L'dir**.** Deniz suyunda bakırın formlarından olan Bakır (I) Oksit (Cu_2O) ve Bakır (II) Oksit (CuO) suda çözünmezler. Cu (I) bileşikleri, Bakır (I) Klorür (CuCl) veya kuvvetli kompleks halinde bulunurlar. Kuvvetli asitlerle yaptığı tuzlar şeklinde kolayca çözünen Cu (II)'nin, önemli bir miktarının organik madde üzerinde adsorbe olduğu görülmüştür [1].

Bakır çok farklı özelliklere sahip olduğu için endüstride önemli bir rol oynamaktadır. Bakırın en önemli özellikleri arasında yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınma ve korozyon direnci, çekilebilme ve dövülebilme özellikleri yer almaktadır.

Endüstriyel olarak kirletilmemiş bölgelerdeki deniz suyundaki bakır konsantrasyonu 0,15 µg/L, tatlı suda ise 1-20 µg/L'dir. Doğal suların pH değerine bağlı olarak çözünürlük sınırındaki azalma sonucu bakır, suların dibinde çökelir. Doğal yeraltı tatlı suların çökeleklerinde kuru ağırlık olarak yaklaşık 16-5000 mg/kg arasında ve deniz dibinde kuru ağırlık olarak ortalama 2-740 mg/kg bakır bulunmaktadır. Kirletilmemiş toprakta bakır konsantrasyonu ortalama 30 mg/kg seviyelerinde olmakla birlikte sınır değeri 2-250 mg/kg'dır.

Erişkin insanlarda ortama 50-120 mg bulunan bakır; amino asitler, yağ asitleri ve vitaminlerin metabolizmadaki reaksiyonları için önemli bir öğedir. Birçok enzim ve proteinin yapısında bulunan bakır, demirin fonksiyonlarını yerine getirmesinde aktivatör görevi üstlenir. Bakır vücut fonksiyonları açısından gerekli olmakla beraber saç, deri esnek kısımları, kemik ve bazı iç organların temel bileşenidir.

Bakır eksikliğinde; hayvanlarda ve insanlarda büyümede gecikme, solunum sisteminde enfeksiyonlar, kemik erimesi, anemi, saç ve deride renk kaybı gibi olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Bakır eksikliğinde hayvanlarda anormallikler, kansızlık, kemik hataları ve sinir sisteminde bozukluklar tespit edilmiştir.

Akut bakır zehirlenmesi seyrek olarak gözlenmekle birlikte, genelde yiyecek ve içeceklere kazayla bakır içeren maddelerin karışmasıyla veya kasten bakır tuzlarının yutulması sonucu gerçekleşmekte ve bu durum bakır çalığı olarak bilinmektedir. Akut bakır zehirlenmesinin belirtileri; tükürük salgılamanın artması, mide ağrıları, bulantı ve ishaldir. Ayrıca alınan bakır dozuna bağlı olarak, koma durumuna ve ölümlere neden olabilmektedir.

İçme sularında Dünya Sağlık Örgütü tarafından açıklanan sınır değeri 2 mg/L'dir. Gün içinde alınabilen maksimum bakır değeri kadınlarda 12 mg/gün, erkeklerde 10 mg/gün, 6-10 yaş grubu çocuklarda ise 3 mg/gündür [24].

Bakır küçük canlılar için yüksek derecede zehirlilik göstermektedir. Özellikle balıklar için kuvvetli bir zehirdir. Örneğin alabalıklar için toksisite sınırı 0,14 mgCu/L olmaktadır. Sert ve tuzlu sular ise zehirlilik etkisini azaltmaktadır [23].

Bakırın canlılar üzerine yaptığı toksik etki; sıcaklık, bulanıklık, CO_2 miktarı, fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olduğu gibi organizmanın cinsine de bağlıdır. Ayrıca bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi, bakırın kimyasal formuna, bitkinin ve canlının büyüklüğüne ve gelişmişliğine göre değişmektedir. Küçük ve basit yapılı canlılar için zehir özelliği gösteren bakır, büyük canlılar için temel yapı bileşeni olmaktadır. Bu sebeple bakır ve bileşikleri fungusit, biosit, anti bakteriyel madde ve böcek zehiri olarak tarım zararlılarına ve yumuşakçalara karşı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır ve klorür ortamda beraberce bulunduklarında, daha fazla toksiktirler. Cu^{+2} iyonik halde en toksik maddedir. Bakır içeren atıklar tekstil ve kozmetik üretiminden kaynaklanmakla birlikte bitkilerin büyümesini etkilemekte, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişikliklere neden olmakta ve toksik etki gösterebilmektedir [1, 4, 24].

Bakır atık sulardan çöktürme, elektrodiyaliz, buharlaştırma, iyon değişimi proseslerinin de dahil olduğu geri kazanım ile giderilmektedir. Geri kazanılan bakır metalinin oranı geri kazanım prosesinin değerini ifade etmektedir. 200 mg/L'den daha düşük bakır konsantrasyonu içeren atık sularda, iyon değişimi ve aktif karbon prosesleri uygun yöntemler olmaktadır. 1-1000 mg/L giriş seviyeleri için çöktürme, 1000 mg/L'den daha büyük konsantrasyonlarda ise elektrolitik geri kazanım prosesleri uygulanmaktadır [23].

2.4.1.4 Kurşun (Pb)

Deniz suyunda kurşun, genellikle Kurşun (II) ve Kurşun (II) Sülfat ($PbSO_4$) şeklindedir ve ortalama miktarı $3x10^{-5}$ µg/L'dir [1]. Birincil kurşun kaynakları, akümülatörler ve benzin katkı maddeleri üreten endüstrilerdir. Kurşun, yeryüzünde doğal olarak bulunmasının yanı sıra, su borusu yapımı, paslanmaya karşı oksit boya hammaddesi, teneke kutu

kapakları, kurşun-kalay alaşımlı kaplar, seramik sırları, böcek ilaçları, kozmetik malzemeler içerisinde, kurşun bazlı boyalarda, sigara, böcek ilaçları, pil üretimi ve askeri amaçlı olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bunların dışında diğer bir kurşun kaynağı ise kurşun cevherinin işlenmesi süreçlerinde, kurşunun suya ve toprağa karışmasıdır. Ayrıca çok azda olsa tarımda kullanılan pestisitlerin içerdiği kurşun, çevrede kurşun yükünün oluşmasına sebep olmaktadır [4, 7, 19, 23].

İnsan vücudundaki kurşun değeri ortalama olarak 125-200 mg civarındadır. İnsanların hava, besin maddeleri ve içme suyu ile günlük kurşun alımlarının 0,3-0,6 mg olduğu tahmin edilmektedir. Normal şartlarda insan vücudu günde 1-2 mg kurşunu atabilme yeteneğine sahip olmasının yanı sıra ağız yoluyla sürekli olarak alınan 10 mg'lık kurşun düzeyinin belirli bir süre sonra zehirlenmeye yol açtığı tespit edilmiştir. Kurşunun vücutta absorpsiyonu çocuklarda daha yüksek olmakla birlikte yetişkin bireylerde % 5 gibi düşük oranlarda olmaktadır. Bu düşük oran dahi vücuda alınan minerallerin oranını düşürmektedir [17, 23]. Kurşun vücuda; solunum, içme suyu ve gıda zinciri yolu ile girerek akciğerlere kadar ulaşır ve akciğerlerde yavaş yavaş emilerek kana karışır. Kan yolu ile önce karaciğer, böbrek, beyin ve kas gibi yumuşak dokulara taşınır. 35-40 gün bekledikten sonra kurşun metabolitleri yardımı ile kemik ve diş gibi sert dokularda birikir [1].

Kurşun; kurşun felcine, işitme bozukluğuna, sinir iletim sisteminde sorunlara, hemoglobin bileşiminde düşmeye, kansızlığa, mide ağrısına, böbrek ve beyin iltihaplanmasına, kısırlığa, kansere ve ölüme neden olmaktadır. Özellikle çocuklarda zihinsel ve davranışsal bozukluklara, aşırı hırçınlığa yol açmaktadır. Çocukluk dönemindeki kronik maruz kalma, yetişkinlikte kalıcı bir hal alan obeziteye yol açabilir. Biyolojik yarılanma süresi 20 yıl olduğundan vücuttan atılma olasılığı çok düşüktür [1, 23].

Kurşunun çoğu kemikte depolanmasına rağmen; beyne, anne karnındaki bebeğe ve annenin sütüne dahi geçebilmektedir. Kurşunun kanda 40 mg/L seviyesini aşması tansiyonu arttırıcı etki göstermektedir. Kurşun yapısı gereği çökme eğilimindedir ve kompleks oluşturmaz. Genellikle doğaya salınan kurşun zor çözünür bileşikler ($Pb_3(PO_4)_2$, $Pb_4O(PO_4)_2$, $Pb_5(PO_4)_3OH$, $PbCO_3$, PbS) oluşturur. Bu nedenle beslenme zincirindeki bitkiler ile kurşun alımı zor gerçekleşmektedir. Besin zincirinde kurşun alımı

genelde midye türü kalsiyumlu kabuklular üzerinden ve kalsiyuma bağlı olarak gerçekleşmektedir. Tek hücreli canlıların ve balıkların 0,04-0,198 mg/L inorganik kurşun içeren suları tolere edebildikleri ancak daha düşük miktarlarda kurşunun besin yoluyla alınmasında akut zehirlenme gösterdikleri bilinmektedir [19].

Bitkilerin kurşun alımı ve bünyesindeki kurşun miktarı insan sağlığı açısından önemli olmaktadır. Bazı bitki türleri için kurşun toksisite düzeyi oldukça yüksek olmakta ve bu tür bitkiler sağlıklı gözükmektedir. Zehirlenme belirtileri göstermeyen bu türler insanlar tarafından tüketildiklerinde tehlikeli olmaktadır. İnorganik kurşun genel olarak bitkilerin dış cephelerinde kaldığından yıkanma ile büyük ölçüde temizlenmekte, tohum ve köklerde ise aşırı birikim yapmamaktadır. Organik kurşun ise bitkiler tarafından hızla alınmaktadır.

Kurşun atık sularda genel olarak kimyasal çöktürme ile karbonatlar veya hidroksitler formunda çöktürülür. Kurşun karbonat çözeltisi kurşun hidroksite göre daha kristalimsi bir yapıda oluşur. Ayrıca susuzlaştırma işlemleri daha verimli olduğundan tercih edilir. Kurşun aynı zamanda soda külleri kullanılarak karbonat formunda da verimli olarak giderilir. pH 9-9,5'da arıtım sonucu çıkış konsantrasyonları 0,01-0,03 mg/L kadardır. Kireç ile çöktürmede pH 11,5'de 0,09-0,2 mg/L çıkış konsantrasyonları sağlanır. Son adım olarak da filtrasyon işlemi gerçekleştirilirse daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Ayrıca iyon değişimi ile organik ve inorganik kurşun giderimi verimli olarak gerçekleştirilebilmektedir [23].

2.4.1.5 Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum endüstriyel alanda; nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanmasında, boya sanayinde, kimyasal endüstrilerde, seramiklerde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılmaktadır. Ayrıca kadmiyum empürüte olarak fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde de bulunmaktadır. Lastik sertleştirilmesi, fotoğrafçılık, özel ayna yapımı, fungusitler ve insektisitlerin üretimi, televizyon tüpleri, nükleer santrallerde merkezsel çubuk üretimi de kadmiyumun kullanım alanlarındandır. İnsan yaşamını temel olarak etkisi altına alan kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, kömür

yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır [19, 23].

Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi; kaynak yapımı esnasında, kullanılan alaşım bileşimleri, elektrokimyasal kaplamalar, kadmiyum içeren boyalar ve kadmiyum piller nedeniyle olmaktadır. Kadmiyum, önemli enzim ve organ fonksiyonlarında çinko ile benzer yapıda bulunduğundan, çinkonun yerini alabilmektedir. Bunun sonucunda da fonksiyonların gerçekleşmesi engellenmektedir. Kadmiyum, suda çözünme özelliği en yüksek olan element olma özelliğinden dolayı doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden biri değildir. Suda çözünebilir özelliğinden dolayı Cd^{+2} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınmaktadır ve birikim gösterme özelliğine sahiptir. Kurşun ve civanın aksine kan yoluyla anne karnındaki bebeğe kadmiyum geçmediğinden, yeni doğmuş bebeklerde hiç kadmiyum bulunmamaktadır [19].

Kadmiyum ile zehirlenme soluma ve beslenme yolu ile olur. Kadmiyumla zehirlenme sonucu oluşan hastalıkların başında Itai-Itai hastalığı gelir. Vücut kadmiyumu kalsiyum gibi algılar ve kadmiyum vücutta birikmeye başlar. Vücutta kalsiyum eksilmesinden dolayı kemikler yavaş yavaş zayıflamaya başlar. Ayakta durmak hatta öksürmek bile kemiklerin kırılmasına hatta iskeletin ufalanmasına ve neticede hastanın ölmesine neden olur [1]. Kısa süreli olarak 0,05 mg/kg kadmiyum alımı mide rahatsızlıklarına sebebiyet verirken, uzun süreli (>14 gün) 0,005 mg/kg/gün dozu böbrek ve kemiklerde çok ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Normal olarak vücudumuzda 40 mg'a kadar kadmiyum bulunabilmekte ve günlük olarak da 40 µg'a kadar kadmiyum vücuttan atılabilmektedir. Kadmiyum % 20'lik bir oranla vücutta çok iyi absorbe edilemiyor olsa dahi, diğer metallere kıyasla bu oran oldukça yüksek olmaktadır. Kadmiyum bileşikleri genellikle böbreklerde ve karaciğerde birikim göstermekte ve ilerleyen yaşlarda böbreklerde biriken kadmiyum yüksek tansiyona da sebebiyet verebilmektedir [19].

Kadmiyumdan kaynaklanan akut zehirlenme öncelikle halsizlik, baş ağrısı, ateş, terleme, kaslarda gerilme ve ağrıyla birlikte kusmayla ilk 24 saat içerisinde ortaya çıkar ve üçüncü gün en şiddetli belirtilerini göstererek, eğer bir hafta içerisinde yeni bir yükleme söz konusu değilse kaybolmaya başlar. Kronik kadmiyum zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etki akciğer ve prostat kanseridir. Kronik zehirlenme böbrek

hasarı ile ortaya çıkar ve idrarda düşük moleküllü protein görülür. Aşırı dozda kadmiyum alımı (60-480 µg/$gr_{böbrek}$) böbrekler üzerinde tahrip edici etkinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır ve bu etki bütün canlılarda görülmektedir. Kadmiyum zehirlenmesinin diğer belirtileri ise; kansızlık, dişlerin dökülmesi ve koku duyumunun yitirilmesidir [19].

Kadmiyum atık sularda genel olarak çöktürme ve iyon değiştirme yöntemleriyle giderilebilmektedir. Eğer atık su konsantre haldeyse elektrolitik ve buharlaştırma kazanı prosesleri uygulanabilmektedir. Çöktürücü olarak demir ve alüminyum tuzları kullanılıyorsa yüksek pH'da çökelme olmaktadır. Çamurun kontrolünde kadmiyum karbonat çöktürmesi hidroksitten önemlidir. +2 değerlikli demir tuzları ile giderim yapıldığında adsorbsiyonla birlikte verim artmaktadır.

Kadmiyum kaplama atıkları siyanür içermektedirler ve kadmiyum, siyanür gibi kompleks yapan iyonların varlığında çözünmez. Bu gibi durumlarda ön arıtım gereklidir ve siyanür gideriminde bozunma işlemleri nispeten hızlı ve kolay olmaktadır. Siyanür giderildikten sonra kadmiyum çöktürülür. İşlem sırası koagülasyon, çökeltme ve kum filtrasyonu şeklinde olmaktadır [23].

2.4.1.6 Demir (Fe)

Demirin deniz suyunda bulunabilirliği 0.002 µg/L'dir [1]. Demir en çok ham metal sanayi atık sularından kaynaklanmakla birlikte, yer altı sularında genellikle, yüzeysel sularda ise yılın bazı dönemlerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Demir, içme ve kullanma suları bakımından sorun teşkil etmektedir.

Demir iyonlarının çözünerek su ortamına karışması farklı yollardan olabilmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

- Oksijenden bakımından eksik ancak CO_2'ce zengin sularda demir iyonları bulunur.
- Kaliteli suya sahip kuyuların etrafında organik atıklar mevcut olduğunda, toprakta meydana gelen anaerobik koşullar nedeniyle kuyu suları demir iyonları bakımından yüksek içeriğe sahip olmakta ve su kalitesi bozulmaktadır.

- Yeterli derinliğe sahip göllerde suyun tabakalaşması nedeniyle oluşan anaerobik koşullar yüzünden demir, alt tabakalarda bulunan suda konsantre hale gelmektedir. Göl tabakalaşmasının sonbahardaki alt-üst olmasını izleyen günlerde rezervuardan çekilen sular demir bakımından zengin olmaktadır.

İçinde demir bulunan sular hava ile temas ettiklerinde bulanık ve renkli bir hal alır. Bunun nedeni Fe (+2)'nin Fe (+3)'e oksitlenmesi ve suda çözünmeyen bir kısım kolloidler oluşturmasıdır. Oksitlenme yavaş gerçekleştiğinden, bulanıklık uzun sürer. pH 6'dan daha küçük ise bu reaksiyonlar daha büyük boyutlarda meydana gelmektedir.

Demir, suya karakteristik bir tat vermektedir. Demir kalıcı renkleri nedeniyle kullanma sularında sakıncalıdır. Bu nedenle içme suyunda demir 0,3 mg/L'den daha fazla olmamalıdır.

Sert olmayan sularda çeşitli demir bileşikleri pH'yı düşürerek, balıklara zehir etkisi yapmaktadır. Örneğin, demir hidroksit, balıkların solungaçlarını tıkayarak ölmelerine sebep olmaktadır.

Yetişkin insanlarda kronik demir zehirlenmesi pek sık rastlanan bir durum değildir. Akut demir zehirlenmesi genellikle yetişkinlerde ve çocuklarda direk ağız yoluyla alınmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle demir sülfat, çocuklar için toksik etki yaratmaktadır. Ayrıca bazı alerjik rahatsızlıklar ve siroz gibi önemli hastalıklara neden olabilmektedir [23].

2.4.1.7 Nikel (Ni)

Nikel temel olarak metal proses endüstrileri, çelik dökümhaneleri, motorlu taşıt ve uçak endüstrileri, kozmetik, paslanmaz çelik, bakır-nikel alaşımları ve elektro kaplamada; ayrıca akümülatör, elektrik kabloları, buji ve makine sistemlerinde kullanılmaktadır. Saf nikel kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada ve alkali pillerde, boya pigmentlerinde, madeni para yapımında, kaynak ürünlerinde, mıknatıslarda, elektrotlarda, elektrik fişlerinde, makine parçalarında ve tıbbi protezlerde kullanılmaktadır [4, 23, 24].

Nikel metali nitrik asitte çözünebilirken seyreltik hidroklorik ve sülfürik asitte az oranda çözünebilmekte, sıcak-soğuk su veya amonyakta ise çözünürlük göstermemektedir.

Nikelin alaşım üretiminde kullanılmasının sebebi, korozyon ve ısı direncinin yüksek olması, sertliğinin ve dayanımının iyi olmasıdır. Nikelin orta seviyede zehirleyici özelliği olmasına rağmen biyolojik fonksiyonu bulunmamaktadır. Doğada bulunması yanı sıra insan aktivitelerine bağlı olarak da doğada yer almaktadır. Nikelin organik formu, inorganik formuna göre daha zehirleyicidir [24].

Nikelin iz miktarda insan vücudun da bulunabilmesinin yapısal anlamda rolünün olmasıyla birlikte, kanserojen etkisi büyüktür. Solunum sistemine ve dermatolojik (alerjik) olarak da etki göstermektedir. Ayrıca toprakta bulunan nikel bitkilerde de toksik etki göstermektedir [4].

Nikel; deriyi tahriş etme, kalp damar sistemine zarar verme gibi olumsuz etkilerinin yanı sıra kanserojen özellikte göstermektedir. Özellikle ağız yoluyla alınan nikel bileşikleri, insanlara zehir etkisi yapmaktadır. Nikel bağırsakta az miktarda emildiği için vücuda yayılmaktadır. Akciğer ve beyinde yüksek konsantrasyonlar tespit edilmiştir. En büyük hayati tehlike ise, nikelin burun boşluğunda kansere yol açmasıdır. Bu zararlı etkilerine rağmen nikel ve tuzlarıyla zehirlenme nadir rastlanan bir durumdur. Bazı bitki türleri için, örneğin; baklagillerde yararlı bir element olan nikel, belli bir doz aşımında (0,18-5 ppm) zehirleyici olmaktadır. Nikel içeren atık suların alıcı ortama karışması durumunda ise zararlılık sınırı balıklarda 1-5 mg/L, balıklara yem olan küçük su canlılar içinse 3-4 mg/L olmaktadır. Nikel zehirlenmesi sonucunda bitki kökleri tahrip olmakta, tahıllarda yapraklar üzerinde boydan boya solgun sarı çizgiler oluşmakta, daha sonra da tüm yaprak beyazlaşmaktadır. Daha yüksek dozlara maruz kalındığında ise yaprak uçlarında yanma başlamaktadır [23, 24].

Atmosfere nikel yayılımı; nikel yakıtların yanması, madencilik ve rafinasyon işlemleri ve kentsel atıkların külleştirilmesi ile de olabilmektedir. Nikel madenciliği ve ergitme endüstrisinde ise mesleki maruziyet görülmektedir. Nikel içeren takı kullanımında deri ile etkileşim olabilmektedir.

Besin olarak toplam nikel alımı, hayvan yiyecekleri veya bitkilerin tükettikleri miktarlara bağlıdır. Günlük nikel alımının yaklaşık yarısı ekmek, içecek ve tahılların tüketilmesiyle olmaktadır. Besinlerin günlük 150 µg’ dan az nikel içermesi tavsiye edilmektedir [24].

Atık suya kireç ilavesi ile nikel pH 10-11'de 0,12 mg/L minimum çözünürlükte olup çözünmez nikel hidroksitlerini teşkil eder. Nikel geri kazanım proseslerinde karbonat veya sülfat olarak çöktürülmektedir. Sedimantasyon ve filtrasyondan sonra 0,15 mg/L'lik çıkış nikel seviyesini sağlamak için pH 11,5'da kireç ilavesi uygundur. Eğer nikel önemli miktarlarda ise geri kazanım için iyon değişimi ya da buharlaştırma prosesleri kullanılabilmektedir. Ayrıca ters osmoz kullanımı nötrale yakın arıtım şartlarında da giderek artmaktadır [23].

2.4.2 Suda Metal Kirliliği

Sucul ekosistemler, ekosistem içerisinde önemli bir bileşen olmasına rağmen, atık deşarjı için ideal ortamlar olarak görülmektedir. Çünkü bu sayede atık deşarjı basit ve ucuz bir şekilde gerçekleşmektedir. Organik maddeler, metaller, petrol türevleri, yapay tarımsal gübreler, deterjanlar, radyoaktif maddeler, pestisitler, inorganik tuzlar, yapay organik kimyasal maddeler ve atık ısı gibi deşarjlar sucul ortamların kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kirleticiler arasında metaller, hem biyotik hem abiyotik faktörlerde birikim göstermeleri, uzun süre ortamda kalabilmeleri, sucul canlılarda toksik etkiler göstermeleri ve besin zinciri yoluyla canlılar arasında aktarılabilmeleri nedeniyle sucul ekosistemlerde büyük önem taşırlar. Bu nedenle son yıllarda hem biyotik hem abiyotik faktörlerde metal konsantrasyon seviyelerinin incelendiği birçok çalışma yapılmaktadır [20].

Önceleri Altın Boynuz olarak da bilinen Haliç, İstanbul'un en güzel bölgelerinden biri iken, düzensiz yapılaşma ve sanayileşme gibi çevresel olumsuzluklardan dolayı bu güzelliğini yitirme tehlikesi altında kalmıştır. Su kirliliği insanlığı ve doğayı tehdit ettiği için sorunlara acil çözüm yolları üretilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çevre kirliliğinin önlenmesi veya kontrol altına alınabilmesi için yerel yönetimler, kirlilik kontrolüne yönelik yasal ve teknik esasları içeren yönetmelikler ve mevzuatlar yayınlanmıştır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde yer alan deniz suyunun genel kalite kriterleri Çizelge 2.6'da yer almaktadır.

Çizelge 2. 6 Deniz suyunun genel kalite kriterleri [11]

Parametre	Kriter	Düşünceler
pH	6.0-9.0	-
Renk ve bulanıklık	Doğal	Doğal su içi yaşam için gerekli fotosentez aktivitesinin, ölçüm derinliğindeki normal değerini % 90'dan fazla etkilemeyecek kadar olmalıdır.
Yüzer madde	-	Yüzer halde yağ, katran vb. sıvılarla çöp vb. katı maddeler bulunamaz.
Askıda katı madde (mg/L)	30	-
Çözünmüş oksijen (mg/L)	Doygunluğun % 90'nından fazla	Çözünmüş oksijen değerleri derinlik boyunca izlenmelidir.
Parçalanabilir organik kirleticiler	-	Seyreldikten sonra çözünmüş oksijen varlığını yukarıda öngörülen değerden daha fazla tehlikeye düşürecek miktarda olmamalıdır.
Ham petrol ve petrol türevleri (mg/L)	0.003	Su, biyota ve sedimanda ayrı değerlendirilmeli ve tercihen hiç bulunmamalıdır.
Radyoaktivite	-	Sözkonusu deniz ortamına ait doğal radyoaktivite tür ve seviyeleri aşılmayacaktır. Yapay radyoaktivite ölçülmeyecek düzeyde bulunacaktır.
Üretkenlik	-	Söz konusu deniz ortamına ait mevsimsel üretkenlik seviyeleri korunacaktır.
Zehirlilik	Bulunmayacak	
Fenoller (mg/L)	0.001	
Çeşitli ağır metaller		
Bakır, (mg/L)	0.01	
Kadmiyum, (mg/L)	0.01	
Krom, (mg/L)	0.1	
Kurşun, (mg/L)	0.1	
Nikel, (mg/L)	0.1	
Çinko, (mg/L)	0.1	
Civa, (mg/L)	0.004	
Arsenik, (mg/L)	0.1	
Amonyak, (mg/L)	0.02	

Yönetmelikte her endüstri kolu için atık sularının, alıcı ortama deşarj standartları ayrı ayrı belirlenmiştir. Su ortamlarında, standartlarda belirtilen değerlerinin üzerindeki konsantrasyonlarda farklı türlerdeki ağır metallerin bulunması, yaşam döngüsü içerisinde bütün canlıları etkilemektedir. Farklı kaynaklardan su ortamlarına ulaşan ağır metaller, suda yaşayan canlılarda zamanla birikim yapmaktadırlar. İnsanların, bünyesinde ağır metal bulunan canlıları tüketmeleri ise ağır metallerin vücuda alınmasına ve bireylerin sağlık sorunları yaşamasına sebebiyet vermektedir. İnsan ve çevre sağlığı açısından ise kaynakta kirletici kontrolünün sağlanması, kirleticilerin sucul sisteme ulaşmadan önce kirliliğin ortadan kaldırılması; kirlilik mevcut ise uygun arıtma

metotları belirlenerek uygulamaya geçilmesi ve standartlarda belirlenen seviyelere düşürülmesi gerekmektedir.

2.4.3 Ağır Metal İçeren Suların Arıtım Yöntemleri

Ağır metallerin sulardan uzaklaştırılması ve ağır metal değerlerinin istenilen konsantrasyon aralığı içerisine alınması; kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ters osmoz, indirgenme gibi tekniklerle sağlanmaktadır. Kullanılacak yöntemin belirlenmesi için metalin cinsinin, suda bulunma şeklinin ve konsantrasyonun bilinmesi gerekmektedir. Ancak o zaman hem doğru hem de ekonomik arıtım yöntemi seçilebilmektedir.

Adsorbsiyon: Adsorbsiyon, bir yüzey veya arakesit üzerinde maddenin birikimi ve derişiminin artması olarak tanımlanır. Bu işlem herhangi iki değişik fazın arakesitinde meydana gelebilir. Yüzeyde tutulan maddeye adsorblanan, yüzeyinde tutulana adsorban denir. Katı-sıvı adsorbsiyonu içme suyu ve atıksu arıtımında önemli rol oynar. Su arıtımında adsorbsiyon teknikleri için çeşitli kimyasal maddeler kullanılır. Zeolit, aktif karbon, tabii ve yapay adsorbanlar kullanılarak atık sularda bulunan ağır metallerin tutulması sağlanır.

İyon Değiştirme: İyon değiştirme, iyonların çözeltiden katı bir yüzeye ya da katı bir yüzeyden çözeltiye transfer edildiği fiziksel ve kimyasal bir işlemdir. Bu yöntem ağır metal iyonlarının, elektrostatik kuvvet ile fonksiyonel grup halinde katı yüzey halinde tutularak ortamdaki farklı türdeki iyonlarla değiştirilmesi esasına dayanır.

Ağır metal iyonlarının gideriminde kullanılan indirgenme, yükseltgenme, nötralizasyon gibi arıtım teknikleri yüksek kimyasal donanım giderleri ve arıtma veriminin düşük olması nedeniyle pratiklik ve ekonomiklikten uzaktır.

İndirgeme - Çökeltme Yöntemi: Bu yöntemle yüksek değerlikli metal çökebilen şekle indirgenir. Nötralize edilir. Çöktürmede karıştırma, flokülasyon, koyulaştırma ve süzme işlemleri yapılır. Özellikle kromlu atıkların arıtımında bu yöntem kullanılır.

Yükseltme - Çökeltme Yöntemi: Bu yöntemle indirgenmiş metal; kararlı, yükseltgenmiş ve çözünmeyen şekillere dönüştürülür. Bu tür bir atık arıtma prosesinde havalandırma,

sedimantasyon ve filtrasyon olmak üzere ardışık üç basamak vardır. Bu yöntem özellikle demir-mangan içeren atıkların arıtımında kullanılır.

Nötralizasyon - Çökeltme Yöntemi: Krom, bakır, demir, çinko, nikel ve kadmiyum gibi ağır metal iyonları ortama kireç, soda ve sodyum hidroksit katılarak nötralize edilir. Hidroksitler şeklinde çöktürülerek atık sulardan uzaklaştırılır [23].

2.4.4 Sedimentte Metal Kirliliği

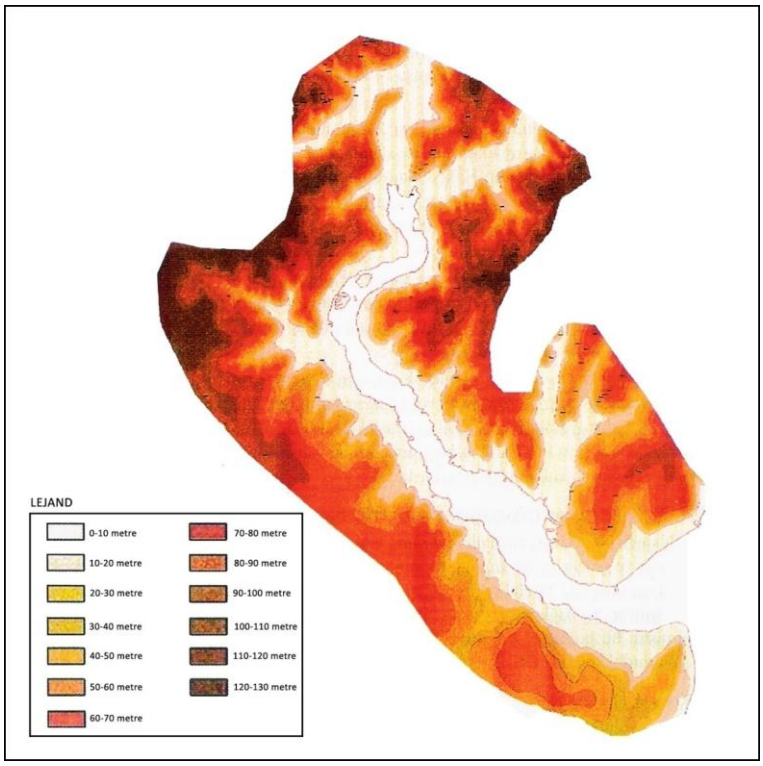
Sediment, doğal sularda değişen miktarlarda birikinti maddelerinin yığılarak, dip çamurunun oluşmasıdır. Sucul sistemlerde değişik özellikteki maddeleri bünyesine alan sedimentler, erozyon, ölü algler, organik ve inorganik maddelerin dibe çökmesi sonucuyla oluşmaktadır. Kıyı bölgesinde bulunan sedimentler; noktasal, kentsel ve endüstriyel olmak üzere özellikle insan kaynaklı kirliliğe maruz kalmakta ve su ortamına geçen kirleticiler askıda katı maddeler üzerine absorbe olarak dip sedimentinde birikmektedir [2]. Su ortamına birçok farklı yolla katılabilen kirleticiler ve ağır metaller, sediment yapıya geçinceye kadar birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçten geçmektedirler. Bu süreçler sonucunda kirleticiler ya besin zincirine katılmakta ya da sedimentten suya geçebilmektedir.

Ağır metaller sedimentte depolanmaları esnasında bazı mikrobiyolojik diyajenez reaksiyonlarından (oksidasyon, redüksiyon) doğrudan veya dolaylı olarak etkilenirler. Bu reaksiyonlar sırasında katı sediment yüzeylerinden gözenek suyuna katılmalar ve/veya gözenek suyundan çökelmeler gerçekleşir. Gözenek suyunda metaller konsantre hale geldiklerinde genelde ya direkt deniz suyuna metal difüzyonu olur, ya da metaller sedimenter ortamdaki inorganik veya organik bileşenlerle birleşerek sediment içinde otijenik mineralleri oluştururlar. Ağır metallerin sediment-gözenek suyu-deniz suyu fazları arasındaki bu remobilizason ve resirkülasyon olayları sediment kolonunda diyajenik şart altında gerçekleşir. Denizel ortama çeşitli faktörlerin etkisi altında giren ağır metaller sedimentlerin ince tane boyu fraksiyonlarında birikme eğilimi gösterirler. Sedimentlerde tane boyu küçüldükçe buna bağlı olarak yüzey alanı, yüzey yükü, organik madde içeriği gibi özellikler artmaktadır. İnce tane boyutundaki sedimenter partiküller geniş spesifik yüzey alanına sahiptir ve ince taneli sedimentlerin organik karbon içeriği yüksektir. Dip sedimentlerinin jeokimyası su kolonu kimyasını da

etkilemekte ve dolayısı ile kirlenmiş sedimentlerde depolanan ağır metaller sadece bentik canlılar için değil, üzerinde yer alan su kolonundaki canlı ortam için de toksik etki oluşturmaktadır [1]. Su ortamında yaşayan canlılar ve besin zinciri yoluyla su ortamındaki canlıları tüketen üst seviye canlılar, doğrudan bu kirlilikten etkilenmekte ve zamanla ağır metaller canlı yapısında birikim göstermektedir. Bu nedenle sediment analizi; sediment ve su sistemi arasındaki değişimler, kirletici kaynaklarının ve türlerinin tespit edilmesi, alınabilecek önlemlerin belirlenmesi açısından önemli olmaktadır.

2.5 Çalışma Alanı Olan Haliç'in Özellikleri

Haliç konumu itibariyle birden çok ilçe belediyesinin yetki sınırları içerisindedir. Haliç kıyıları üst ölçekte İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin yetkisi altındadır. Haliç'in sağ yakasında bulunan ilçeler Beyoğlu ve Kağıthane'dir. Sol yakasında bulunan ilçeler ise kuzeyden güneye doğru Eyüp, Fatih ve Eminönü ilçeleridir. Haliç'in iki yakasında yer alan, farklı mekansal özellikler ve farklı sosyal yapılardan oluşan semtler; Eminönü, Unkapanı, Cibali, Fener, Balat, Ayvansaray, Defterdar, Eyüp, Alibeyköy, Kağıthane, Silahtar, Sütlüce, Hasköy, Kasımpaşa ve Karaköy semtleridir. Haliç'in topografik yapısını (Şekil 2.4); Haliç kıyı şeridi, tepeler ve sırtlar, yamaçlar ve teraslar oluşturmaktadır. Haliç'in her iki yakasında kıyı çizgisinden itibaren deniz seviyesinden birkaç metre yükseklikte ve 150'şer metreye varan düz bir sahil şeridi yer almaktadır. Haliç'in en önemli öğeleri tepeleridir. Yükseklikleri 50 ile 130 metre arasında değişen tepe ve uzantılar her iki yamaçta yer almaktadır. Haliç'te yer alan en önemli yükseklikler; Ayasofya ile Topkapı Sarayı'nın bulunduğu bölgede 40 metre, Beyazıt ve Süleymaniye'de 50-60 metre, Edirnekapı ve Fatih'te 60-70 metre, Taksim'de 70-80 metre, Okmeydanı'nda 90-100 metre, Eyüp, Kağıthane ve Kasımpaşa bölgesinde ise 100-110 metredir [25].



Şekil 2. 4 Haliç coğrafi mekanının topoğrafik haritası [25]

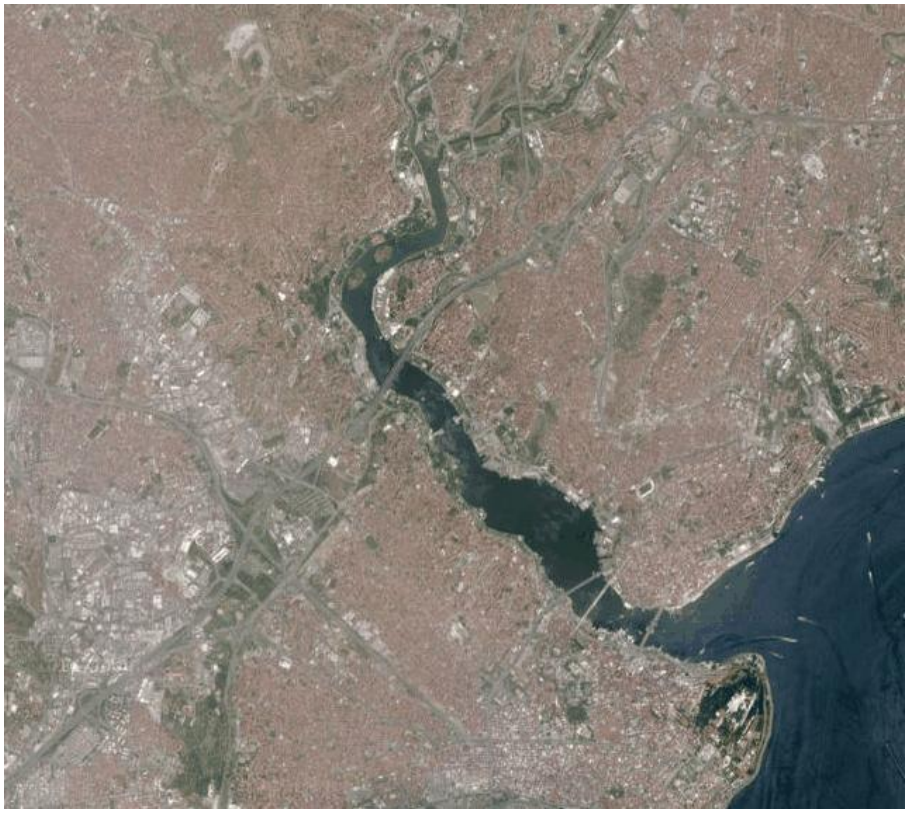
Haliç yüzyıllar boyunca, bölgede var olmuş bütün medeniyetlere tanıklık etmiş ve İstanbul'un en güzel dinlenme ve eğlence yeri olma özelliğini korumuştur. Haliç'in bu kadar önem arz etmesi, çevresindeki toprakların verimliliği, doğal güzelliklere sahip olması, su ürünlerinin bolca yetişmesi, deniz ve kara ulaşımında kolaylık sağlaması, doğal iç liman olması gibi özelliklerinden ileri gelmektedir. İstanbul'un doğal limanı olan Haliç, deniz yolu sayesinde en önemli ticaret merkezlerinden biri olmuştur.

Haliç'te Bizans'ın sarayları, surları, mahzenleri, kapıları, Osmanlı kasırları, köşkleri, imarethaneleri ve hamamlarının yanı sıra, birçok millet ve dinden insanın barındığı tarihi evleri ve üç büyük dinin ibadethaneleri halen bulunmaktadır. Haliç sahip olduğu tarihi dokuyla bir kültürler mozaiği oluşturmaktadır. Haliç İstanbul'un güzellikleri içinde tarih boyunca eşsiz yerini muhafaza etmiştir [1].

1455 yılında Haliç'in kuzey kıyılarında kurulan İstanbul Tersaneleri, zamanın en büyük gemilerini yapabilecek kapasiteye erişmiştir. Haliç'te bulunan, Camialtı ve Taşkızak tersanelerinin yer aldığı bölgedeki İstanbul Tersanesi, o dönemde Gelibolu'dan sonra ülkenin ikinci büyük tersanesiydi. 16. yüzyılın başlarında daha büyük gemilerin inşa edilme zorunluluğu tersaneyi çağın gerisinde kalma riskine sokmuş, sonlarında ise tersanelerde duraklama dönemi başlamıştır. Günümüzde İstanbul'da faaliyet gösteren

tersaneler; Türkiye Gemi Sanayi A.Ş.'ye ait kamu tersaneleri (Haliç ve Camialtı), özel sektör tersaneleri ve Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na ait tersaneler (Pendik ve Taşkızak) olmak üzere üç büyük grup altında toplanmaktadır [26].

Haliç'in toplam uzunluğu 7,5 km'ye yakındır ve şehrin iç kısımlarına bir boynuz gibi kıvrılarak ilerlemesinden dolayı Altın Boynuz da denilmektedir (Şekil 2.5). Haliç, Alibeyköy-Kağıthane'den İstanbul Boğazı'nın Sarayburnu Tophane kıyılarına kadar uzanır. Haliç'in en geniş yeri Cibali ile Kasımpaşa arasında yaklaşık 700 m olup Eyüp hizasında 200 m'dir. Derinliği ise başlangıç kısmında 1-2 m olmasına rağmen Boğaz girişinde 60 m'ye ulaşmaktadır. Yüzey alanı 2.632.000 $m^{2,}$dir. Dibi ise derelerin sürükleyip getirdiği kum ve topraklar yüzünden yoğun bir çamurla örtülüdür [1, 3, 4]. Islah çalışmaları öncesinde iç kısımlarda, yağmur ve derelerden gelen tatlı sular nedeniyle tuzluluk değeri düşük olmakla birlikte, yapılan ıslah çalışmaları neticesinde tatlı su girdilerinde düşüş yaşanmakta ve tuzluluk değerinin arttığı görülmektedir [1]. İç bölgelerdeki çamurun tasfiye edilmesi ve tatlı su girdilerinin azaltılması ile birlikte Haliç genel haliç yapısından biraz uzaklaşmıştır [17].



Şekil 2. 5 Haliç'in uydu görüntüsü [27]

2.6 Haliç'in Kirliliğinin Sebepleri

Haliç'te su ve sediment kirliliğinin başlıca sebepleri; nüfusun hızla artması, plansız sanayileşme ve şehircilik kurallarına uymadan kurulan yerleşme merkezleri olmaktadır. Haliç'in çevresinde yaşayan nüfusun artıkları 200'den fazla irili ufaklı deşarjla Haliç'e akıtılmış ve Haliç'i besleyen Kağıthane ve Alibeyköy derelerinin kenarlarında yer alan endüstri kuruluşları da artıklarını su ortamına deşarj etmiştir. Ayrıca belediyelerin 1980 öncesinde katı atık toplama açısından yetersiz olması nedeniyle, Haliç çevresindeki birçok kuruluş çöplerini doğrudan Haliç'e atarak uzaklaştırmıştır.

Haliç'e bağlı olan Kağıthane ve Alibeyköy'ün 181.600 m^2 ve 192.400 m^2'lik havzalarında oldukça dik meyilli yamaçlar bulunmakla birlikte, yamaçlardaki bitki örtüsü tahribi, havzada mevcut ve açılmakta olan taş, mermer ve tuğla ocakları dolayısıyla moloz ve katı maddelerin kolayca sürüklenmesi ve yağmur suyu drenaj sisteminin bulunmayışı, arazide erozyona sebebiyet vermiştir. Erozyon sonucunda Haliç'e gelen tortu ve artıklar, kirletici kaynağı olmaktan başka, senede 6-10 cm'lik derinlik azalmalarına ve Haliç havza tabanının dolmasına neden olmuştur. Bunların yanında gemi söküm yerlerinde denize atılan atıklar ve çöp dökme yeri olarak kullanılan Habibler Köyü ve Levent Oto Sanayi Sitesinden sızan sular da Haliç'e karışıp ve kirlenmeyi arttırmıştır [28].

Haliç bölgesinde geçtiğimiz yakın tarihlere kadar 700 civarında sanayi tesisi, 2000'den fazla işyeri ve altyapısı bulunmayan konutlar bulunmaktaydı. Kontrolsüzce yapılan atık su deşarjları, Haliç'in sığlaşan ve canlılığını yitiren su kütlesi haline gelmesine neden olmuştur.

Çelik, makine imalat, elektrik-elektronik, boya, lastik, plastik ve ahşap sanayi gibi pek çok sanayi kolunun ürünlerinin, bilimsel ve teknolojik temellere dayalı olarak, belirli bir sistem içerisinde bir araya getirildiği tersaneler, esasta bir montaj endüstrisi olmaktadır. Kötü deniz şartlarından etkilenmemek amacıyla, tersanelerin haliçlere ve nehir ağızlarında tasarlanması da Haliç'te metal kirliliğinin sebeplerinden biri olmaktadır [26].

15. yüzyılın ikinci yarısında inşa edilen Camialtı ve Taşkızak tersaneleri ahşap deniz tekneleri inşa ettiğinden Haliç'i kirletmiyorlardı. Ancak daha sonra metal levhalarla gemi inşaatına geçilmesi, kirliliğin artmasına neden olmuştur. 1998 yılından sonra

tersanelerde imalat durmuş, sadece küçük çaplı bakım onarım işleri yürütüldüğünden, denize deşarjlar bu yıldan sonra olmamıştır [7].

Haliç kıyılarında alanın darlığı toplam boyları yaklaşık 100 m boyunda olan küçük tersane alanlarına izin verebilmiş, bazen kızakta inşaatı süren geminin burun kısmının tersane duvarını aşarak yola doğru uzandığı gözlenmiştir. Ayrıca Haliç'in sürekli dolması deniz suyu derinliğini azaltmış bazen bir kıyıdan denize indirilen gemiler karşı kıyıda çamura saplanmış, güçlü romorkörlerle çamura saplanmaktan kurtarılmıştır. Haliç suyundaki ağır metallerin oluşturduğu yoğun korozif ortam nedeniyle inşa edilen gemilerde ve teçhizatlarında aşırı korozyona sebep olmuş, bazen astar boyasız inşa edilen teknelerin saç kalınlıklarının 1 mm'ye ulaşan kalınlıklarda, büyük pas plakaları halinde döküldüğü görülmüştür. 1973 senesinde İstanbul'da Pendik, Camialtı, Haliç, Hasköy, İstinye, Taşkızak kamu tersaneleri yanında Çeliktrans, Denizcilik Limited Şirketi, Çelik Tekne, Gaye Ltd., Gemi İş ve Anadolu Deniz İnşa Şirketlerinin aktif olduğunu görülmektedir [26].

Oşinografik çalışmalar, Haliç suyunun, giriş kısmı civarındaki Boğaz suyunun özelliklerine çok yakın özellikler taşıdığını göstermiştir. Eski Galata Köprüsü taşınmadan önceki ölçümler, Boğaz'dan giren iki tabakalı suyun Haliç'in karakteristik sıcaklık, tuzluluk ve oksijen içeriğini sağladığını, fakat yüzeydeki 2-3 m'lik kısmın endüstriyel ve evsel atıkları taşıyan yüzey deşarjları nedeniyle önemli ölçüde kirlendiğini göstermektedir. Deşarjlarla giren tuzsuz su, yüzey tabakasının yoğunluğunu kısmen düşürmüş ve kirletici maddeler nedeniyle de oldukça yoğun askıda katı madde taşıyarak güneş ısınlarının ilk 1-2 m'de emilimine sebep olmuştur. Kıyı şeridinde doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi neticesinde; yamaçlarda, Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin havzalarında erozyon artmış, Haliç çamurla dolmuş ve su derinliği yer yer 0,5 m'nin bile altına düşmüştür. Bataklık haline dönüşen Haliç'te, anaerobik çürüme nedeniyle ortaya çıkan pis koku kilometrelerce ötedeki insanları bile rahatsız edecek seviyelere ulaşmıştır [1, 7]. Haliç endüstrileşmeden, nüfusun hızla artmasından, kontrolsüz yapılaşmadan olumsuz yönde etkilenmiş bir bölgedir. Haliç'te çevre ve su kirliliğine neden olan başlıca etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar;

- Evsel kaynaklı atık suların Boğaz'ın ve Haliç'in çeşitli noktalarından kontrolsüzce deşarj edilmesi,

- Evsel kaynaklı atıklar,
- Çevreyi kirletici nitelikte sanayinin düzensiz yerleşimi,
- Endüstriyel atıklar ve atıksular,
- Katı atıklar,
- Çöpler,
- Derelerden ve yamaçlardan gelen süprüntü malzemeleri ve ince materyal taşınımı,
- Erozyon ve sedimantasyon,
- Haliç taban çamuru,
- Haliç'e bağlı derelerden gelen kirleticiler,
- Haliç Havzası'ndan yağışlarla kirletici taşınımı,
- Mezbaha organik atıkları,
- Yer kazanmak için yapılan doldurmalar,
- Gemi, gemi enkazları ve batıkları,
- Gemilerden dökülen sintine ve balast suları,
- Tersane ve gemi söküm yerleri ile deniz motoru ve gemilerin atıkları [1, 4, 7].

Haliç'te plansız ve kontrolsüz şeklide atık üretimine devam edilmesiyle birlikte anoksik sediment birikimi artacak, H_2S kokusu insanları rahatsız edecek derecelere ulaşacak, zararlı bakteriler yüksek konsantrasyonlara ulaşacak, sivrisinekler artacak ve hastalıklar meydana gelecektir [6].

2.7 Haliç'te Alınan ve Alınması Gereken Önlemler

Haliç'te günümüze kadar birçok iyileştirme çalışması yapılmış ve çeşitli projeler uygulanmıştır. 1450'lerde ilk çevre yönetim planı oluşturulmuştur. 1912'de Galata Köprüsü'nün modernizasyonu sağlanmıştır. 1939'da Defterdar bölgesinin sanayileşmesi, 1939-65 arasında ise kıyı kesiminde kentsel gelişim sağlanmıştır. İlk belediye toplantısı 1953'te gerçekleştirilmiştir. 1960'da Sütlüce, 1965'te Hasköy/Alibeyköy, 1974'te ise Eyüp bölgesinin dip taraması gerçekleştirilmiştir. 1974'te Kağıthane bölgesi sanayileşmiş, 1981'de İSKİ kurulmuştur.

1981 yılında Haliç'i kurtarma projesinin yürütülmesi kararlaştırılıp, bu konuda "Haliç Düzenleme Üst Kurulu" oluşturulmuştur. Haliç ile ilgili önlemlerin belirlenmesi ve

devamlılığın sağlanması görevi, "Haliç Çalışma Grubuna" verilmiş, İstanbul Belediyesi, Nazım Plan Bürosu ve Turizm Bakanlığı yetkililerinden oluşan bir gruptan, 1/5000 ölçekli Nazım İmar Planı yapılması istenmiştir. Plan çalışmaları sürerken, Haliç Üst Kurulu projeyi; Haliç'te kirliliğin durdurulması, Haliç'in yeniden düzenlenmesi, Haliç'in temizlenmesi olmak üzere üç ayrı safhada yürütmeyi kararlaştırmıştır. Plan Mayıs 1984'te Belediye Meclis Kararıyla onanmamıştır. Büyükşehir Belediyelerinin Yönetimi hakkında 3030 sayılı yasanın 27.06.1984'de kabulü ile İstanbul Nazım Plan Bürosu Büyükşehir Belediyesi'ne devredilmiş ve Şehir Planlama Müdürlüğü adı altında yeniden kurulmuştur. 1985 yılında onaylanan Haliç Çevre Düzeni Nazım İmar Planı'nda Haliç kıyılarındaki sanayi alanlarının kaldırılarak kamuya açılması ve yeşil alan olarak düzenlenmesi öngörülmüştür. Haliç'in temizlenmesi amacıyla Çerkezköy ve Tuzla'da 600.000 m^2 arsa istimlak edilerek, ilk yıkım çalışmalarına 23 Mayıs 1984 günü başlanmıştır. Haliç'ten 44 mavna 19 batık gemi çıkarılarak, 696 fabrika ve 2020 küçük esnafa ait işyeri yıkılmıştır. Böylece çevrede bir milyon m^2'lik alan açılmış ve bir yandan da bu açılan alanlar yeşillendirilerek, oyun bahçeleri yapılmıştır.

İstanbul İl Bütünü Çevre Düzeni Planı'nda Haliç'e yönelik belirtilen kararlardan, Su Kirliliği başlığı altında;

• Marmara Denizi, Boğazlar ve Haliç'teki su kalitesinin yükseltilmesi ve biyolojik çeşitliliğin arttırması için çalışmaların yapılması,

• Haliç tarihi çevresi ve su yapısı dolayısıyla uluslararası su sporları ve cazibe merkezi haline getirilmesi,

• İstanbul kıyıları ve Haliç'e derelerden materyallerin gelmesini azaltmak için dere havzalarında uygun iyileştirme çalışmalarının yapılması ve buna uygun yapılaşmaya izin verilmesinin planlamalarda göz önünde bulundurulması gerekliliği vurgulanmıştır.

1984 öncesinde alınan plan kararları 1990'lı yıllarda yapılmış olan tüm çalışmalara esas oluşturmuştur. 1990 yılında hazırlanan İstanbul Tarihi Yarımada Koruma Nazım İmar Planı, bu alanın eşsiz tarihi, kültürel ve doğal değerlerinin korunması ve yaşayan bir kentsel alan olarak, gelecekteki gelişmesini, tarihi ve kültürel yönden var olan potansiyelini olumsuz yönde etkilemeyecek biçimde düzenlenerek bu eşsiz yerin, İstanbul, Türkiye hatta dünya insanının yararına sunulması olarak benimsenmiştir.

Planda Haliç'te iki yeni köprü yapılması öngörülmüştür. 1984-1991 tarih aralığında bölgedeki fabrikalar yıkılıp taşınmıştır. 1996'da kanalizasyon altyapısı tahsis edilmiş, 1997-1998 tarihleri arasında genel dip taraması yapılmıştır. 1995 İstanbul Metropoliten Alan Nazım İmar Planı ile genel stratejilerine uygun olarak merkezler kademelenmesi ve metropoliten alan alt bölge bütününde nüfus desantralizasyonunun sağlanabilmesi için kanat çekim merkezleri önerilmiştir. Planda Haliç'e yönelik alınan kararlar şunlardır:

• İstanbul'un kimliği içinde çok önemli yer tutan Boğaziçi, Haliç ve tarihi sur içinin mevcut değerleri ve birbiri ile ilişkileri nedeniyle karma sit alanları olarak tespiti yapılmalı, özel rolleri ve statüleri belirlenmelidir.

• İstanbul tarihi ve kültürel çekirdeğini oluşturan Tarihi Yarımada'nın silueti 40 rakım ile korunacaktır. Haliç, Marmara, Sarayburnu kıyıları ile siluetin üst çizgisi arasında kalan yamaçlar ve silueti taçlandıran külliye ve anıtların çevresi için alt ölçekli planlarda özel yapılaşma şartları getirilecektir.

• Haliç'te koruma anlayışı planlama ve tasarlama yaklaşımı açısından bütüncül bir nitelik taşıyacak olup eski kent dokusuna sahip Cibali-Ayvansaray-Eyüp aksı ve Sadabad gibi tarihi rekreasyon alanları planlarda mevcut dokuları sıhhileştirecek, korunacak alanlardır.

Bu döneme kadar yapılmış planlama çalışmaları her ne kadar Haliç ve çevresi için olumlu etkiler yaratsa da çoğu planlarda alınan kararlar, kentsel gelişmeyi yanlış bir şekilde yönlendirmiştir. Ayrıca tarihi ve doğal güzellikleri koruma anlayışı çerçevesinde ortaya konulan plan kararları, yeterli ölçüde olmamış ve birçok tarihi eser günümüze ulaşamamıştır. Merkezi bölgelerde yapılan desantralizasyon çalışmaları her ne kadar merkezi alan için başarıya ulaşmış olsa da kent çeperlerindeki doğal açıdan nitelikli alanlar olumsuz bir biçimde etkilenmiş ve İstanbul'un kuzeye doğru gelişmesini tetiklemiştir.

2000'de Galata Köprüsü açılmış ve 2001'de kültürel tesisler kurulmuştur. "Kültür-Turizm ve Hizmet Odaklı Projeler" başlığı altında değerlendirilebilecek, "Haliç Turizm Bölgesi", genelde yerleşik alan içerisindeki kentsel sağlıklaştırma/kentsel yenileme/kentsel canlandırma yaklaşımı ile ele alınmıştır. Bu doğrultuda, İstanbul

Büyükşehir Belediyesi ile Deniz Kuvvetleri Komutanlığı arasında yapılan protokol sonucunda, Haliç'teki tersaneler Büyükşehir Belediyesi'ne devredilmiştir. Dolmabahçe Sarayı'ndan başlayıp Santral İstanbul'a kadar uzanan sahil şeridini kapsayan proje alanında Rahmi Koç Müzesi, Miniatürk, Feshane, İstanbul Modern Sanatlar Müzesi ve Sütlüce Kongre ve Kültür Merkezi bulunmaktadır. Uygulamalar tamamlandığında İstanbul'un coğrafyasında ve toplumsal tarihinde önemli yeri olan Haliç'in İstanbul'un kültür turizmine hizmet edecek en önemli bölgelerden biri olacağı öngörülmektedir [6, 25, 28]. Ayrıca Deniz Hizmetleri Müdürlüğü'nün Haliç'in kirliliği ile ilgili görevleri aşağıda yer almaktadır.

- İstanbul genelinde denizlere dökülen derelerin denizlerde meydana getirdiği deniz kirliliğini önlemek veya gidermek, dere ağızlarına birikmiş teressubatı, dip taraması yaparak veya yaptırarak almak veya aldırmak.
- 2872 sayılı Çevre Kanunu uyarınca yürürlüğe konulan yönetmelikler kapsamında Deniz araçlarının atıklarını toplamak, toplattırmak, depolamak, toplanan atıkların bertarafa hazır hale getirilmesi için susuzlaştırma, arıtma ve tortu ayrıştırılması hizmetlerini yapmak veya yaptırmak. Bu hizmetler için gerekli tesisleri kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmek.
- Deniz kıyıları ve plajların karadan veya denizden temizliğini yapmak veya yaptırmak.
- Batmış, terk edilmiş ve yarı batık küçük tonajlı (kayık, balıkçı teknesi, gezi teknesi vb.) teknelerinin çevre kirliliği ve görüntü kirliliğine neden olmamaları için çıkarılması çalışmalarına mevzuat çerçevesinde lojistik destek vermek.
- İstanbul'da deniz ulaşımının yoğun olduğu iskele vb. alanlarda deniz altında biriken çöp vb. atıkları, mevzuat çerçevesinde su altı hizmeti vermek suretiyle çıkartmak veya çıkarttırmak [29].

1950 yıllarından itibaren başlayan kirlenme 1980'den beri süren çalışmalar ile düzeltilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında Haliç kıyılarında dört binden fazla yapı istimlak edilip, iş yerleri şehir dışındaki yeni merkezlere taşınmış, kıyılar park

ve bahçeler ile çevrilmiş, ilk defa inşa edilen dev kanal sistemleri ve kolektörler ile sular temizlenmiştir. Bunların yanı sıra alınması gereken başka önlemlerde tespit edilmiş ve çoğu uygulamaya konulmuştur. Bunlar:

- Haliç'e atıksu girişinin engellenip, İstanbul'un atık sularının biyolojik arıtmadan geçirilmesi,
- Akdeniz'den gelen tuzlu suyun ilerlemesini engellediği için Taşkızak tersanesinin kaldırılması,
- Valide Sultan Köprüsü duba üzerine oturduğu için Akdeniz'den gelen suyun ilerlemesini engellemekte ve pisliğin birikmesine neden olmaktadır. Bu nedenle köprünün kazıkların üzerine yerleştirilmesi veya başka bir yere taşınması [13] ve
- Unkapanı Köprüsü'nün ayak sisteminin yeniden oluşturulması gerekliliğidir [30].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında kullanılan sediment örnekleri Haliç-Sütlüce bölgesinden alınmıştır. Halihazırda İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Deniz Hizmetleri Müdürlüğü bu bölgede erozyon ve kirlilik süprüntülerini temizlemek için Haliç çamuru taraması yapmaktadır. Sediment numuneleri ise bu taramalardan elde edilmiştir. Alınan numuneler en kısa sürede laboratuara ulaştırılmış ve muhafaza edilmiştir.

Ağır metal düzeylerinin belirlenmesi için Haliç sedimentinden alınan numunelerdeki Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, Fe ve Ni konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ve Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile analiz edilmiştir.

3.1 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi

Ağır metaller, partiküler maddelere adsorbe olduğunda, partikül madde ile dibe çökmekte ve sediment yapıda birikmektedirler. Ağır metaller bazı fizikokimyasal koşulların değişimiyle; bitkiler, hayvanlar ve insanlar için potansiyel bir risk oluşturmaktadır.

Sediment yapıdaki metal konsantrasyonları; nehir girdileri, havadaki partiküller ve atık su yoluyla olan girdiler hakkında tarihsel bilgileri de ortaya koymaktadır. Özellikle kıyılarda, nehir ağızlarında ve deniz suyu kalitesinin belirlenmesinde sedimentte yapılan analizler önem taşımaktadır [31].

Sediment yapısındaki ağır metal konsantrasyonlarını tayin edebilmek için analiz öncesinde parçalama ön işlemi yapılması gerekmektedir. Parçalama, organik madde

girişimini azaltmak ve partiküllerdeki metalleri ölçülebilir forma dönüştürmek için kullanılan bir ön işlemdir. Ayrıca mikrodalga ön işlemi, zamanın verimli kullanılması, daha az asit tüketimi ve olabilecek metal kaybını önlemek açısından avantajlar sağlamaktadır [32]. Çalışma kapsamında, parçalama işlemi için HNO_3 (nitrik asit), H_2O_2 (hidrojen peroksit), HCl (hidroklorik asit) ve HF (hidroflorik asit) kullanılmıştır.

Sediment örnekleri, uygun saklama koşullarında laboratuara getirildikten sonra 100 ^{0}C'de, Electro. Mg-M 6040 P marka etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Sediment örnekleri etüvde kurutulduktan sonra, homojen hale gelmesi için havanda öğütülüp, ince elekten geçirilmiştir. Sediment örnekleri için yapılan parçalama ön işleminde farklı oranlarda asitler kullanılmıştır.

Sediment örnekleri; 8 ml HNO_3 (nitrik asit) ve 4 ml H_2O_2 (hidrojen peroksit), 8 ml HNO_3 (nitrik asit) ve 4 ml HCl (hidroklorik asit), 7 ml HNO_3 (nitrik asit) ve 2 ml HF (hidroflorik asit) kullanılarak BERGHOF, Speed Wave MWS-3+ Microwave Digestion System marka mikrodalga ile parçalama ön işlemine tabi tutulmuştur. Ön işlem sonrası elde edilen çözeltiler soğuduktan sonra 0,45 µm gözenek çaplı filtreden süzülerek, analiz için hazır hale getirilmiştir.

ICP-OES, numunedeki elementlerin atomlaştırılıp uyarıldığı, manyetik alanla desteklenmiş, 7000-8000 K gibi yüksek sıcaklıktaki plazma tekniğidir. Plazma gaz halindeki iyon akımı olarak adlandırılmaktadır. ICP tekniğinde, plazma argon gazının hem inert olması hem de kolay iyonlaşabilmesinden dolayı, radyofrekans jenaratörü tarafından oluşturulan manyetik alanla etkinleştirilmesiyle oluşturulur [23]. Kullanılan argon gazının plazmayı oluşturmak, numuneyi sürüklemek ve dışarıdan geçirilerek tüplerin soğumasını sağlamak gibi temel görevleri vardır. Her element kendine özgü enerji düzeylerine bağlı olarak emisyon yapabilecekleri dalga boylarına sahiptir. Dalga boyu ve emisyon şiddeti ölçülerek bir örnekte bulunan elementler ve miktarları saptanabilmektedir. Yapılan analizlere uygun olarak cihazın durumu ayarlanmakta ve standardın konsantrasyonuna uygun dalga boyları seçilerek numunenin yapısına uygun standartlar ile grafik çizilmektedir. Numunelerle analiz gerçekleştirilerek, çizdirilen grafiğe göre her elementin sahip olduğu dalga boyu ile ilişkili olarak mg/L yada mg/kg cinsinden sonuçlar elde edilmektedir.

Çalışmada Perkin-Elmer Optima 2100 DV Model ICP-OES kullanılarak; Zn, Cr, Cu, Pb, Fe ve Ni elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Çizelge 3.1'de ICP-OES ile ağır metal analizi için yapılan ön işlemde kullanılan numune miktarları (gr), kullanılan asitler ve miktarları (mL) ve mikrodalga ile ön işlem öncesi ve sonrası hacimler (mL) yer almaktadır.

Çizelge 3. 1 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile ağır metal analizi için yapılan parçalama ön işlem çalışması

Numune No	**Numune Miktarı (gr)**	**Kullanılan Kimyasallar (mL)**	**Ön İşlem Öncesi Hacim (mL)**	**Ön İşlem Sonrası Hacim (mL)**
A1	0,4019	8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl	12	5,5
A2	0,3995	8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl	12	4
A3	0,3995	8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl	12	4,5
B1	0,4003	8 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2	12	8
B2	0,3994	8 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2	12	7
B3	0,4007	8 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2	12	7,5
C1	0,4012	7 ml HNO_3 ve 2 ml HF	9	6
C2	0,4013	7 ml HNO_3 ve 2 ml HF	9	6
C3	0,4005	7 ml HNO_3 ve 2 ml HF	9	6

3.2 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi

Sediment örnekleri, uygun saklama koşullarında laboratuara getirildikten sonra 100 ^{0}C'de, Electro. Mg-M 6040 P marka etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Sediment örnekleri etüvde kurutulduktan sonra, havanda öğütülüp, ince elekten geçirilmiştir. Sediment örnekleri; farklı oranlarda HNO_3 (nitrik asit) ve H_2O_2 (hidrojen peroksit), HNO_3 (nitrik asit) ve HCl (hidroklorik asit), HNO (nitrik asit) ve HF (hidroflorik asit) kullanılarak BERGHOF, Speed Wave MWS-3+ Microwave Digestion System marka mikrodalga ile parçalama ön işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikrodalga ile parçalama ön işlemine tabi tutulması, organik madde girişimini azaltmak ve sedimente bağlı ağır metalleri AAS ile tespit edilir forma dönüştürmek içindir. Ön işlem sonrası elde edilen çözeltiler soğuduktan sonra 0,45 µm gözenek çaplı filtreden süzülerek, AAS

ile analiz için hazır hale getirilmiştir. AAS'de metot olarak Standart Metot 3111 B. Direkt Hava-Asetilen Flame Method, yöntem olarak ise Spektrofotometrik Yöntem kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de AAS ile ağır metal analizi için ön işlemde kullanılan etüvde kurutulmuş ve elekten geçirilmiş sediment miktarları (gr), kullanılan asitler ve oransal miktarları (mL) ve mikrodalga ile ön işlem sonrası hacimler (mL) yer almaktadır.

Çizelge 3. 2 Atomik Absorbsiyon Spektrofometresi (AAS) ile ağır metal analizi için yapılan parçalama ön işlem çalışması

Numune No	**Numune Miktarı (gr)**	**Kullanılan Kimyasallar (*7, mL)**	**Ön İşlem Sonrası Hacim (mL)**
1	1,4	9 ml HNO_3 ve 2 ml H_2O_2	55
2	0,7	7 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2	56,5
3	2,8	8 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2	69,5
4	2,8	8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl	35
5	1,4	9 ml HNO_3 ve 2 ml H_2O_2	17
6	0,7	9 ml HNO_3 ve 3 ml HCl	59
7	1,4	8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl	60
8	2,8	7 ml HNO_3 ve 2 ml HF	50
9	2,1	9 ml HNO_3 ve 3 ml H_2O_2	63
10	2,1	9 ml HNO_3 ve 3 ml HCl	57
11	0,4	8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl	3,75
12	0,4	8 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2	6,375
13	0,4	7 ml HNO_3 ve 2 ml HF	5,375

AAS ile Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, Fe ve Ni elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi Sonuçları

ICP-OES ile elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının; ölçüm aralığı, ortalama ve standart sapma değerleri (mg/kg) Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'te yer almaktadır.

Çizelge 4. 1 Ön işlemde 8 ml HNO_3 ve 4 ml HCl kullanılarak yapılan analizde elde edilen ağır metal konsantrasyonları (n=3*)

mg/kg	Ölçüm Aralığı	Ortalama Değerler	Standart Sapma Değerleri
Zn	43,07 - 61,22	50,71	9,41
Cr	18,10 - 26,82	21,74	4,54
Cu	42,92 - 63,61	51,22	10,93
Pb	4,588 - 6,628	5,401	1,081
Fe	6264 - 9536	7789	1647
Ni	5,862 - 8,460	6,928	1,360

Çizelge 4. 2 Ön işlemde 8 ml HNO_3 ve 4 ml H_2O_2 kullanılarak yapılan analizde elde edilen ağır metal konsantrasyonları (n=3*)

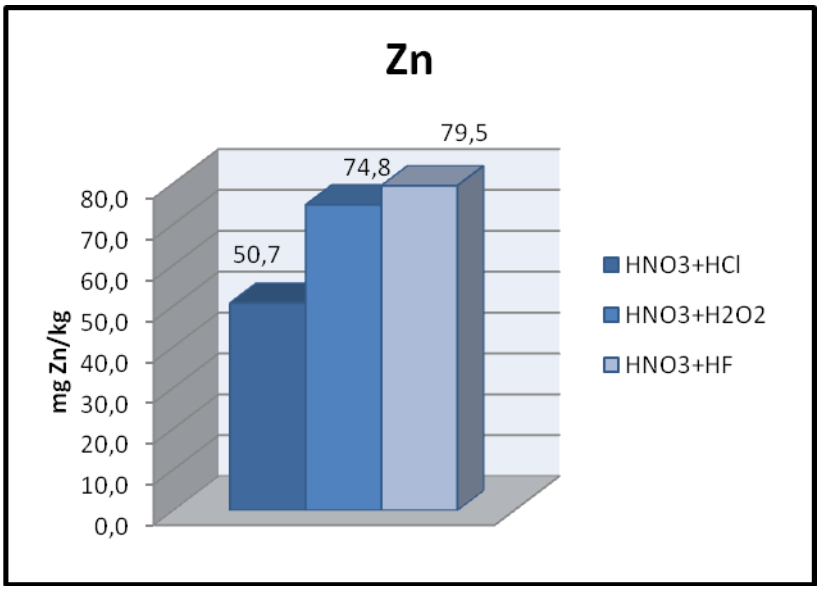
mg/kg	Ölçüm Aralığı	Ortalama Değerler	Standart Sapma Değerleri
Zn	69,96 - 84,26	74,77	8,22
Cr	30,30 - 36,01	32,46	3,10
Cu	79,32 - 84,92	85,60	6,65
Pb	6,645 - 8,070	7,176	0,779
Fe	11610 - 13680	12430	1099
Ni	9,655 - 11,320	10,345	0,868

Çizelge 4. 3 Ön işlemde 7 ml HNO_3 ve 2 ml HF kullanılarak yapılan analizde elde edilen ağır metal konsantrasyonları (n=3*)

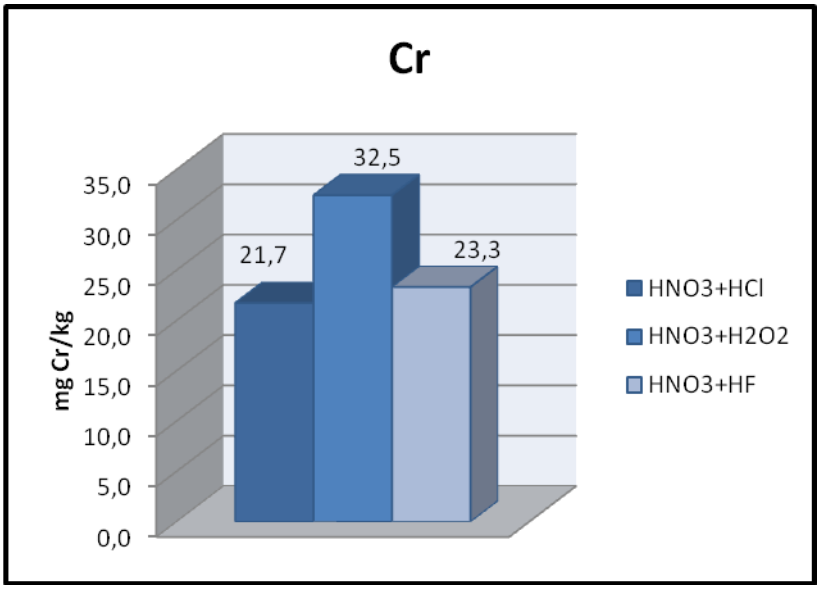
mg/kg	Ölçüm Aralığı	Ortalama Değerler	Standart Sapma Değerleri
Zn	68,81 - 89,62	79,46	10,41
Cr	22,58 - 23,71	23,32	0,64
Cu	85,26 - 92,04	88,84	3,41
Pb	6,370 - 6,799	6,622	0,224
Fe	2028 - 2193	2131	89
Ni	12,21 - 12,96	12,663	0,399

*Her bir analiz için 3 paralel örnek ile çalışılmıştır ve sonuçlar ortalama değer olarak verilmiştir.

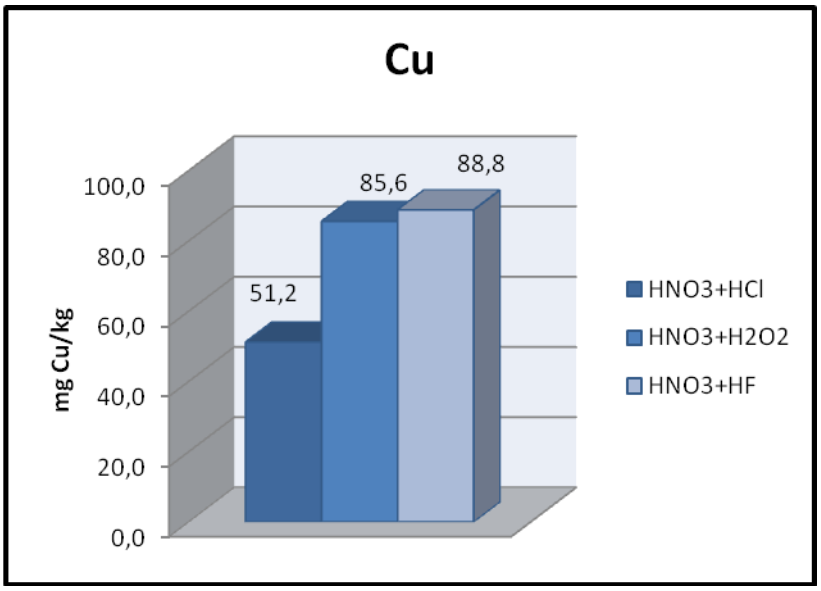
ICP-OES ile analiz edilen sediment örneklerinin ortalama ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.1 ve Şekil 4.6 arasında yer almaktadır.



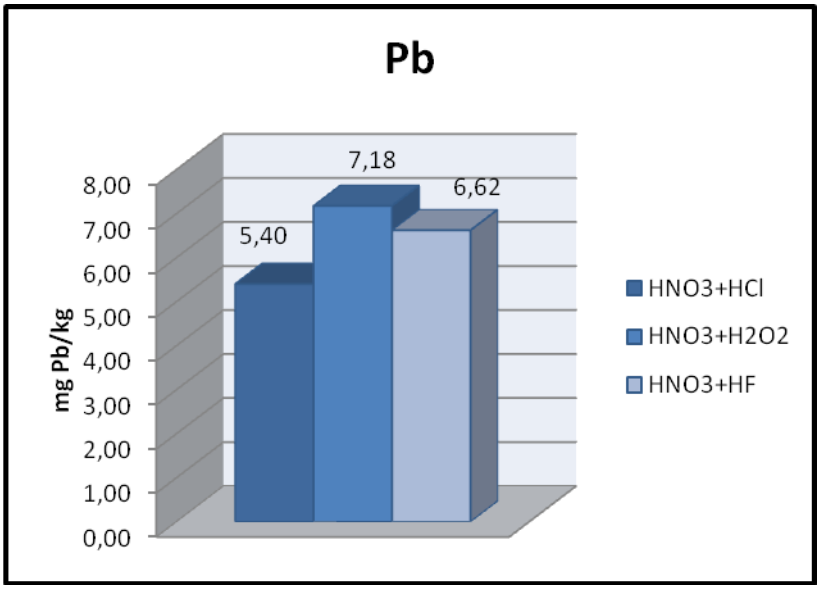
Şekil 4. 1 ICP-OES ile elde edilen ortalama Zn konsantrasyonları (mg/kg)



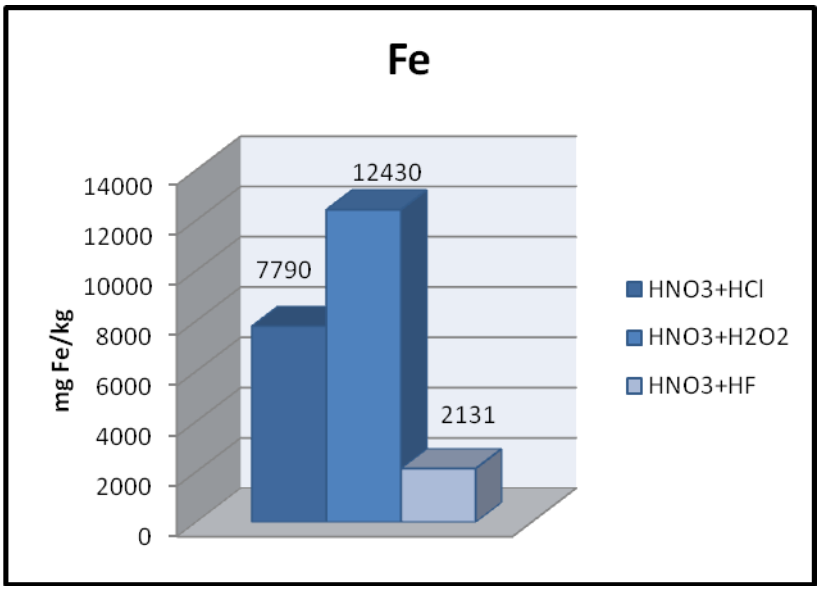
Şekil 4. 2 ICP-OES ile elde edilen ortalama Cr konsantrasyonları (mg/kg)



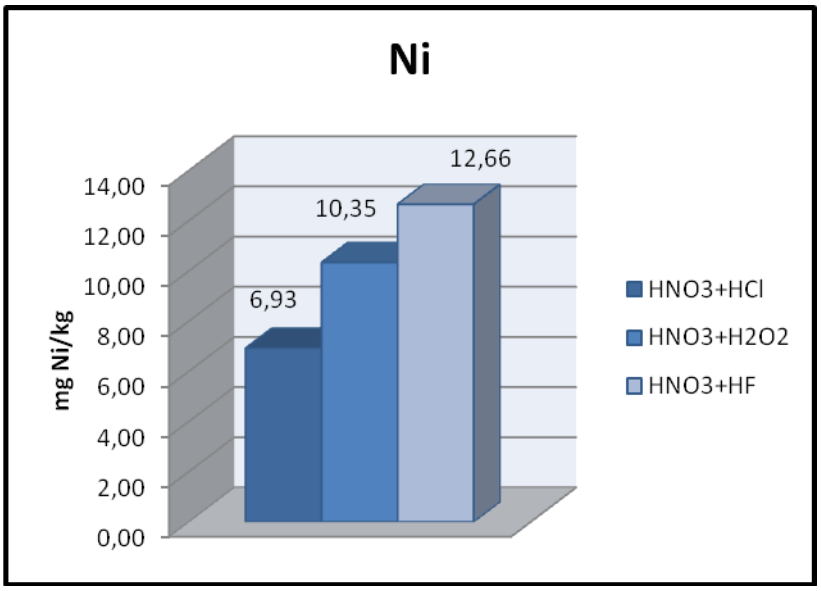
Şekil 4. 3 ICP-OES ile elde edilen ortalama Cu konsantrasyonları (mg/kg)



Şekil 4. 4 ICP-OES ile elde edilen ortalama Pb konsantrasyonları (mg/kg)



Şekil 4. 5 ICP-OES ile elde edilen ortalama Fe konsantrasyonları (mg/kg)



Şekil 4. 6 ICP-OES ile elde edilen ortalama Ni konsantrasyonları (mg/kg)

4.2 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile Sedimentte Ağır Metal Analizi Sonuçları

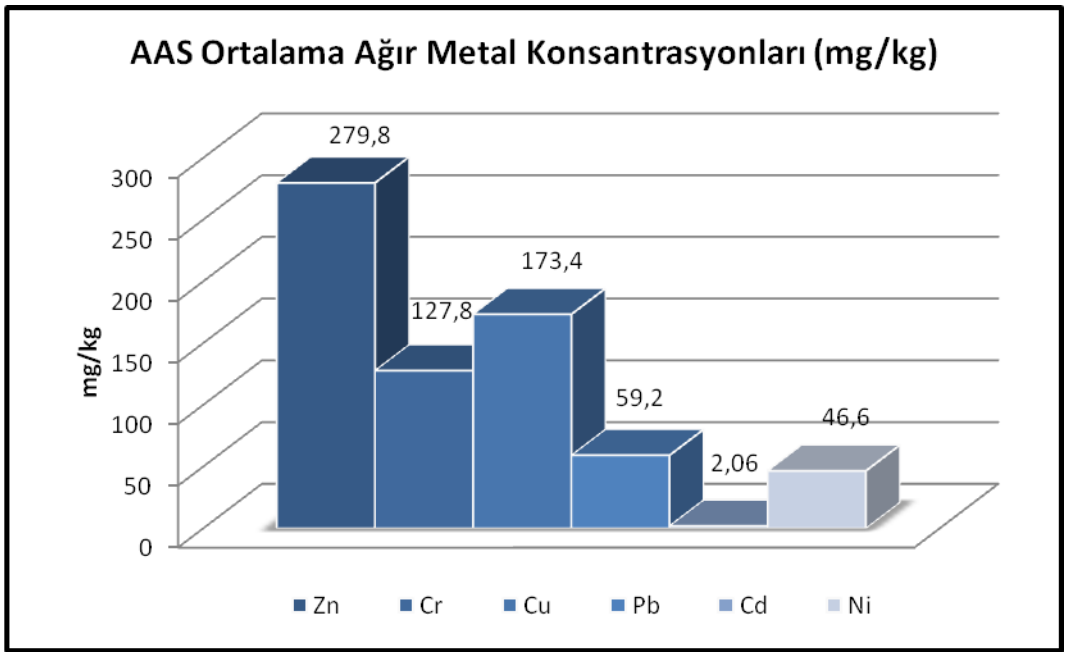
Haliç sedimentinden alınan örneklerde AAS ile ölçülen ağır metal düzeylerinin ölçüm aralığı, ortalama ve standart sapma değerleri mg/kg olarak Çizelge 4.5'te yer almaktadır.

Çizelge 4. 4 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile elde edilen ağır metal konsantrasyonları (mg/kg) (n=7*)

mg/kg	Ölçüm Aralığı	Ortalama Değerleri	Standart Sapma Değerleri
Zn	102,97 - 388,14	279,83	89,71
Cr	40,10 - 365,80	127,81	90,38
Cu	53,91 - 316,05	173,37	84,66
Pb	25,16 - 89,40	59,19	22,53
Cd	0,874 - 3,086	2,061	0,847
Fe	8020 - 17828	14898	3388
Ni	26,55 - 61,34	46,60	12,88

*Her bir analiz için 7 paralel örnek ile çalışılmıştır ve sonuçlar ortalama değer olarak verilmiştir.

Şekil 4.7'de ise AAS ile yapılan analizle elde edilen ortalama ağır metal konsantrasyonları mg/kg olarak yer almaktadır.



Şekil 4. 7 AAS ile elde edilen ortalama Zn, Cr, Cu, Pb, Cd ve Ni konsantrasyonları (mg/kg)

4.3 Sedimentte Bulunan Ağır Metal Konsantrasyon Değerlerinin Standartlarla ve Literatür ile Karşılaştırılması

Literatürdeki çalışmalarda su ekosistem kalitesinin metal konsantrasyonları ile ilişkisini gösteren değerler bulunmuştur. Bu çalışmalarda hangi metal değerinin hangi seviyelerde olması gerektiği verilmiştir. Belirtilen bu konsantrasyonların aşılması durumunda ekosistem ortamındaki canlılar zararlı etki görmeye başlamaktadır. Bu değerler; eşik etki düzeyi, en düşük etki düzeyi, minimal etki eşik düzeyi, düşük etki aralığı, olası etki düzeyi, yüksek etki düzeyi, toksik etki eşiği ve orta etki aralığı gibi parametreler olarak tanımlanmıştır (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

Demir; fitoplanktonlar, makro algler vb. fotosentez yapan canlılar tarafından kullanıldıkları için kirlilik parametresi olarak sediment kalitesinde gösterge olarak dikkate alınmamaktadır [21].

Çizelge 4. 5 Temiz su ekosistemindeki metaller için sediment kalitesini gösteren TEC değerleri (bu değerlerin altında zararlı etkiler gözlenmesi olası değildir) [33]

Element (mg/kg kuru ağırlık)	**Eşik Etki Seviyesi Konsantrasyonları***						**Analiz Sonuçları**	
	TEL	**LEL**	**MET**	**ERL**	**TEL-HA28**	**TEC**	**AAS**	**ICP-OES**
Çinko (Zn)	123	120	150	120	98	121	**279,8**	68,3
Krom (Cr)	37,3	26	55	80	36	43,4	**127,8**	25,8
Bakır (Cu)	35,7	16	28	70	28	31,6	**173,4**	**75,2**
Kurşun (Pb)	35	31	42	35	37	35,8	**59,2**	6,4
Kadmiyum (Cd)	0,596	0,6	0,9	5	0,58	0,99	**2,06**	-
Nikel (Ni)	18	16	35	30	20	22,7	**46,6**	10

*TEL: Eşik etki düzeyi, kuru ağırlık

LEL: En düşük etki düzeyi, kuru ağırlık

MET: Minimal etki eşik düzeyi, kuru ağırlık

ERL: Düşük etki aralığı, kuru ağırlık

TEL-HA28: Hyalella Azteca için eşik etki düzeyi, 28 gün testi, kuru ağırlık

Çizelge 4. 6 Temiz su ekosistemindeki metaller için sediment kalitesini gösteren PEC değerleri (bu değerlerin üstünde zararlı etkiler gözlenmesi olasıdır) [33]

Element (mg/kg kuru ağırlık)	**Olası Etki Seviyesi Konsantrasyonları***						**Analiz Sonuçları**	
	PEL	**SEL**	**TET**	**ERM**	**PEL-HA28**	**PEC**	**AAS**	**ICP-OES**
Çinko (Zn)	315	820	540	270	540	459	279,8	68,3
Krom (Cr)	90	110	100	145	120	111	**127,8**	25,8
Bakır (Cu)	197	110	86	390	100	149	**173,4**	75,2
Kurşun (Pb)	91,3	250	170	110	82	128	59,2	6,4
Kadmiyum (Cd)	3,53	10	3	9	3,2	4,98	2,06	-
Nikel (Ni)	36	75	61	50	33	48,6	46,6	10

*PEL: Olası etki düzeyi, kuru ağırlık

SEL: Yüksek etki düzeyi, kuru ağırlık

TET: Toksik etki eşiği, kuru ağırlık

ERM: Orta etki aralığı, kuru ağırlık

PEL-HA28: Hyalella Azteca için olası etki düzeyi, 28 gün testi, kuru ağırlık

Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de bazı bölgelerdeki çalışmalarda uygulanan metal konsantrasyonlarının ekosistem üzerindeki etki değerleri verilmiştir. AAS ile yapılan analiz sonucunda elde edilen Krom (Cr) ve Bakır (Cu) konsantrasyonları, sediment kalite sınır değerleri ile karşılaştırıldığında toksik etki düzeyini aşmaktadır ve TEC (Eşik Etki Seviyesi) ile PEC (Olası Etki Seviyesi)'in üzerinde olmaktadır. ICP-OES ile yapılan analizlerde ise Bakır (Cu) konsantrasyonu orta düzeyde kirlenmiş düzeyi temsil etmektedir ve TEC (Eşik Etki Seviyesi) ile PEC (Olası Etki Seviyesi)'in arasında kalmaktadır.

Çizelge 4.9'da ise Marmara Bölgesi'nde yapılmış çalışmalara ait ağır metal değerleri listelenmiştir. Çalışmalarda görüldüğü gibi Çinko (Zn) metali 10,7-8750 mg/kg; Krom (Cr) 4,73-485 mg/kg; Bakır (Cu) 3,45-3900 mg/kg; Kurşun (Pb) 3,13-702 mg/kg; Kadmiyum (Cd) <0,02-2,04 mg/kg; Demir (Fe) 5956-55100 mg/kg ve Nikel (Ni) 20,53-90 mg/kg aralığında değişmektedir. Bu değerler çalışmamızla karşılaştırıldığında Kadmiyum (Cd; 2,1 mg/kg) dışındaki metallerin, daha önce çalışılan ağır metal konsantrasyonlarından daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 7 Sediment kalite sınır değerleri [34]

	Sediment kalite koruma sınır değerleri, Ontario (Persaud *et al* ., 1993)			Lawrence Nehri sedimentinin değerlendirilmesi için geçici kriterler (EC and MOE, 1992)			Geçici sediment kalite değerlendirme değerleri (EC, 1994)		Liman sedimentlerinin kalite sınır değerleri (EPA, 1977)			Temiz su sediment kalite sınır değerleri (New York DEC, 1994)		
mg/kg kuru ağırlık	Etkisiz	Orta Düzeyde Kirlenmiş	Toksik Etki Düzeyi	Etkisiz	Orta Düzeyde Kirlenmiş	Toksik Etki Düzeyi	TEC*	PEC*	Etkisiz	Orta Düzeyde Kirlenmiş	Toksik Etki Düzeyi	Etkisiz	Orta Düzeyde Kirlenmiş	Toksik Etki Düzeyi
Zn	-	120	820	100	150	540	123.1	314.8	< 90	90-200	> 200	-	-	-
Cr	-	26	110	55	55	100	37.3	90	< 25	25-75	>75	-	-	-
Cu	-	16	110	28	28	86	35.7	196.6	< 25	25-50	>50	< 16	16 -110	> 110
Pb	-	31	250	23	42	170	35	91.3	< 40	40- 60	>60	< 30	30 - 100	> 100
Cd	-	0,6	10	0,2	0,9	3	0,596	3,53	-	-	>6	<0,6	0,6-10	>6
Fe %	-	2	4	-	-	-	-	-	< 1.7	1.7-2.5	> 2.5	-	-	-
Ni	-	16	75	35	35	61	18	35.9	< 20	20-50	>50	-	-	-

*TEC: Eşik etki seviyesi ve PEC: Olası etki seviyesi

Çizelge 4. 8 Sediment kalite sınır değerleri (devamı)

	Deniz sediman kalitesinin belirlenmesindeki değer aralığı (mg/kg, kuru ağırlık) [2]		Temiz su sediman kalitesinin belirlenmesindeki değer aralığı (mg/kg, kuru ağırlık) [2]		TEC (eşik etki seviyesi) ve PEC (olası etki seviyesi) metal konsantrasyonları (mg/kg, kuru ağırlık) [14]		Sediman kalite kriterleri (mg/kg, kuru ağırlık) [20]			Ağır metaller için deniz ve haliç sedimanlarında düşük ve orta etki aralığı yönetmelik değerleri (mg/kg, kuru ağırlık) [35]		Yerkabuğundaki ortalama değerleri (mg/kg, kuru ağırlık) [36]	Ortalama sediment değeri (mg/kg, kuru ağırlık) [36]
mg/kg dry	TEC	PEC	TEC	PEC	TEC	PEC	LEL	TEL	MET	TEC	PEC	-	-
Zn	124	271	123.1	314.8	121	459	120	123	150	150	410	71	65
Cr	52.3	160	37.3	90	43.4	111	26	37.3	55	81	370	35	74
Cu	18.7	108	35.7	196.6	31.6	149	16	35.7	28	34	270	25	40
Pb	30.2	112	-	-	35.8	128	31	35	42	46.7	218	20	17
Cd	0,676	4,21	0,596	3,53	0,99	4,98	0,6	0,596	0,9	1,2	9,6	0,098	-
Fe %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35000	40000
Ni	15.9	42.8	18	0.359	22.7	48.6	16	18	35	20.9	51.6	20	40

*TEC: Eşik etki seviyesi, PEC: Olası etki seviyesi, TEL: Eşik etki değeri, LEL: En düşük etki değeri ve MET: Minimal etki eşik değeri

Çizelge 4. 9 Tez çalışması ile literatür verilerinin karşılaştırılması

Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Referans
68,3	25,8	75,2	6,4	-	7450	10	Analiz sonuçları (ICP-OES)
279,8	127,8	173,4	59,2	2,1	14898	46,6	Analiz sonuçları (AAS)
-	86-134	77 - 149	22 - 76	0,15-0,74	% 3.39 - 5.35	-	Yüzey sedimentinde ortalama aralık [1]
-	100	50	20	0,3	%4.7	-	Şeyl ortalama değeri [1]
-	300	417	203	67	%5	-	(2001) [1]
-	117	131	81	2,04	%2.7	-	(2003) [1]
890	390	194	510	6	55100	90	(Yüzey) [5]
128	84	274	420	1,25	41700	54	(Dip) [5]
450 -8750	242 - 485	297-3900	124 - 702	-	%26 - 38	84 - 167	(Haliç sediment) [18]
39,3 – 793,1	19,5 – 300,3	16,9 – 724,7	10,5 – 260,9	-	-	-	(<63µm) [31]
10,7 – 241,2	4,73 – 52,81	3,45 – 481,87	3,13 – 174,67	-	-	-	(>63µm) [31]
614,1	222	476,8	94,9	-	-	-	(Balat) [31]
584,7	141,2	522,8	152,2	-	-	-	(Unkapanı) [31]
147,4	29,5	68	47,8	1,82	-	-	(Kabataş) [31]
18,9	11,2	12,1	5.8	2,03	-	-	(Tarabya) [31]
82,9	12,3	56,8	17,1	1,13	-	-	(R. Kavağı) [31]
78	14,6	-	-	-	3,76	-	(Garipçe) [37]
119,5	75,1	-	-	-	1,52	-	(R. Feneri) [37]
40,7	11,2	-	-	-	1,59	-	(Poyraz) [37]
43,6	61,54	12,7	22,7	<0,02	14896	53,88	(Şarköy) [38]
34,1	27,21	30,6	31,9	<0,02	5956	20,53	(M. Ereğli) [38]
50,9	54,50	16,8	21,6	0,5	11875	41,30	(Menekşe) [38]
389	123	154	70	-	28714	46	(Marmara) [39]
640	304	520	168	-	29775	74	(Valide Sultan Köprüsü) [39]
434	126	230	63	-	30450	54	(Eyüp) [39]
284	83	124	47	-	27525	49	(Adalar Sonrası) [39]

Denizel ortama çeşitli faktörlerin etkisi altında giren ağır metaller sedimentlerin ince tane boyu fraksiyonlarında birikme eğilimi gösterirler. Sedimentlerde tane boyu küçüldükçe buna bağlı olarak yüzey alanı, yüzey yükü, organik karbon içeriği gibi özellikler artmaktadır [1]. Bu nedenle çapı küçük olan sediment yapıda ağır metal konsantrasyonu daha fazla olmaktadır. Ayrıca, yüzey sedimentin ağır metal içeriğinin dip sedimentinden daha fazla olduğu görülmektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların oluşturduğu kirlenme, özellikle körfez ve Haliç yapılarında kirliliğe neden olmaktadır [40]. Marmara bölgesinde ve Haliç'te yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gib ağır metal derişimlerinin kıyı bölgelerde, iç körfezlerde ve kapalı denizlerde; açık denizlere, orta ve dış körfezlere göre daha fazla olduğu açıktır (Çizelge 4.9). Yapılan diğer çalışmalar ile Haliç-Sütlüce bölgesinden alınan sediment örneklerinin ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında, rehabilitasyon çalışmalarının olumlu sonuç verdiği görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Haliçler genellikle insanların sosyalleşmek için kullandıkları, balık tuttukları ve su sporları yaptıkları alanlardır. Ayrıca su canlılarının yaşamlarını sürdürdükleri, besinlerini sağladıkları ve üredikleri su alanlarıdır. Bu derecede önemli bir alanın su kalitesinin tespit edilmesi canlı hayatı, çevre ve insan sağlığı açısından önem arz etmektedir.

Metal konsantrasyonlarının sudaki ve sedimentteki değerlerinin artması, besin zinciri yoluyla metallerin insan bünyesine daha rahat bir şekilde taşınabileceğini göstermektedir. Ağır metaller, organik maddeler gibi kimyasal ya da biyolojik yollar vasıtasıyla parçalanamamaktadır. Besin zincirine ulaşan ağır metaller, kimyasal ve biyolojik olarak bünyeden atılmayıp birikmesine rağmen, canlı organizmalarda; toprak, hava veya sularda rastlanan konsantrasyonlardan çok daha yüksek ağır metal değerlerine ulaşılsa dahi, çok nadir olarak hayvan ve insanlarda sağlık riski doğuracak ağır metal birikim sınırına ulaşılabilmektedir. Metallerin toksik etki göstermesi sadece metal konsantrasyonuna bağlı olmamakla birlikte, canlı türüne ve metal iyonunun yapısına da bağlı olmaktadır (çözünürlük değeri, kimyasal yapısı, redoks ve kompleks oluşturma yeteneği, vücuda alınış şekli, çevrede bulunma sıklığı, lokal pH değeri vb.).

Sediment, kirleticilerin birikim yapabildiği ve kolaylıkla taşınabildiği yapılardır. Bu nedenle ağır metal analizlerinde toksik maddelerin takibinin yapılması sediment analizleriyle sağlanabilmektedir. Sedimentler su kalitesinin kirlilik tarihi hakkında bilgileri yapısında bulundurduğu için kirlilik indikatörü olarak da kabul edilmektedir. Metal konsantrasyonu canlılar için faydalı olsun ya da olmasın yüksek düzeylerde ise toksik etki göstermektedir.

Kirletici kaynağının belirlenmesi, bölgedeki sediment yapısında kirletici dağılımının belirlenmesi, sedimentin davranışı, kirleticilerin dayanıklılığının belirlenmesi, faz geçişlerinde kirleticilerin sucul hayatı nasıl etkileyeceği, sucul ortamdaki organizmaların sediment kirliliğinden nasıl etkileneceği ve besin zinciri yoluyla kirleticinin nasıl bir yol izleyeceği iyi bir şekilde analiz edilirse alınabilecek önlemlerin belirlenmesi sağlanabilir.

Çevresel koruma ve sucul hayatın canlılığını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi için tatlı su, deniz ve haliç sedimentleri analizinde, ulusal sediment kalite kriterleri gerekmekte ve bu kalite kriterleri her bir kirletici için konsantrasyon değerlerini belirtmelidir. Sedimette ağır metal birikimi, iyileştirme çalışmalarında yarar sağlıyor gibi gözükse de sedimentten tekrar suya geçiş yapması ile su kalitesi bozulmaktadır. Bu nedenle çalışmalarda su ve sediment kalitesinin paralel olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Ayrıca sedimentte mevcut olan kirlilik seviyesi belirleme çalışmalarında, sediment ve su analizlerinin yanı sıra biyolojik testlerinde yapılması gerekmektedir.

İstanbul için Haliç kirliliği önemli bir çevresel sorundur. Yapılan çalışma ile rehabilitasyon çalışmaları sonrası Haliç'te ki mevcut durumun değişimi ve Haliç'e yapılan düzensiz deşarjların, gemi trafiğinin ve diğer kirleticilerin Haliç'in mevcut metal kirliliğine olan katkılarının ortaya konulması amacıyla Haliç sedimentindeki ağır metal düzeyleri incelenmiştir.

ICP-OES ile yapılan analiz sonucunda Bakır (Cu) konsantrasyonu TEC (Eşik Etki Seviyesi) değerlerini aşmakta ve TEC (Eşik Etki Seviyesi) ile PEC (Olası Etki Seviyesi) arasında olmaktadır. TEC ve PEC değerlerinin arasındaki konsantrasyonlarda zaman zaman kötü etkiler göstereceği kabul edilmektedir. Diğer değerler ise TEC'in altında kalmaktadır. TEC'in altında kötü etkilerin görünmesinin ender olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca analiz yapılan tüm numuneler PEC'in altında kalmaktadır.

ICP-OES analiz sonuçlarından elde edilen metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında sedimentteki düzeyleri sırasıyla Fe>Cu>Zn>Cr>Ni>Pb (mg/kg) şeklinde olmaktadır.

AAS ile yapılan analiz sonucunda ise analizi yapılan tüm ağır metal konsantrasyonları TEC değerlerini aşmaktadır. Analizi yapılan Krom (Cr) ve Bakır (Cu) konsantrasyonu ise PEC'i aşmaktadır. Olası etki seviyesi, bu konsantrasyon üzerinde kötü etkilerin görünmesinin sıklıkla olacağını ifade etmektedir.

AAS analiz sonuçlarından elde edilen metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında sedimentteki düzeyleri sırasıyla Fe>Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>Cd (mg/kg) şeklinde olmaktadır.

Çalışmamızda elde edilen değerler literatürdeki bulgularla karşılaştırıldığında; yapılan dip kazıma çalışmaları, atık su girişini önlemek için döşenen kanallar, atık su arıtma tesislerinin kurulması ve mevcut fabrikaların kapatılması ile sediment yapıdaki ağır metal düzeylerinde iyileşmenin sağlandığı söylenebilir. Fakat Haliç'teki gibi deniz su ortamına kirletici girişi azaltılsa veya önlense dahi sedimentte konsantre hale gelebilen kirleticiler uzun yıllar sediment yapıda varlığını sürdürebilmektedir ve bu bölgede yaşayan canlılardaki ağır metal kirliliğinin azalması zaman alacaktır.

Haliç'te mevcut kirliliğe engel olmak amacıyla karadan, havadan ve su kollarıyla bağlantı sağlayan tüm kontrolsüz girdiler belirlenerek engellenmelidir. Haliç havzasında ve çevresinde bulunan endüstri kuruluşlarının deşarjlarını kaçak olarak yapmaları düzenli denetimlerle engellenmeli ve arıtma tesislerinin çıktılarının deşarj standartlarına uyup uymadığı kontrol edilmelidir. Alibeyköy ve Kağıthane derelerinden gelen partikül maddeleri azaltmak için ıslah çalışmaları yürütülerek, Haliç taban seviyesinin yükselmesi ve tabanda anaerobik yaşamın oluşması önlenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Erşan, M. S., (2008). Haliç'te Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.

[2] Bakan, G., (2000). "Çevre Sedimantolojisi ve Sediman Kalite Kriter Çalışmaları", Çevre Bilim & Teknoloji, 1(1): 14-23.

[3] Önem, A. B. ve Kılınçaslan, İ., (2005). "Haliç Bölgesinde Çevre Algılama ve Kentsel Kimlik", İtüdergisi/a, Mimarlık, Planlama ve Tasarım, 4(1): 115-125.

[4] Aydın, Z. S., (1994). "The Characteristics and Refuse of Golden Horn Surface Sediment", Master of Science, Environmental Sciences in Boğaziçi University, İstanbul.

[5] Tuncer, G., Tuncel, G. ve Balkas, T. I., (2001). "Evolution of Metal Pollution in the Golden Horn (Turkey) Sediments Between 1912 and 1987", Marine Pollution Bulletin, 5: 350-360.

[6] Coleman, H. M., Kanat, G. ve Türkdoğan, İ., (2009). "Restoration of the Golden Horn Estuary (Halic)", 43: 4989-5003.

[7] Sarıkaya, Ö. V., (2006). Ikonos Uydu Görüntüsüyle Haliç'te Su Kalitesi Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] Gönüllü, M. T., Avşar, Y., Apaydın, Ö., Bayhan, H. ve Kurt, U., (2006). "Recent Years Status of Sediment Bed of Golden Horn (Istanbul) After Year 1999", Environmental Monitoring and Assessment, 121: 561-569.

[9] İSKİ, İstanbul, http://www.eurometrex.org/Docs/Activities/Istanbul/ISKI-SUNUM-Water-Management.pdf, 4 Kasım 2015.

[10] Albayrak, S., Balkıs, N., Zenetos, A., Kurun, A., Karhan, S. Ü., Çağlar, S. ve Balcı, M., (2010). "Golden Horn Estuary: Description of the ecosystem and an attempt to assess its ecological quality status using various classification metric", Mediterranean Marine Science, 11(2): 295-313.

[11] T.C. Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (25687), 31.12.2004, 1-4.

[12] Uslu, O. ve Türkman, A., (1987). Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi Yayınları, Ankara.

[13] Karpuzcu, M., (1994). Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Dördüncü Baskı, Kubbealtı Neşriyatı, İstanbul.

[14] Bakan, G. ve Arıman, S., (2011). "Orta Karadeniz Kıyı Şeridi Sedimanlarında Ağır Metal Kirliliğinin Oluşturduğu Çevresel Risklerin Belirlenmesi", TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 5-8 Ekim 2011, Samsun.

[15] Kılıç, Ö., (2010). İstanbul Boğazı ve Haliç Biyota ve Sedimentinde Radyonüklid Analizi, Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[16] Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M. N. ve Sarı, E., (2004). "The Sources of Metal Contents in the Shelf Sediments from the Marmara Sea, Turkey", Environmental Geology, 46: 932–950.

[17] Müftüoğlu, A. E., (2008). Marmara Denizi Haliç ve Körfezleri'nin Hidrodinamik Yapısı, Doktora Tezi, İÜ Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.

[18] Dural, M., (2004). Çukurova Bölgesindeki Akyatan, Tuzla ve Çamlık Lagünlerinde (Adana/Türkiye) Ağır Metal Araştırması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

[19] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., Metallerin Çevresel Etkileri - I, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, http://www.academia.edu/6988006/Metallerin_%C3%87evresel_Etkileri_-I, 20 Mayıs 2015.

[20] Arslan, N., Tokatlı, C., Çiçek, A. ve Köse, E., (2011). "Determination of Some Metal Concentrations in Water and Sediment Samples in Yedigöller Region (Kütahya)", Review of Hydrobiology, 4 (1): 17-28.

[21] Erçal, E., (2007). Kuzey Kıbrıs Güzelyurt, Girne ve Mağusa Körfezlerinde Ağır Metal Kirliliğinin İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[22] Bayrak, G., (2004). Gala Gölü ve Çevresinde Ağır Metal Derişiminin Dinamiği, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

[23] Yıldız, S., (2004). Konya Ana Tahliye Kanalında Ağır Metal Kirliliğinin ICP-AES Tekniği ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[24] Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. ve Timur, S., Metallerin Çevresel Etkileri - II, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_4651.pdf, 20 Mayıs 2015.

[25] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Haliç Havzası, http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem_istanbul/pi_00038.pdf, 27 Haziran 2015.

[26] Koncavar, M., (2001). "İstanbul'un Tersaneleri", TMH (Türkiye Mühendislik Haberleri) Kentleşme ve İstanbul, 413: 40-42.

[27] Türkçe Bilgi, Haliç Haritası ve Uydu Görüntüleri, http://www.turkcebilgi.com/harita/hali%C3%A7, 6 Aralık 2014.

[28] Türkçebilgi, Haliç, http://www.turkcebilgi.com/hali%C3%A7, 16 Haziran 2015.

[29] İBB, Deniz Hizmetleri Müdürlüğü Görevleri, http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/DenizHizmetleriMd/Pages/AnaSayfa.aspx#.VYBQdvntmkp, 5 Ağustos 2015.

[30] Balkıs, N., Müftüoğlu, E., Aksu, A., Sur, H. I. ve Apak, R., (2010). "The Chemical Oceanographic Consequences of Environmental Restoration Projects in the Golden Horn Estuary (Marmara Sea, Turkey)", Environ Monit Assess, 164: 67-79.

[31] Kılıç, Ö. ve Belivermiş, M., (2013). "Spatial and Seasonal Distribution of Trace Metal Concentrations in Mussel (Mytilus galloprovincialis) and Sediment of Bosphorus and Golden Horn", Bull Environ Contam Toxicol, 91: 402-408.

[32] Karadede, H., (1997). Atatürk Baraj Gölünde Su, Sediment ve Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

[33] MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G. ve Berger, T. A., (2000). "Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems", Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 39: 20-31.

[34] Cubbage, J. ve Batts, D., (1995), Summary of Guidelines for Contaminated Freshwater Sediments, https://fortress.wa.gov/ecy/publications/publications/95308.pdf, 2 Şubat 2015.

[35] Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L. ve Calder, F. D., (1995), Incidence of Adverse Biological Effects Within Ranges of Chemical Concentrations in Marine and Estuarine Sediments, http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/docs/303d_policydocs/231.pdf, 12 Şubat 2015

[36] Ahrens, T. J. ve McLennan, S. M., (1995), Sediments and Soils: Chemistry and Abundances, Rock Physics & Phase Relations: A Handbook of Physical Constants, Third Edition, AGU Books Board, USA.

[37] Kut, D., Topçuoğlu, S., Esen, N., Küçükcezzar, R. ve Güven, C. K., (2000). "Trace Metals in Marine Algae and Sediment Samples from the Bosphorus", Water, Air and Soil Pollution, 118: 27–33.

[38] Topçuoğlu, S., Kırbaşoğlu, Ç. ve Yılmaz, Y. Z., (2004). "Heavy Metal Levels in Biota and Sediments in the Northern Coast of the Marmara Sea", Environmental Monitoring and Assessment, 96: 183-189.

[39] Açıksöz, B., (2008). Phylogenetic Analysis of 16S rRNA for Determination of Microbial Community in Anoxic Marine Sediments of Halic, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[40] Türkoğlu, M., (1991). İzmir Körfezi'ndeki Su, Sediment ve Bazı Organizmalardaki Krom Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Berivan AKGÜN
Doğum Tarihi ve Yeri	18 Mart 1989, İstanbul
Yabancı Dili	İngilizce
E-posta	brvnkgn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Çevre Mühendisliği	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2012

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013	AEM Çevre Laboratuarı	Analist
2013	Evren Çevre Danışmanlık	Çevre Mühendisi/Çevre Görevlisi