

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer KAZAK

**AŞAĞI SEYHAN NEHRİ YÜZEY SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL
KONSANTRASYONLARININ İÇERİĞİ VE DAĞILIMI**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AŞAĞI SEYHAN NEHRİ YÜZEY SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL
KONSANTRASYONLARININ İÇERİĞİ VE DAĞILIMI**

Ömer KAZAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 23/08/2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Yrd. Doç. Dr. Ç. Bekir ERSÜ
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Recep YURTAL
ÜYE

.....
Doç. Dr. Galip SEÇKİN
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. M. Rifat ULUSOY
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AŞAĞI SEYHAN NEHRİ YÜZEY SEDİMETLERİNDE AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ İÇERİĞİ VE DAĞILIMI

Ömer KAZAK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Ç. Bekir ERSÜ
Yıl: 2012, Sayfa: 93
Jüri :Prof. Dr. Recep YURTAL
:Doç. Dr. Galip SEÇKİN
:Yrd. Doç. Dr. Ç. Bekir ERSÜ

Bu çalışmada altı ağır metalin (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) kimyasal dağılımı modifiye edilmiş üç adımlı ardışıklı ayırma yöntemi kullanılarak Seyhan Nehri'nin sedimentine olan etkileri değerlendirilmiştir. Numuneler Ekim 2010 ve Haziran 2011 dönemlerinde altı noktadan numune alınmıştır. Sedimentlerdeki toplam metal konsantrasyonlarının istasyonlara göre farklı dağılımları tesbit edilmiştir. Pb ve Mn hariç, metal dağılımı numune alma dönemleri dikkate alınmaksızın metallerin çoğunluğu kalıntı bölümünde olduğu belirlenmiştir. Bu durum metallerin sedimente güçlü bir şekilde bağlı olduğunun göstergesidir. Metallerin kalıntı bölümü hesaplanmaksızın potansiyel hareketliliği Ekim 2010'da $Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cr$, Haziran 2011'de $Mn > Zn > Ni > Pb > Cr > Cu$ sıralaması elde edilmiştir. Metallerin en yüksek bağlı bulunduğu ikinci bölüm organik maddeler ve sülfürlere bağlı bulunduğu 3. adımdır. Bu durumun insan faaliyetlerinden kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Tüm istasyonlar için kalıntı bölümü hesaplanmaksızın metallerin dağılımı Haziran 2011'de en yüksektir. Bu durum sediment numunelerindeki organik madde konsantrasyonu ile ilgili olabilir. Olası sediment toksisitesi Risk Değerlendirme Kılavuzu (RAC) kullanılarak değerlendirilmiştir. Risk Değerlendirme Kılavuzu'na göre Cr risk yok, Cu ve Ni düşük risk, Pb ve Zn orta risk metaller iken Mn çevresel riski yüksek olarak sınıflandırıldı. Risk Değerlendirme Kılavuzu'na (RAC) ilaveten Sediment Kalite Kılavuz Değerlerine (SQG) göre Seyhan Nehri toplam metal konsantrasyonları için toksikolojik tehlikesi kirli değil ve orta kirli olarak sınıflandırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ardışıklı ayırma, Nehir sedimenti, Sediment kalitesi

ABSTRACT

MSs THESIS

HEAVY METAL CONTENT AND DISTRIBUTION IN SURFACE SEDIMENTS OF LOWER SEYHAN RIVER

Ömer KAZAK

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

Supervisor :Asst. Prof. Dr. Ç. Bekir ERSÜ
Year: 2012, Pages: 93
Jury :Prof. Dr. Recep YURTAL
:Assoc.Prof. Galip SEÇKİN
:Asst. Prof. Dr. Ç. Bekir ERSÜ

In this study, chemical fractionation of six heavy metals (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn) was studied using a modified three- step sequential procedure to assess their impacts in the sediments of the Seyhan River. Samples were collected from six representative stations in two campaigns in October 2010 and June 2011. The total metal concentrations in the sediments demonstrated different distribution patterns at the various stations. Metal fractionation showed that, except for Mn and Pb, the majority of metals were found in the residual fraction regardless of sampling time, indicating that these metals were strongly bound to the sediments. The potential mobility of the metals (non-residual fractions) is reflected in the following ranking: Mn>Zn>Ni>Pb>Cu>Cr in October 2010 Mn>Zn>Ni>Pb>Cr>Cu in June 2011. The second highest proportion of metals was bound to organic matter/ sulfides, originating primarily from anthropogenic activities. Non-residual metal fractions for all stations were highest in June 2011, which may be linked to higher organic matter concentrations in sediment. Potential sediment toxicity was evaluated using the Risk Assessment Code (RAC). Based on RAC classification, Cr pose no risk, Cu and Ni pose low risk, Pb and Zn were classified as medium risk metals, while the environmental risk from Mn was high. In addition, based on the sediment quality guidelines (SQG), the Seyhan River can be classified as a river with no, to moderate, toxicological risks, based on total metal concentrations

Key Words: Sequential extraction, River sediment, Sediment quality

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında bilgileri, yapıcı ve aydınlatıcı fikirleriyle bana yol gösteren ve destekleyen, Çevre Mühendisliği Bölüm hocası Doç. Dr. Galip SEÇKİN ve Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK'e, danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ç. Bekir ERSÜ'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarım süresince benden yardımlarını esirgemeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Turan YILMAZ'a ve Dr. Orkun DAVUTLUOĞLU'na, tez yazım aşamasında yardımlarından dolayı bölümümüz doktora öğrencisi Pelin EKİCİ'ye ve B. Seyit BÜYÜKAKKAŞLAR'a teşekkür ederim.

Beni madi-manevi destekleyen AİLEM'e ve Dayım Ahmet BÜYÜKAKKAŞLAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1.Ağır Metaller.....	3
1.1.1.Ağır Metal Zehirliliği.....	4
1.1.1.1 Kadmiyum (Cd) Zehirliliği.....	6
1.1.1.2 Bakır (Cu) Zehirliliği.....	7
1.1.1.3 Krom (Cr) Zehirliliği	7
1.1.1.4 Çinko (Zn) Zehirliliği	8
1.1.1.5 Kurşun (Pb) Zehirliliği	8
1.1.1.6 Nikel (Ni) Zehirliliği	9
1.1.1.7 Cıva (Hg) Zehirliliği.....	9
1.1.1.8 Diğer İz Elementler	10
1.1.2. Ağır Metal Kirliliği ve Kaynakları	12
1.2. Akarsular.....	17
1.2.1. Akarsuların Sınıflandırılması	17
1.2.2. Akarsu Akım Rejimleri	18
1.2.3. Akarsularda Yaşam.....	20
1.2.4. Akarsularda Katı Madde Taşınımı.....	21
1.3. Sediment	24
1.3.1. Sudaki Ağır Metallerin Davranışlarına Etki Eden Prosesler.....	26
1.3.2. Sediment Özellikleri	28
1.3.2.1. Sediment Tanecik Boyutu	28
1.3.2.2. Sediment ve pH	31
1.3.2.3. Sediment Türbilansı ve Ağır Metal İlişkileri.....	32
1.3.3. Sediment Kirliliği ve Sediment Kalite Değerlendirmesi	35

1.4. Seyhan Havzası ve Seyhan Nehri	38
1.4.1. Bölgenin İklimsel Özellikleri	39
1.4.2. Tarımsal Faaliyetler	40
1.4.3. Endüstriyel Faaliyetler	43
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	47
3. MATERYAL VE METOD	51
3.1. Materyal	51
3.1.1. Çalışma Alanı ve Numune Alma İstasyonları.....	51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	59
4.1. Sedimentin Genel Özelliği.....	59
4.2. Ardışıklı Ayrıştırma Prosedürünün Doğruluğu	60
4.3. İstasyonlara Göre Ağır Metallerin Kimyasal Dağılımları ve İçerikleri.....	63
4.3.1. İstasyonlara Göre Krom'un (Cr) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği	63
4.3.2. İstasyonlara Göre Bakır'ın (Cu) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği.....	64
4.3.3. İstasyonlara Göre Mangan'ın (Mn) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği	65
4.3.4. İstasyonlara Göre Nikel'in (Ni) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği	67
4.3.5. İstasyonlara Göre Kurşun'un (Pb) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği	68
4.3.6. İstasyonlara Göre Çinko'nun (Zn) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği.....	69
4.4. Sediment Risk ve Kalite Değerlendirmesi.....	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1. 1. Ağır Metal Kaynakları	16
Çizelge 1. 2. Sediment Parçaların Boyut Dağılımları (Faust ve Aly, 1993).....	26
Çizelge 1. 3. Ağır Metal Su Ortamında Girdikleri Reaksiyonların Özeti.....	28
Çizelge 1. 4. Akarsu ve Göllerde Bazı Metallerin KD0 Katsayıları (EPA, 1985).....	31
Çizelge 1. 5. Ağır Metallerin Sediment İçinde Bağlandığı Yapılar	35
Çizelge 1. 6. Ağır Metaller İçin Sediment Kalite Kılavuzu Değerleri.....	37
Çizelge 1. 7. Sedimentler İçin EPA Kılavuz Değerleri.....	37
Çizelge 1. 8. Adana İli Ortalama Sıcaklık ve Ortalama Yağış Normalleri (1970- 2010) (DMİ, 2011)	40
Çizelge 1. 9. Adana İli Arazi Kullanım Durumu (Davutluoğlu, 2004).....	41
Çizelge 1. 10. Aşağı Seyhan Havzası Toprakları Kabiliyet Sınıfları (DSİ 1994).....	42
Çizelge 1. 11. Tarımda kullanılan çeşitli maddelerin ağır metal içerikleri (ppm/kuru madde) (Molnar ve ark., 1995).....	43
Çizelge 1. 12. Aşağı Seyhan Ovasında Pestisit Kullanımı (Sey. Neh. Havz. Raporu, 1996).....	43
Çizelge 1. 13. Bölge Dahilindeki Endüstriyel Sektörler (Su Yapı, 1993)	44
Çizelge 1. 14. Adana İlinin Mineral Kaynakları (MTA, 1989)	45
Çizelge 3. 1. Numune Alma İstasyonları ve Seçilme Sebepleri	53
Çizelge 3. 2. Modifiye Edilmiş BCR Ardışık Ayırıştırma Prosedürü.....	55
Çizelge 4. 1. Sedimentin Genel Özelliği	60
Çizelge 4. 2. BCR®-701 (n=4) sertifikalı değerlerin ve analiz değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Çizelge 4. 3. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cr İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010	64
Çizelge 4. 4. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cr İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011 ...	64
Çizelge 4. 5. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cu İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010.....	65
Çizelge 4. 6. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cu İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011 ...	65
Çizelge 4. 7. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Mn İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010.....	66
Çizelge 4. 8. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Mn İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011 ..	66
Çizelge 4. 9. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Ni İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010	67

Çizelge 4. 10.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Ni İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011	68
Çizelge 4. 11. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Pb İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2011	69
Çizelge 4. 12. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Pb İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011 ...	69
Çizelge 4. 13. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Zn İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010	70
Çizelge 4. 14. Seyhan Nehrinin Sedimentinde Zn İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011 ...	70
Çizelge 4. 15. Risk değerlendirmesi	77
Çizelge 4. 16. RAC-Kriterine Göre Asitle Çözülebilir Bölümün Değerlendirilmesi ...	78
Çizelge 4. 17. Sedimentdeki Toplam Metal Konsantrasyonu ve SQG ile Karşılaştırılması (mg/kg kuru ağı.).....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1. 1.Ağır Metallerin Kaynakları.....	14
Şekil 1. 2.Ağır Metallerin Kaynakları ve Biyosferdeki Davranışları.....	15
Şekil 1. 3.Akarsu Büyüklüğüne Bağlı Oluşan Akarsu Ekosistemleri.....	21
Şekil 1. 4.Akarsularda Katı Madde hareketleri.....	22
Şekil 1. 5.Akarsularda Su- Sediment Arasında Katı Madde Değişimi	23
Şekil 1. 6.Akarsu Yatak Sedimenti ile Ana Akım Arasında Madde Transferi (Hakansson, 2002).	24
Şekil 1. 7.Ağır Metallerin Hidrolik Çevrim İle İlişkileri	25
Şekil 1. 8.Ağır metallerin Su Ortamında Taşınım ve Dönüşümleri.....	33
Şekil 1. 9.Seyhan Havzası.....	38
Şekil 3. 1.Çalışma Alanı ve İstasyonlar	52
Şekil 4. 1.Sedimentlerdeki Cr Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011.....	71
Şekil 4. 2.Sedimentlerdeki Cu Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011	72
Şekil 4. 3.Sedimentlerdeki Mn Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011	73
Şekil 4. 4.Sedimentlerdeki Ni Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011.....	74
Şekil 4. 5.Sedimentlerdeki Pb Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011	75
Şekil 4. 6.Sedimentlerdeki Zn Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011	76

1. GİRİŞ

Artan insan nüfusunun gereksinimlerini karşılamak için gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetler, çevre bileşenleri üzerinde insanlık tarihinin hiçbir döneminde olmadığı kadar büyük ve olumsuz bir baskı oluşturmuştur.

İnsanlar, endüstriyel faaliyetlerin gelişimi ile kendilerine yapay çevreyi oluştururlar. Toplumlar, yapay çevre içindeki yaşam koşulunu geliştirirken doğa ile sürekli bir ilişki içindedir. İnsan ve doğa arasındaki bu ilişki, ekolojik sistemin bir parçasıdır. İnsanoğlu'nun yeryüzünde yaşamaya ve kendisine ait yapay bir çevre oluşturmaya başlamasından bu yana insan ve doğa arasındaki denge, sürekli insan aleyhine bozulmuştur. Özellikle son yıllarda ekolojik dengeyi süratle bozarak çevre sorunları yaratan insan, bu sorunların kendisine dönmesi ve sağlığının olumsuz yönde etkilemesi üzerine çevre bilincine varabilmiş ve bu kavramı kabul etmiştir.

Çevre bileşenlerinden biri olan su, insanlar tarafından içme ve evsel kullanım suyu, tarımsal sulama, endüstriyel proses suları, taşımacılık, balıkçılık ve su sporları gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Dünyanın sahip olduğu sınırlı su kaynaklarının plansız ve kontrolsüz kullanılması ile su kirliliği olgusu ile karşı karşıya gelinmiştir.

Su kirliliği dünyada suyun doğal dolanımı olarak adlandırılan hidrolojik çevrime insan müdahalesi sonucu ortaya çıkan bir olgudur. Bu doğal döngünün bozulması su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Su kirliliği, su kaynaklarının kalitesini düşürerek, suyun günümüzde ve gelecekteki kullanım amaçlarını engelleyecek düzeyde, inorganik, biyolojik, organik ve radyoaktif kirleticiler içermesi olarak ifade edilir. Sözü edilen bu kirleticiler, dengelerin bozulmasına, sucul ekosistemin etkilenmesine ve doğadaki tüm suların sahip oldukları kendini özümleme ve temizleme kapasitesinin de azalmasına, yok olmasına neden olmaktadır (Karpuzcu, 1996).

Çevre sorunları arasında önemli bir yere sahip olan su kirliliğine, suyun toprak ve hava gibi diğer ekolojik sistemlerle iç içe olması ve insan faaliyetlerinin etkisiyle çok sayıda kirletici neden olmaktadır.

Akarsular hidrolojik çevrim içerisinde karasal partikülleri okyanuslara ve denizlere taşıyan su sistemleridir. Topografik ve morfolojik yapılarına, doğdukları kaynaklarına, akım rejimlerine ve büyüklüklerine göre sınıflandırılan akarsulara üstlendikleri madde transferi görevi yüzünden dünyanın damarları benzetmesi yapılabilir. Ancak artan çevre kirlenmesi sonucu akarsular, birçok deniz canlısının yumurtlama mekânları olan haliçler ve lagünlere, doğal yaşam için gerekli olan besin maddelerin yanı sıra kirleticileri de taşımaktadırlar (Mason, 2002).

Su ve atıksu içeriğinde bulunan kirleticiler temel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirleticiler olarak gruplandırılır. Ağır metaller, kimyasal kirleticiler sınıfına giren kirleticiler olmakla beraber öncelikli kirleticiler olarak da nitelendirilirler (Metcalf ve Eddy, 2003).

Bütün canlılar normal aktivitelerini sürdürebilmek için ortamda bulunan ağır metallerle ihtiyaç duyarlar (Halliwell ve Gutteridge, 1985). Ancak son yıllarda ağır metaller hakkında yapılan bilimsel araştırmaların sayısının artması sebebi, aşırı miktarların canlı yaşamı üzerine toksik etkileri (Alloway ve Ayres, 1997), ortamda ve organizmaların bünyesinde birikebilir olmaları ve doğal proseslerle giderilmelerinin çok yavaş olmasıdır (McEldowney ve ark., 1993).

Çevresel düzenleme ve kanunların çoğunda ağır metaller ile ilgili kalite sınırlamaları yaparken su gövdesinde yapılan metal analizleri göz önünde bulundurulmuştur (Filgueiras ve ark., 2004). Ancak uzun vadede su kalitesindeki bozulmaların sedimente bağlı ağır metallerin su ortamına geçmesinden kaynaklandığının farkına varılmıştır (House ve ark, 1992, Chen ve ark.,1996). Sedimentin metal içeriği, su analizlerinin yansıtamadığı geçmiş kirlilik olaylarına işaret ettiği için çevresel araştırmalar açısından büyük öneme sahiptir.

Sucul ortamlardaki ağır metal türleri; kolloidler, süspanse madde, suda çözülebilir ve sedimental formda bulunabilirler. Nehir sularında ve sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonları, çökeltme taşıma, adsorpsiyon veya kompleksleşme ve çözünme reaksiyonların etkisi altındadır (Morgan ve Stumm, 1991).

Sedimentler partiküler halindeki kirleticiler için büyük bir depolama kapasitesine sahiptirler. Partiküler kirleticilerin hidrolojik çevrim içinde %1'den azı suda çözünmüş halde hareket ederken %99'undan fazlası sedimentlerde depolanır

(Salomons ve Stigliani, 1995). Förstner'e (1985) göre ağır metallerin su ortamdaki davranışları; "ince taneli sedimentlerdeki organik maddelerle birleşir veya Fe/Mn oksitler tarafından adsoblanır veya hidroksitler, sülfürler ve karbonatlar olarak çökelirler" şeklinde tanımlamıştır. Ancak sediment tarafından adsorblanan ağır metallerin sucul organizmalar tarafından bünyelerine katılmaları, sedimentin yüzeyindeki suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine (pH, tuzluluk, redoks potansiyeli, organik şelatlaştırıcılar gibi) bağlıdır. Metallerin sedimentten ayrılması için gerekli şartların oluşması durumunda, yüzey sedimentleri, yeni bir kirletici kaynağı gibi hareket edebilirler (Calmano ve ark., 1993).

Son yıllarda; evsel, endüstriyel ve tarımsal drenaj sularının kontrolsüz olarak nehir sularına deşarj edilmesiyle artan kirletici konsantrasyonları neticesinde görülen toplu canlı ölümleri ve hassas canlıların zarar görmesi, nehirlerimizin kirlilik düzeylerinin araştırılmasını zorunlu hale getirilmiştir.

Seyhan Havzası; Adana, Mersin, Niğde, Kahramanmaraş, Kayseri, Sivas illeri sınırları arasında 20.371 km²'lik büyük bir havzadır. Seyhan havzası boyunca çeşitli endüstri atıksularının ve artan nüfusun evsel atık sularının Seyhan ve kollarına verilmesi, yağmur ve drenaj sularının taşıdığı erozyon ve tarımda kullanılan gübre-tarımsal ilaçları karıştığı drenaj sularının nehre girmesiyle nehirin kullanım amaçlarına uygun olmayan su kalite sınıflarına dahil olması mümkün olabilir.

Bu çalışmada, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımını sağlamaya çalışan ülkemizin önemli su kaynaklarından biri olan Aşağı Seyhan nehri yüzey sedimentlerindeki ağır metallerin içeriği ve dağılımı incelenmesini hedeflenmiştir.

1.1.Ağır Metaller

Metaller, doğal olarak yer kabuğunun yapısında bulunan elementlerdir. Periyodik cetvelde hidrojenden uranyuma kadar 90'ın üzerinde element mevcuttur ve bunların 20'si hariç diğerleri metal olarak sınıflandırılır. Bu metallerin 59 tanesi "ağır metal" olarak karakterize edilir (Krenkel ve Novonty, 1980).

Ağır metallerin yoğunluğu 5 g/cm^3 'den büyük olan metaller olarak tanımlanır. Bu tanımlamaya göre ağır metaller periyodik cetvelde B grubu (Cu, Hg) ve sınır elementleri (Fe, Zn, Cd, Pb) olmak üzere ikiye ayrılır (Martin ve Coughrety, 1985).

1.1.1. Ağır Metal Zehirliliği

Zehirlilik (toksisite), zehirli (toksik), maddelerin canlı yapısına girdiğinde, canlı yapısına ve çeşidine bağlı olarak, olumsuz şekilde etkimesi ve belli doz aşımalarında canlının ölümüne neden olması şeklinde tanımlanır (Doğan, 2002).

Kentsel ve endüstriyel atık suların alıcı su ortamına verilmesi zehirli maddelerle ilgili su kalite problemlerinin ortaya çıkmasında en önemli kaynak olarak görülmektedir. Bu kaynaklardan ortam verilen toksik maddeler genel olarak aşağıda başlıklar altında incelenir.

- a) Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden ve tarımsal kullanımlardan kaynaklanan kurşun, nikel, kadmiyum, çinko, bakır ve cıva gibi ağır metaller.
- b) Evsel kullanımlar, tarımsal kullanımlar, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan pestisitler, herbisitler, PCB'ler, klorlu alifatik hidrocarbonlar, çözücüler, deterjanlar, polinükleer, aromatikler, organometalik bileşikler, fenoller ve formaldehidler.
- c) Metan, amonyak ve klor gibi gazlar.
- d) Sülfür, siyanür ve florür gibi anyonlar.
- e) Asit ve bazlar.

En tehlikeli zehirli bileşikler ağır metaller ve organoklorlardır. Dayanıklı, zehirli ve biyolojik olarak birikebilme özelliklerinden dolayı bu maddeler Avrupa Birliği tarafından oluşturulan Kara Liste'ye alınmıştır.

Japonya'da 1950'li yıllarda cıva (Hg) ve Kadmiyum (Cd) yol açtığı felaket boyutlarındaki zehirlenme olayları dünyanın her tarafında kamuoyunu ağır metallerin

zehir etkileri konusunda duyarlı hale getirmiş ve ağır metallerin çevredeki konsantrasyonları ve davranışları konusunda birçok araştırma yapılmasına yol açmıştır. Bu araştırmalar sonucunda iki tehlike olduğu ortaya çıkmıştır;

i- Çevreye bulaşan ağır metaller, birçok organik maddenin aksine toprak ve suda hüküm süren doğal süreçlerle parçalanmaları çok uzun sürer.

ii- Özellikle ağır metaller, çeşitli mekanizmalarla mineral ve organik maddelerin içinde birikirler ve uzun süre depolanırlar. Böylece biyolojik besin zinciri üzerinden insana kadar ulaşabilirler ve insanlarda kronik veya akut Zaralara yol açabilirler (Jackson ve Alloway, 1995).

Tüm canlıların yaşam aktivitelerini sürdürebilmek için ortamda bulunan demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), krom (Cr), molibden (Mo), vanadyum (V), selenyum (Se) ve nikel (Ni) gibi ağır metallere belirli düzeyde ihtiyaç duyarlar. Adı geçen bu metaller organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle birleşerek metal protein komplekslerin oluştururlar. Bunun yanı sıra birçok enzimin yapısında da bulunurlar. Örneğin Fe, kanı kırmızı olan canlılarda, Cu ise kanı renksiz olan deniz organizmalarında oksijen taşıma işlevi yanında, bir çok enzim aktivitelerine metaloprotein olarak katılır (Halliwell ve Gutteridge, 1985; Conon, 2004; Birol, 1982; Tuncer, 1985).

Ancak metallerin insan vücudu için faydalı konsantrasyonları çok dar bir aralık içerisinde. İnsan vücudunda bulunması gereken konsantrasyondan fazla olan metaller toksik etkilere sahiptirler.

Ağır metallerin toksik etkileri genel olarak iki kategoride incelenebilir. Akut toksisite (kısa zamanda yüksek dozlara maruz kalma) genellikle öldürücü olurken kronik toksisite (uzun zamanda düşük dozlara maruz kalma) genellikle öldürücü veya zarar verici olarak tanımlanabilir (Mason, 2002).

Ağır metal zehirliliğine, canlıların boyu, cinsiyeti, yaşı ve boyutu gibi özellikleri etki eder. Örneğin omurgasızlardan olan *Gammarus* kadmiyuma karşı diğer omurgasızlara nazaran daha hassastır (Mccahon ve Pascoe, 1988a.). Diğer bir örnek olarak, dört kanatlı *Agspetus Fuscipes* böceklerinin larvaları kadmiyum kirliliğine yetişkinlere nazaran daha hassaslardır (Mccahon ve Pascoe, 1988b.).

Ağır metaller parçalanması zor kirleticiler olduklarından dolayı su ortamında etkinliklerini uzun süre sürdürebilirler. Metaller organizmalarda birikebilir ve besin zincirine katılarak artan miktarlarda bulunabilirler. Sucul canlıların organlarındaki metal konsantrasyonları her zaman bu metallerin sudaki konsantrasyonları ile ilişkili olmayabilir. Besin zincirine giren ağır metaller, canlıların birbiri ile beslenmesi sonucu bünyelerinde birikerek en tepedeki etoburlara (su kuşları ve insanlar) olumsuz etki yaratacak konsantrasyolara ulaşabilirler (Goodyear ve McNeil, 1999).

Genel olarak vücut için yaşamsal öneme sahip olan elementlerin bile fazlası vücuda zararlı, toksik etki yaparken, yetersiz alınmalarında eksikliklerinden kaynaklanan birçok hastalık ve bozukluklar görülür (Halliwell ve Gutteridge, 1985).

Bütün eser elementlerin vücut ve sağlıklı yaşam için gerekli derişim aralıkları günümüzde gelişen çağdaş analitik ve spektroskopik analiz yöntemleri ile saptanabilmektedir. İşyeri ve yaşam ortamında zararlılardan korunma önlemleri eksiksiz uygulanmalıdır. Kimyasal olarak bu elementlerin kontrolü ile eksiklikleri ve toksik etki sınırları saptanabilir. Eksiklerinde bu elementleri içeren beslenme rejimi ve özel eser element takviyeli ilaçlara dayalı diyet yapılmaktadır.

Bazı ağır metaller, çevremizdeki miktarları ile sağlığınıza zararlı etkileri vardır. Metaller, bağışıklık sistemimizi zayıflatarak hastalıklara karşı olan direncimizi azaltırlar. Bazı ağır metallerin ise doğrudan kansorejen etkileri vardır (Peakall, 1992). Dünya üzerinde bir milyara yakın insan, çevrelerindeki yüksek ağır metal konsantrasyonuna maruz kalmakta ve birkaç milyon insanda metal zehirlenmelerine bağlı klinik vakalara rastlanmaktadır (Nriagu, 1988).

1.1.1.1 Kadmiyum (Cd) Zehirliliği

1995'te Japonya'da kadmiyum zehirlenmesine bağlı itai-itai hastalığı ortaya çıkmıştır. Bu hastalık, eklemlerde ağrı, paytak yürüyüş, böbrek lezyonları, ürede şeker ve protein atılması, kemiklerin kırılmaşıması gibi rahatsızlıklara neden olmaktadır. Bu hastalıktan yaklaşık iki yüz kişi muzdarip olmuş ve yaklaşık yarısı ölmüştür (Mason, 2002).

Kadmiyum solunumla fazla miktarda alınması sonucu ciğer anfizemi hastalığı ortaya çıkmaktadır. Konuyla ilgili bazı çalışmalar kadmiyumun kansorejem etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Kadmiyumun resorpsiyon sonucu (alınan miktarın %3-8'i) özellikle karaciğer ve böbreklerde birikim gösterir ve bu miktarın insanlarda tüm vücutta bulunan miktarın yaklaşık %50'si kadardır. Böbrekte kritik sınır olan 200 µg/gr yaş ağırlığının üzerinden olması durumunda böbrek yetmezliği ortaya çıkabilir. Kadmiyumun biyolojik yarı ömrünün insanlarda uzun olması nedeniyle (19-38 yıl), ciğer ve böbrekteki kadmiyum miktarı yaşlılığa bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle yüksek kadmiyumun neden olduğu böbrek rahatsızlığı genellikle elli yaşın üzerindeki insanlarda görülmektedir.

1.1.1.2 Bakır (Cu) Zehirliliği

Bakır, bütün canlıların beslenmesi için mutlak gerekli bir elementtir. Bakır fazlalığında bitkiler ve hayvanlarda Cu toksisitesi ortaya çıkabilmektedir. Buna karşılık insanlarda kronik Cu zehirlenmesi pek bilinmemektedir (Doğan, 1993).

Bakırın insan vücudundaki fazlalığı olumsuz etkilere neden olmaktadır. Wilson Hastalığına (hepato-lentiküler dejenerasyon) bakır fazlalığının neden olduğu bilinmektedir. Wilson hastalığında bağırsaktan bakır emilimi çok artmış ve albumine bağlı olarak bulunur. Bu hastalığa yakalanmış kişilerde, karaciğerin safraya bakır atılımı yapma yeteneği bozulmuştur. Bakırın bütün vücutta özellikle karaciğer, beyin, böbrekler ve korneada birikimi söz konusudur. Karaciğer yetmezliği ortaya çıkar (Yenson, 1981).

1.1.1.3 Krom (Cr) Zehirliliği

Krom insanlar ve hayvanlar için mutlak gerekli olan bir elementtir. Üç değerlikli krom özellikle glikoz metabolizmasında insülin etkisini teşvik ederek "Glikoz Tolerans Faktörü" olarak rol oynamaktadır. Ayrıca krom protein ve nükleik asit yapısını stabilize etmekte ve bazı enzimleri aktive etmektedir. İnsanların besinlerc yoluyla aldığı Cr (III) ise genelde optimumun altındadır.

Cr (III) bileşiklerinin ve metalik kromun toksik etkisi kesin olarak kanıtlanmış değildir. Buna karşılık Cr (VI) bileşikleri 100-1000 kez daha zehirlidir ve insanlarda akut ve kronik zehirlenmelere neden olabilir.

1.1.1.4 Çinko (Zn) Zehirliliği

Çinko; bitkiler, hayvanlar ve insanlar için mutlak gerekli bir mikro elementtir. Toprak içinde fazla miktarda bulunan çinko bitkilere ve mikroorganizmalara toksik etki yapmaktadır. İnsanlarda besin maddeleri ile aşırı miktarda çinko alınması durumunda kronik çinko zehirlenmesine rastlanmıştır.

Çinko insan metabolizmasında birçok enzim ve hormonun yapısında bulunduğu gibi çoğu enzim ve hormonunda etkinlik kazanmasını sağlayan çok önemli bir biyokatalizördür. Besilerle yeterli alınmaması halinde kaşınma ve kaşınma sonucu cilt bozukluğu, lekeli tırnakla kolayca anlaşılır. Bu eksiklik özellikle çocuklarda büyüme ve gelişim bozukluğu, vücut zayıflığı, neşesizlik ve durgunluk, tat alma bozukluğu seksüel gelişimde durgunluk gibi oldukça önemli, ama karmaşık bozukluklara neden olur. Bitkiler yüksek düzeyde çinko içerseler bile vücut, bitkisel çinkoyu değerlendirip kullanamaz, yinede eksikliği görülür. Tahıl ağırlıklı ve yalnız bitkisel beslenme rejiminde eksikliği yaygın olarak görülür. Hayvansal protein alınması ile bitkilerle alınan çinko da değerlidir. En azından ekmeğin peynirle, mısır ve bakliyatın sütle veya etle yenirse daha yararlı olur ve eksikliği görülmez. Özellikle hamile ve emziren annelerin yeterli çinko alabilmesi içinde hayvansal proteinde yemeleri şarttır (Doğan, 1993).

1.1.1.5 Kurşun (Pb) Zehirliliği

İnsanlar ve hayvanlar tarafından alınan kurşun ciğer, böbrek ve özellikle kemik ve dişlerde birirmektedir ve kalsiyum yerine apatitin yapısına girmektedir. Yarı ömrünün fazla olması nedeniyle (insanlarda 5-20 yıl) endüstrinin yoğun olduğu ülkelerde insanlarda yaş ilerlemesine bağlı olarak vücuttaki kurşun miktarında artmaktadır (Doğan, 1993).

Kurşun kirliliğinde ölçü (indikatör) olarak kandaki kurşun içeriği ölçülür. Bu içerik yetişkinlerde 0,35-0,40 mg Pb/L, çocuklarda 0,25-0,30 mg Pb/L'yi geçmemelidir. Kurşun, hemoglobin sentezinde görev alan enzimleri (aminolavulinasit-dehidraz, porfirinsentez enzimleri) engellemektedir ve bunun sonucu anemi meydana gelebilmektedir (Doğan, 1993).

Kurşun insanlar tarafından öncelikle gıda maddeleri ve solunumla alınmaktadır. Yetişkinler tarafından ağız yoluyla alınan kurşunun %10'u, çocuklarda ise daha fazlası mide-bağırsak yollarında resorbe edilmektedir. Kurşun içeren tozların solunması sonucu solunan kurşunun %30'u ciğerde birirmektedir. Bu nedenle aşırı kurşun kirliliğinin söz konusu olduğu bölgelerde solunum yoluyla kurşun alınımı çok önemli olabilir.

WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından kişi başına 3,5 mg/haftalık (70 kg'lık insan için) kurşun alımı tolere edilebilir sınırlar içerisinde kabul edilmektedir.

1.1.1.6 Nikel (Ni) Zehirliliği

Nikel bazı hayvanlar için mutlak gerekli bir iz element olarak görülmektedir, bitkiler ve mikroorganizmalar içinde düşük konsantrasyonun olumlu etkisinin olduğu kabul edilmektedir. Ancak insanlar üzerinde olumlu etkisi henüz kesin olarak belirlenmiş değildir. Gıdalar aracılığıyla kişi başına günlük nikel alımı 0,3-0,5 mg dolayındadır. Ağız yoluyla alınan nikelin çok az kısmı resorbe olduğundan nikel içeriği yüksek besin maddelerinin olumsuz etkisine henüz rastlanmamıştır. Buna karşılık nikel dozlarının (Ni oksit, Ni sülfür, Ni karbonat) solunumla alınması akciğer kanserine neden olabilir. (10-50 mg Ni/kg) petrol ve (49-345 mg Ni/kg) ve Ni içeren benzinlerin yanması sonucu meydana gelen nikel karbonil de kısmen kansorejen etkili medde özelliği taşımaktadır.

1.1.1.7 Cıva (Hg) Zehirliliği

1950'lerin başında Japonya'da görülen Minamata hastalığı, çevrenin ağır metallerce kirlenmesine dikkat çekmiştir. Deniz ürünleri ile beslenen yöre halkı bir

fabrikanın cıva içeren sularını Minamata kıyılarına boşaltması sonucu bu hastalığa yakalanmış ve 730 kişi ölmüştür (Mason, 2002).

Sucul ortamlarda inorganik cıva (Hg^{+2}) mikroorganizmalar tarafından çok zehirli olan metil cıva'ya [$Hg (CH_3)_2$] çevrilir. Cıvanın bu formu organizmalar tarafından kolayca alınabilip yağlarında depolanır. Metil cıva'nın %95'inden fazlası bağırsaklardan emilerek bünyede birikir ve %1'den azı dışarı atılabilir. Bu sebeple metil cıvanın çok küçük konsantrasyonları bile insanlar için zararlıdır. Metil cıva gelişme çağındaki çocukların nöronlarını şekillendiren beyincikteki enzimlerin aktivitesini inhibe eder. Kronik maruz kalınması durumunda zeka geriliğine sebep olur. Bir insanın tolere edebileceği cıva miktarı 0,005 mg/kg'dır (Mason, 2002).

1.1.1.8 Diğer İz Elementler

Arsenik tarih boyunca hep zehir olarak kullanılmış olup, hemen hemen tüm bileşikleri zehirlidir. Ayrıca havadan alınan arseniğin kansorejen olduğu da ispatlanmıştır. Arsenik, organizmada karaciğer, böbrekler, deri, tırnak ve saçta birikir, idrarla atılır. Sağlıklı insan idrarında 0,17 mg/L arsenik oksit bulunur ve bu değer zehirlenme görülmeden 0,8 mg/L ye kadar yükselebilir. Eksikliğinin zararı bilinmese de arsenik de diğer zehirli ve kanserojen olan kadmiyum ve kurşun gibi “yaşamsal öneme sahip” eser elementler arasına alınmıştır.

İyot eksikliğinin guatr hastalığı ile ilişkisi, flor eksikliğinde diş sertliği ve tartar oluşumu ile ilişkisi, demir kanın rengini verdiği ve eksikliğinde soluk renkle kansızlık görüldüğü herkes tarafından bilinmektedir. Buna karşılık çoğu eser elementin insan vücudundaki işlevi ve eksikliğinin doğurduğu bozukluklar oldukça karmaşık olup, halen bilinmeyen yönleri de vardır (Conor, 2004).

Son yılların en yararlı eser elementi olarak bilinen selenyumun bile aşırı miktarı toksik etki yaparken, eksikliği birçok hastalığa neden olur. Eksik ve aşırı aralığı çok dardır ve uygun aralığı 5-15 ppm dir. Vücudun kedine özgü savunma sisteminde görev alır. E vitamini, ancak eser selenyum bulunması halinde etkili olur. Görme yeteneğini artırıcı, romatizmal hastalıkları önleyici, kalp fonksiyonlarını düzenlediği, eksik alınması halinde kalp fonksiyonu bozukluğu görüldüğü kesin

olarak ispatlanmıştır. Kanserle karşı koruyuculuğu, büyüme üzerine olumlu etkisi, yara iyileştirici özelliği, selenyuma adeta ilaç özelliği kazandırmıştır. Selenyum, cıva, arsenik ve kadmiyum zehir etkisini bastırırken, kendisi de aşırı alınırsa zehir etkisi yapar ve bu etki de arsenik sülfat ile bastırılır.

Bir başka örnek de kobalttır. Kırmızı vitamin olarak bilinen B-12 vitaminin merkez yapı taşıdır. Bugüne kadar bilinen en etkin biyokatalizördür. Kan sistemini kuvvetlendirir ve eksikliğinde anemi riski artar, kan formülü bozulur. Günlük kobalt ihtiyacı 5µg kadardır. Ancak hayvansız proteinsiz, sıkı bitkisel rejim uygulayanların bu sakıncaları düşünmeleri gerekir. Zira kobalt başlıca karaciğer ve sakatlar, kırmızı et, ıstiridye ve balıkta bulunur. Kobalt ancak hayvansal ve mikrobiyolojik teknikle üretilen besinlerle alınabilir. Bir başka element, krom glikoz tolerans faktöründe bulunur ve karbonhidrat çevriminde önemli rol alır. Ayrıca insulin hormonu etkisini de düzeltir. (Conor, 2004).

Manganez, silisyum ve kalay da yaşamsal öneme sahip elementlerdir. Mangan da çinko gibi hem bazı enzimlerin yapısında bulunur hem de bazı enzimleri aktifler. Ayrıca bağ dokusu yapımında, üre oluşumu, protein ve yağ asitleri sentezine katılır. Bakır ise tüm canlılar için “yaşamsal önemli” eser elementlerin en başında, demir ve çinko ile aynı düzeyde gerekli eser elementtir. Vücuttaki tüm oksidasyon olaylarında, enzimlerin kontrollü çalışması için gereklidir. Süperoksit dismutaz, sitoksidaz, monoamin oksidaz, tirozinaz, depoamin β-hidroksilaz, seruloplazmin, S-Amino levulinat dehidrataz gibi enzimler bakır içerirler (Doğan, 1993).

Vanadyum ve molibden yerkabuğunda çok az bulunur ve insan için yaşamsal önemli elementler listesinde yer alırlar. Molibdenin bitkiler üzerine yaşamsal önemi daha iyi bilinmektedir. Bitkiler protein sentezleyebilmek için azotu bağlamakta molibdene ihtiyaç duyarlar. Ağaç ve bitki yetişmeyen Avustralya’nın bir bölgesinde toprağın hiç molibden içermediği anlaşılmış ve toprağa çok az molibden serpilmesinden sonra hızla ağaçların büyüdüğü, arazinin yeşillendiği görülmüştür. İnsanlara da ksantin oksidaz ve aldehit oksidaz enzimlerinin aktiflenmesi için molibden gereklidir. Bu flavin enzimleri karaciğerde bulunur ve böbreklerin zehirlenmesinin önlenmesi için gereklidir. Ayrıca dişin flor alması ve depolaması için de molibden gereklidir.

Vanadyum ise kemik ve diş oluşumu için önemli elementtir. Bazı enzimleri aktiflediği sanılmaktadır. Hayvan deneyleri sırasında kan şekeri seviyesini düşürdüğü görülmüştür.

1.1.2 Ağır Metal Kirliliği ve Kaynakları

İnsanlar, metallerin yararlı kullanım alanlarını çok uzun zaman önce farkına varmışlardır. 8000 yıl önce Batı Asya’da saf altın ve bakır keşfedilmiştir. Başlangıçta parıltılı güzelliği cezp ederken sonra bu malzemenin işlenebilir ve dayanıklı olduğunu görmüşlerdir. Bu gözlem sonucunda yer kabuğundan metalleri ayırmak için çeşitli işlemlere başvurmuşlardır. Ancak bu yararlı özelliklerine karşın toplum, metal kirliliği ile tanışmak zorunda kalmıştır.

Metaller yeryüzü kabuğunda doğal olarak bulunan elementlerdir. Metaller doğal döngüsünden veya insan faaliyetlerinden ötürü su ortamlarına girerler. 1993’te US EPA’nın öncelikli kirleticiler listesinde 129 kirleticiden sadece 13’ü metaldir. Diğerleri organik bileşikler, pestisitler, PCB’ler ve birkaç metalik olmayan kirleticilerdir (asbestler ve siyanürler).

Ancak EPA’nın en yaygın olarak deşarj edilen öncelikli kirleticiler listesindeki (US. EPA, 1985) 16 kirleticiden 5’i metal olup aşırı miktarlarına rastlanma frekansları diğer kirleticilerden daha fazladır.

“Kirlilik” terimi, lekelemek, kirletmek anlamına gelen Latince (pollere) kelimesinden türemiştir. Kirlilik ve kirlilikle ilgili terimleri belirlemek için çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Ancak, kirliliğin bilim adamları tarafından en fazla kabul gören tanımı “kaynakların yaralı kullanımlarının engellenmesi” dir (Krenkel ve Novotny, 1980).

ABD’de kirliliğin kanuni tanımı, Su Kalitesi Kanunu’nda Bölüm 502-19 (ABD Millet Meclisi, 1987).

“Kirlilik” terimi insan yapımı veya insan kaynaklı suyun fiziksel, kimyasal, biyolojik ve radyolojik bütünlüğünün değişimi anlamına gelir, şeklindedir.

Bütünlük teriminden kastedilen zara görmemişliktir. Bundan dolayı “bütünlükteki değişimler” ise zara veya hasar görmek olarak anlaşılır. Öyleyse:

Kirlilik; insan veya insani faaliyetler sonucunda, kaynakların (su, toprak, hava) fiziksel, kimyasal, biyolojik ve radyolojik kalitelerindeki değişim ve varoluşlarına ve potansiyel kullanımlarına verilen zara olarak tanımlanabilir.

Bu tanımlamaya göre kirlilik, doğal sebeplerden kaynaklanan çevresel kalite değişimlerinden ayrılmıştır. Bu sebeple; volkanik patlamalar, doğal orman yangınlarından kaynaklanan küller, doğal erozyon, kayaların parçalanması ve minarelerin çözülmesi şeklinde sıralanabilir. Ancak bu olayların gerçekleşmesi sonucunda da suyun kullanımını engeller veya doğal bir kaynak üzerine olumsuz etkiler göstermektedir.

Bu açıklamaya göre yüzey suları kalitesine, doğal ve insan aktiviteleri olmak üzere iki olay etkir. Su gövdesindeki metal konsantrasyonları doğal nedenlerden kaynaklanıyorsa su sediment kalitesinin doğal (background) olduğu düşünülür. Ancak, su-sediment kirliliği insan faaliyetlerinden kaynaklanıyorsa “su kaynakları bütünlüğünün zarar görmesi” kirliliktir.

Toprak ve sedimentte bulunan ağır metallerin insan veya doğal kaynaklı olduğunu değerlendirmek için Zenginleştirme faktörü kullanılır. Matematiksel olarak;

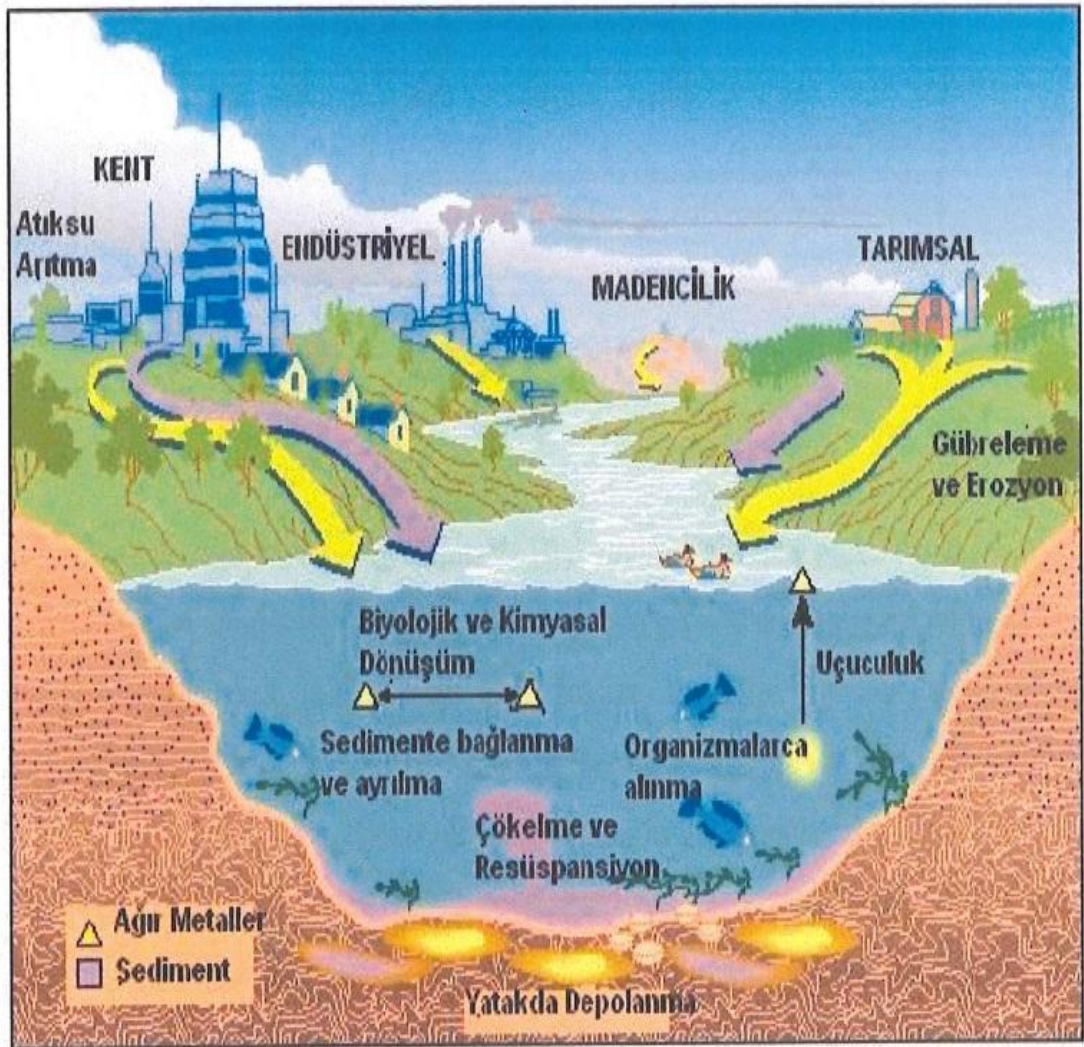
$$EF = \frac{Cr}{Cs} \quad (1)$$

olarak ifade edilir. Burada Cr, hali hazırdaki toprak veya sedimentin her bir gramındaki metal konsantrasyonu, Cs ise ana toprak veya öz çekirdekdeki metal konsantrasyonudur (Zhang ve Liu, 2002).

Zenginleştirme Faktörü kirliliğin çevresel durumu göstermesi açısından önemli bir indikatördür. Eğer EF değeri 0,5 ile 1,5 arasında ise ($0,5 < EF < 1,5$) ağır metallerin jeolojik yapılardan veya doğal aşınma proseslerinden kaynaklandığı söylenebilir. Ancak EF değeri 1,5’ten büyükse ($EF > 1,5$) ortamdaki metal konsantrasyonlarının doğal olmayan kaynaklardan kaynaklandığı söylenebilir (Zhang ve Liu, 2002).

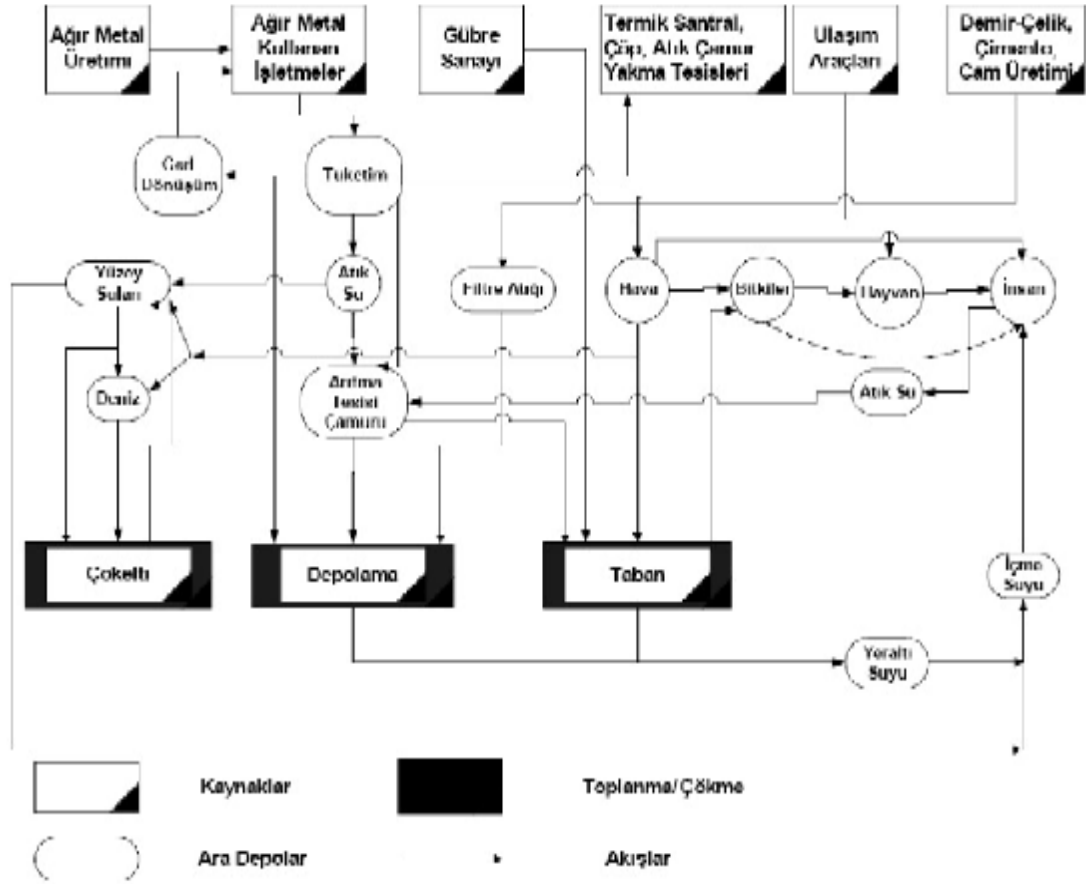
İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan ağır metaller çeşitli yollarla sucul ortamlara ulaşmaktadırlar. Ağır metaller modern yaşantımızın birçok noktasında hayatımızı kolaylaştırmasına rağmen atık olarak toksik maddelerdir. En fazla deşarj edilen metaller (noktasal kirlilik kaynaklarından); Bakır (Cu), Çinko (Zn), Krom (Cr), Kurşun (Pb) ve Nikel (Ni)'dir (Novotny, 1995).

Ağır metal kirleticileri çeşitli endüstriyel sektörlerden, tarımsal faaliyetlerden, atıksu arıtma tesisi çamur ve sularından, şehir yüzeysularının akışa geçmesi ve evsel kullanımlar sonucu su ortamına girmektedirler.



Şekil 1. 1. Ağır Metallerin Kaynakları

Şekil 1.2.'de ise ağır metallerin kaynakları ve tüketim, geri dönüşüm, atmosferik birikimi gibi dağılım rotaları gösterilmektedir.



Şekil 1. 2. Ağır Metallerin Kaynakları ve Biyosferdeki Davranışları

Maden endüstrisi, kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için, madenden çıkarılarak atılması gereken maden drenajları yüksek derişimlerde kalsiyum, magnezyum, demir ve düşük derişimlerde alüminyum, mangan, ve diğer ağır metal iyonlarını içerir. Bakır, çinko, kurşun, krom, gümüş, altın, uranyum gibi madenleri içeren cevherlerin gerek topraktan çıkarılması, gerekse temizlenmesi, öğütülmesi ve saflaştırılması esnasında oldukça fazla su kullanılır ve bu sular yüksek derişimlerde adı geçen metal iyonlarını içerir.

Ayrıca, metal kaplama sanayi, otomotiv fabrikaları, elektrik, elektronik, mutfak ve ev eşyaları üreten sanayi tesisleri, boru, kapsül, tüfek, makine ve boya

endüstrileri atıksuları ağır metalleri içerir (Grunham, 1965; Clark, 1971; DSI, 1980; Aksu, 1988; Sağ, 1993).

Son zamanlarda yağışların asiditesindeki artış topraktaki, çatı ve yağmur toplama olukları gibi yağışa açık insan yapımı metalik malzemelerdeki metallerin çözünürlüğünü artırmıştır. Ayrıca trafik kaynaklı ağır metal kirliliği, artan taşıt sayısı ve tüketilen fosil yakıt miktarının çoğalmasına bağlı olarak önem kazanmaktadır. Çizelge 1.1.'de ağır metal kirleticilerin kaynakları ve bu kaynaklardan çevreye yayılan ağır metal türleri özetlenmiştir.

Çizelge 1. 1.Ağır Metal Kaynakları

Ağır Metal Kaynakları	Metal Türleri
A- Metal İşletmeciliği -Demir-Çelik İşletmeciliği -Maden Çıkarma Faaliyetleri -Metal İşleme Endüstrisi -Metal Kaplama Endüstrisi	Pb, Cu, Ni, Ag, As, Cd, Pb, Hg ve Cu Ni, Cu, Cr, Zn, Cd ve Pb Ag, As, Ni, Pb, Zn ve Cu
B-Diğer Endüstri Kaynakları -Plastik Endüstrisi -Tekstil Endüstrisi -Ev Aletleri İmalatı -Ağaç İşletmeleri -Rafine Tesisleri	Cd, Cr, Co ve Hg Zn, Al, Sn ve Ti Ni, Cu, Zn, Cd, Fe ve Sb Cu, As, Ni, Fe ve Cr Pb, Cd, Ni ve Cr
C-Şehir İçi Kaynaklar -Taşıt Aşınmaları -Fosil Yakıtlar -Elektronik ve Elektrikli Ev Aletleri -Atık Piller -Metal Yapı Malzemeleri -Arıtma Tesisi Çamurları -Kazı ve Dolgular	Pb, Cd, Fe, Mn ve V Pb, Cd, As, Sb, Se, V ve Zn Zn, Cu, Fe, Pb ve Cd Cd, Ni, Cu ve Zn Zn, Ni, Ag, Fe, Sb ve Cr Pb, Cd, Ni, Zn, Cu ve Cr Pb, Cd, As ve Fe
D-Tarımsal Kaynaklar	

-Gübreler	Cu, Zn, As ve Mn
-Kireçler	Pb ve As
-Tarım Makinaları	Pb, Cd, Fe, Mn ve V
-Pestisit ve herbisitler	Cu, Zn, Mn ve Cd

Ağır metal kirleticilerin yayılması, çevrenin metal kirleticiler tarafından kirlenmesinde temel problemidir. Ağır metallerin karasal, atmosferik ve hidrosfer arasında uğradıkları fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerinin birikimleri ve transfer yollarına etkisinin tespit edilmesi gereklidir (Chapman, 1978; Weisse ve ark., 1975).

1.2. Akarsular

Karalar üzerindeki yüzeysel sular yerçekimi etkisi ile en büyük eğim yönünde belirli bir mecrada toplanarak çizgisel bir akım oluşturlar. Akarsu, bu şekilde oluşan doğal su yolları içerisinde hareket eden sular için kullanılan genel sözcüktür (Erkek, Ağırlioğlu, 2002).

Akarsular aşındırma, taşıma ve yığılma ile yeryüzünün şekillenmesini etkileyen dış etkenlerden birisidir. Ayrıca yeryüzünün belirli bir bölgesinin (havza) sularını toplayarak hidrolojik çevrimin önemli bir parçasını oluşturmaktadırlar.

Bir akarsu kaynağından döküldüğü yere kadar birçok farklı toprak türünü ve birden fazla iklim bölgesini kat edebilir. Bu bakımdan akarsular fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönlerden büyük farklılıklar gösterir. Akarsular bu özelliklerinden dolayı açık ekosistem niteliğindedirler.

1.2.1 Akarsuların Sınıflandırılması

Akarsular topografik-morfolojik özelliklerine, akım değişimine, akım sürekliliğine, akım rejimine ve büyüklüklerine göre sınıflandırılırlar.

- a. Topografik-morfolojik özelliklerine göre sınıflandırma: Akarsuyun kaynağından mansap yönünde sahip olduğu eğime göre yapılan sınıflandırmada akarsular; dağ akarsuları, plato akarsuları, ova akarsuları, geniş akarsu ve haliçler olarak ayrılırlar.
- b. Akarsu boyunca akımın değişimine göre sınıflandırma: Akarsuyun kaynağından mansap yönünde sahip oldukları debinin değişmesine göre yapılan sınıflandırmada akarsular; sulak akarsular, bozkır akarsuları ve karstik akarsular olarak ayrılırlar.
- c. Akım sürekliliğine göre sınıflandırma: Akarsular yatağında yıl boyunca su bulunmasına göre yapılan sınıflandırmada akarsular; sürekli akışlı akarsular, periyodik akışlı akarsular, sel vadileri ve arktik akarsular olarak ayrılırlar.
- d. Akım rejimine göre sınıflandırma: Akarsular akımın sene içindeki değişimi olan akım rejimine göre düzenli veya düzensiz olmak üzere iki grupta toplanırlar. Akım düzenli akarsularda sene içindeki akım değişimleri aynı devrelerde aynı özelliği gösterir. Düzensiz rejimli akarsularda ise bir yıl kurak diğer bir yıl sulak sulak periyot meydana gelebilir.
- e. Büyüklüklerine göre sınıflandırma: Akarsu; dere, çay, ırmak, nehir sözcüklerin hepsinin ortak adıdır. Hiç veya önemli bir yankolu olmayan akarsulara dere, derelerin birleşmesiyle oluşan akarsulara çay, çay veya derelerin birleşmesiyle oluşan akarsulara ise nehir ismi verilmektedir. Bu sözcükler akarsuyun geçirdiği su miktarına göre tarif edilmediğinden birbirinden kesin sınırlarla ayrılmamışlardır. Bu nedenle birçok dere çay, birçok çay ise nehir büyüklüğünde olabilmektedir.

1.2.2. Akarsu Akım Rejimleri

Akarsuda dikkati çeken ilk olay akıntı ve akıntı hızıdır. Akarsularda “laminer” (düzgün) ve “türbülans” (girdaplı) olmak üzere başlıca iki akım tipi tanımlanabilir. Laminer akıma kıyıları düzgün, dibi düz ve akış hızı yavaş alan

akarsularda rastlanabilir. Laminer akan su, kanalın kıyılarına paralel ve düz bir çizgide, belirli bir hızda ilerler. Dip engebese arttığı zaman suyun hızı da artarak laminer akıntı türbülans akıntıya dönüşür. Akarsuların çoğunda su düzensiz ve engebeli nehir yataklarında aktığından anafor veya türbülans oluşturur.

Aynı zamanda bir akarsuda hız farklılığından dolayı değişik katmanlar oluşur. Genellikle su gövdesinin orta kısmı ve su yüzeyinin hemen altında, akıntı hızı en yüksek, dip ve kıyıları en düşüktür. Bu nedenle nehir tabanları türbülanslı kaçan küçük canlıların yaşadığı bir habitat olarak gelişmiştir.

Akarsuların akım rejimleri üzerine etkiyen en önemli olaylardan birisi de insanların azalan su kaynaklarını planlayarak kontrol altına almak ve kullanım amaçlarına uygun kalitedeki su ihtiyacını karşılamak için inşa ettikleri suni yapılardır. İnsanlar, enerji üretimi, taşkın kontrolü, zirai sulama ihtiyacının karşılanması, su temini, rekreasyonel amaçlı kullanımlar, su sporları, akarsu taşımacılığı ve akarsu balıkçılığı gibi amaçlar doğrultusunda doğal akarsuların akış yatakları üzerinde veya çevresinde inşa edilen yapılarla akarsu rejimini ve su kalitesini değiştirmektedir.

Değişik amaçlarla inşa edilen barajlar, akarsuyun doğal akış özelliklerini etkileyerek nehir ekosisteminin mansap ve memba tarafında köklü değişimlere neden olmaktadır. Nehirler beslenme kaynaklarına göre genellikle yağışlar ve kar sularının erimesi ile en yüksek debilerine ulaşırken barajlarda su tutulması nedeniyle debileri değişmekte ve dolayısıyla bu periyodik sisteme adapte olmuş canlılarda olumsuz yönde etkilenmektedirler.

Ayrıca barajların süspanse katıların ve sedimentlerin akarsu içindeki hareketlerin engellenmesi sonucunda mansap tarafındaki canlılar için hayati öneme sahip olan besin maddelerinin taşınımı engellenmiş olur. Değişen hidrolik şartlara dayanıklı bitki ve hayvan türleri bu yeni sistemde yaşama savaşını kazanırken değişikliklere karşı hassas olan türler yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bunun yanı sıra çevre kirlenmesine neden olan kirlenmeler baraj göllerinde çökebilirler ve nehirin mansap tarafında su kalitesinde belirgin iyileşmeler görülebilir.

Ardışık baraj göllerin her biri, benzeri kirleticiler için bir çökelme havuzu görevini gerçekleştirerek nehirin sonlandığı deniz veya okyanusa iletilen kirletici miktarını azaltırlar. Böylece özellikle deniz balıklarının üreme dönemlerinde yumurtalarını bıraktıkları lagün ve haliçlerde çevre kirliliğine bağlı olumsuz etkilerin azalması beklenebilir.

1.2.3. Akarsularda Yaşam

İnsanlık tarihine bakıldığında bütün büyük medeniyetlerin, yaşamsal faaliyetleri için ihtiyaç duydukları, temiz su kaynakları etrafında kurulduğu görülür. Akarsular insanların su ihtiyaçlarını temin ettikleri önemli tatlı su kaynaklarıdır. Bunu yanı sıra akarsular mikro su bitkisi ve hayvanlarından makro bitki ve hayvanlara kadar çeşitlenen bir yelpazede canlılar için önemli ekolojik yapılardır.

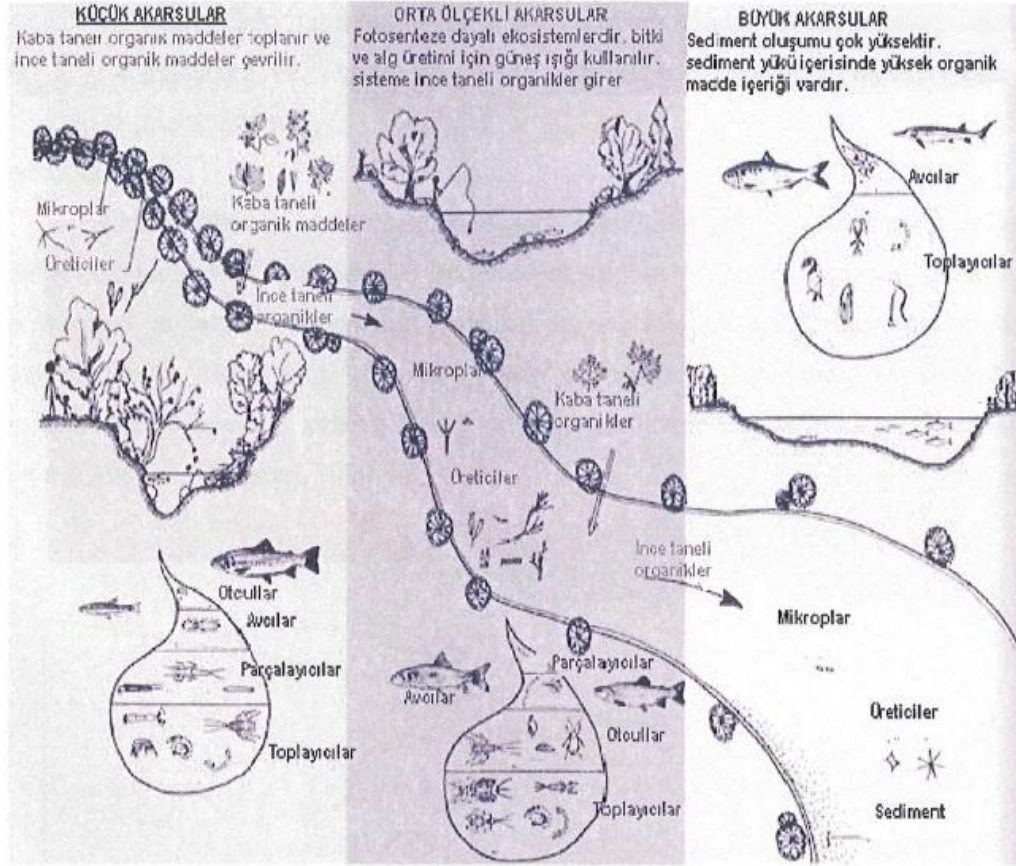
İyi bir çözücü olan su, akarsu yatakların geçtiği jeolojik yapıların içindeki maddeleri çözerek bünyesine katar. Böylelikle canlı yaşamı için gerekli olan nutrient ve minarelerin döngüsünü sağlar.

Akarsular büyüklüklerine göre değişik canlı türlerini içerirler. Dere yatakları, özellikleri iki farklı yaşam alanını (habitat) oluştururlar. Bunlardan biri sığ, çakıllı veya resifli dip tümseği, diğeri organik maddeleri içeren derin havuzcuklardır.

Dere ve çaylarda daha hızlı akan su, taş ve çakıllarla kaplı bölgelere çarparak oksijenlenir. Suyun sıcaklığı genellikle 20°C'den düşüktür. Kıyıları ağaçlarla gölgelendiğinden güneş ışınlarını az alır. Daha yavaş akan derin çayların resifli ve bölgelerinde türbülanslı akıntı çakılların üzerinden geçer. Güneş ışınları alan resif ve çakılların üzeri alg ve yosun kaplıdır. Havuzcuk bölgelerinde dip ince taneli sediment ve taşlardan oluşur. Canlı miktarı daha azdır ve karasal maddeler akıntının az olduğu bu noktalarda birikirler.

Nehirler ve ırmaklar daha derin ve suyu nehir yatağına güneş ışının geçişini engelleyebilecek kadar bulanık olabilir. Nehirlerde sıcaklık ortalaması 20°C'yi geçer. Nehirlerin genişliği dikkate alınırsa bitkilerin gölgelendirmesi etkisizdir. Nehir diplerinin eğimleri genellikle azdır. Nehirler akış doğrultuları boyunca çözünmüş, askıda maddeleri ve sediment partikülerini taşırlar.

Büyükliklerine göre sınıflandırılan akarsuların yapıları içinde cereyan eden ekolojik faaliyetlerde önemli değişiklikler göstermektedir. Şekil 1.3.'de akarsu büyüklüğüne göre su içinde gerçekleşen yaşamsal olaylar ve madde dönüşümleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 3.Akarsu Büyüklüğüne Bağlı Oluşan Akarsu Ekosistemleri

1.2.4. Akarsularda Katı Madde Taşınımı

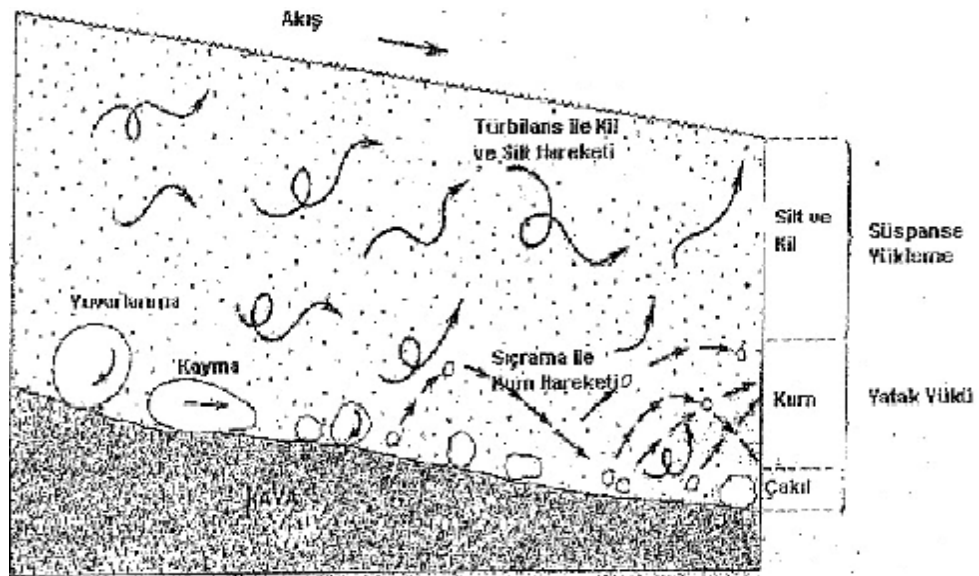
Akarsular katı maddelerin nehir havzasından okyanuslara ve denizlere taşınması açısından en önemli ekolojik birimlerdir. Bu katı maddeler akarsu havzasındaki erozyon, akarsu yatağındaki aşınmalar ve atmosferik katıların yağış vasıtasıyla akışa geçmesi gibi olaylardan kaynaklanır.

Akarsularda katı taşınımı konusunda birçok araştırma gerçekleştirilmiş ve bunlara göre bazı sınıflandırmalar yapılmıştır. En genel sınıflandırma;

I. Katı maddenin kaynağına göre: nehir yatağının hareketli tabanını oluşturan sedimentler ve havza erozyonundan kaynaklanan ve sedimentlerden daha küçük boyutlara sahip olan yıkanmış malzemeler

II. Akarsudaki taşınma şekline göre: suyun içinde askıda hareket eden maddeler ve akarsu yatağında sürüklenerek, kayarak hareket eden malzemelerdir.

Katı maddelerin incelenmesinde taşınma şekillerine göre yapılan sınıflandırma daha çok kullanılır. Akarsularda sediment taşınımında dört ana hareket durumu mevcuttur ve bunlar; durağanlık, yuvarlanma, sıçrama ve askıda taşınım olarak tanımlanabilir. Durağanlık sediment yatak materyalini, yuvarlanan ve sıçrayan materyaller sedimentler yatak yükünü ve askıda sediment askıda yüklenmeyi temsil eder (Qiwei ve Mingmin, 2000).

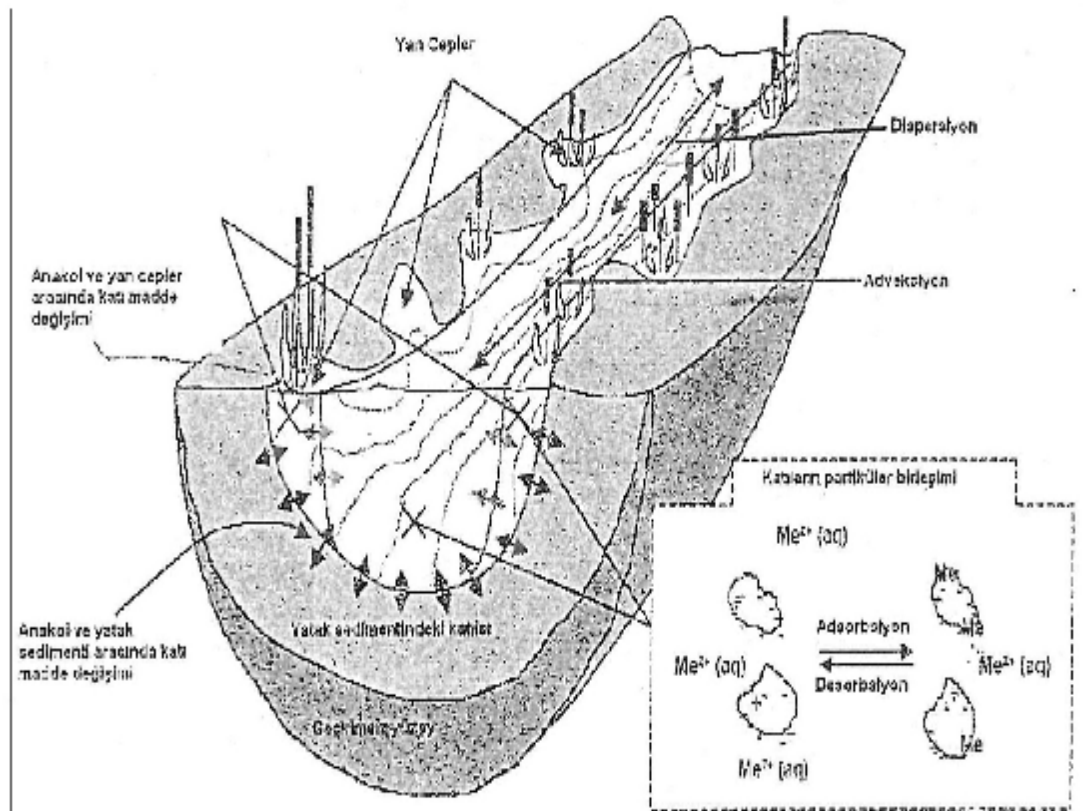


Şekil 1. 4.Akarsularda Katı Madde hareketleri

Katı maddelerin ve emüsyonların akarsu yataklarında dağılımlarını ve taşınımlarında en önemli iki hidrolik olay nehrin yatay hızına bağlı olarak akış yönü doğrultusunda maddelerin taşınmasını sağlayan adveksiyon ve deşarj edildikleri

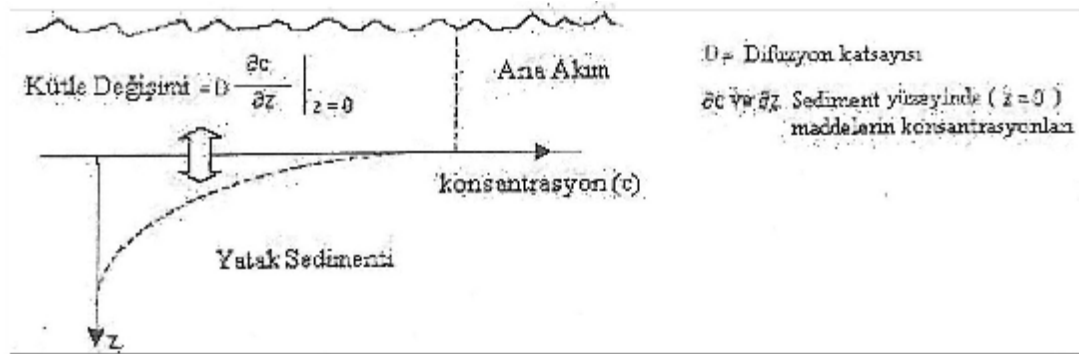
noktadan itibaren mansab ve menba yönünde yayılmayı sağlayan dispersiyondur. Akarsu yatakları yüksek miktardaki katı maddeleri (partiküllere tutunmuş halde veya çözünmüş formda) kısa veya uzun süreli olarak tutarlar (Berndtsson, 1990; Helios, 1996). Katıların sediment ortamından su gövdesine geçişleri maddelerin sediment içindeki konsantrasyonlarının erozyon ve benzeri nedenlerden ötürü daha yüksek olması sonucu gerçekleşir.

Akarsularda, anakol ve türbülansın az olduğu durgun bölgeler arasında bir su devinimi oluşur. Akarsu ceplerinde ve yatak sedimentlerindeki bu devinim, taşınım rotaların değişmesine, katı maddelerin alıkonma sürelerine ve su içerisindeki davranışlarına etkir. Bu bölgedeki değişim, anakolda hızlı bir şekilde seyreden suyun dışında alıkonulan farklı yapıda bir su oluşmasına neden olur. Bu olay şekil 1.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 5.Akarsularda Su- Sediment Arasında Katı Madde Değişimi

Hakansson (2002) akarsularda madde taşınımı ile yaptığı bir çalışma sonucu olarak aşağıdaki matematiksel modeli geliştirmiştir. Bu modele göre maddenin sediment ile su arasındaki difüzyonuna ve dolayısıyla difüzyon katsayısına, parçacık boyutu, pH, ve sıcaklık gibi özellikleri etkilemektedir. Ayrıca sediment ve su gövdesi arasındaki madde değişimi maddenin su ve sediment yüzeyindeki konsantrasyonlarına bağlıdır.



Şekil 1. 6. Akarsu Yatak Sedimentleri ile Ana Akım Arasında Madde Transferi (Hakansson, 2002).

Kolloidal ve süspanse katılar nehrin hidrolik şartlarına ve birleştikleri maddeler bağlı olarak belirli bir mesafe/süre sonra sediment bünyesine katılabilir veya ayrılabilirler. Sediment ve su gövdesi arasındaki bu madde transferi nehir kirliliği açısından çok önemli bir prosestir. Ayrıca çökelen partiküller arasında gerçekleşen etkileşimlere direkt olarak etkiyen ve maddelerin bulunma formlarını belirleyen kompleks fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler sedimentler hakkında yapılan bilimsel çalışmaların disiplinler arasında bir platforma oturmasına neden olmaktadır.

1.3. Sediment

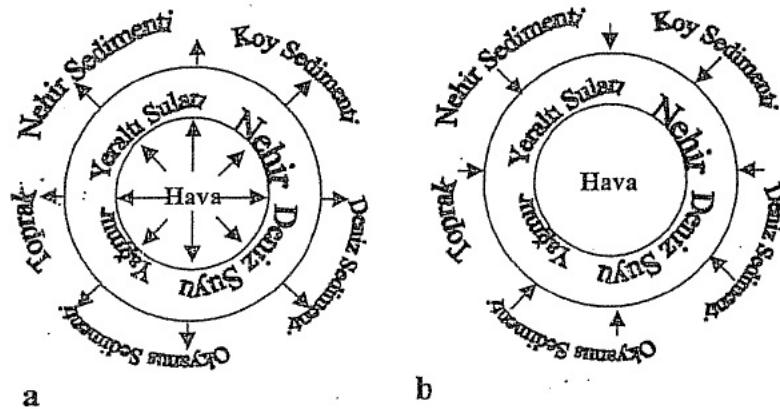
Yeryüzü kabuğunu oluşturan materyaller, mekanik ve kimyasal proseslerin yardımıyla parçalanmış ve dağınık bir şekilde bulunurlar. Bu materyallerin başkalaşım geçirmesiyle oluşan çakıl, kum, çamur ve çözünmüş tuz bileşikleri okyanuslara ve denizlere akarsular yardımıyla taşınırlar (Levin, 1981).

Sediment birçok akarsu, göl, haliç ve kıyı suları için süspanse yükleme ve sediment yataklarının temel bileşenidir. En basit olarak sediment tanımı; “oluştığı yerden çökeldiği yere kadar su tarafından taşınan maddeler” şeklinde tanımlanabilir. Su yataklarındaki sediment, suda asılı halde veya tabanda sürüntü malzemesi olarak taşınan alüvyal malzemeleri kapsamaktadır.

Sedimental kayaçlar rüzgar, buzulların hareketi ve akarsuların aşındırıcı etkileri ile önce küçük ve hafif parçalara ayrılarak taşınırlar. Rüzgar yardımıyla taşınan katı maddeler boyut ve ağırlıklarına göre bir süre taşındıktan sonra yeryüzünde birikirler. Benzer şekilde akarsu hızına ve tanecik içeriğine göre su ortamına giren katı maddeler belli bir süre sonra hareket kabiliyetlerini yitirerek nehir yataklarına çökelirler (Levin, 1981).

Akarsularda madde taşınımı maddelerin yoğunlukları ve nehir akış hızı ile ilişkilidir. Yoğunluğu suyun yoğunluğundan fazla olan maddeler nehir akış hızının büyüklüğüne göre belirli bir mesafe sonunda nehir yatak sedimentlerine çökelirken yoğunluğu sudan küçük olan maddeler yüzer madde olarak su yüzeyinde taşınırlar (Hakansson, 2002).

Sedimental formda taşınan madde miktarı çözünmüş formda taşınan madde miktarından çok daha büyüktür. Ancak çözünmüş haldeki maddeler daha hızlı taşınabildikleri ve biyolojik yapılar tarafından kolaylıkla alınabildikleri için ayrı bir öneme haizdirler. Şekil 1.7.’de sediment ve toprak tarafından okyanuslara taşınan kirleticileri rotaları gösterilmiştir.



Şekil 1. 7. Ağır Metallerin Hidrolik Çevrim İle İlişkileri

Şekilde hidrolik çevrim birbiri ile ilişki içinde olan üç çember ile gösterilmiştir. En içteki çember atmosferi temsil etmekte ve kirletici dağılımı açısından en hızlı olan basamaktır. İkinci çember olan su çemberi (nehirler ve haliçler) haftalardan yıllara değin uzanan daha yavaş süreçler içermektedir. En dıştaki çember çok yavaş hareket eden partikülleri içerir. Aşırı kirlenme sonucunda karışan kirleticiler milyonlarca yıl sürecektir jeolojik döngü içerisine dahil olmaktadır. Şekil 1.7.a'da kirleticilerin başlangıç rotaları gösterilirken şekil 1.7.b'de zamanla ağır metal konsantrasyonları artan çevre bileşenlerin ağır metalleri taşıma yolları görülmektedir (Salomons ve Stigliani, 1995).

Sedimentler bünyelerinde barındırdıkları partiküllere bağlı olarak değişik tekstürlerde olabilirler. Sedimentlerde değişik oranlarda metal bileşikleri yanında kalker, silt ve birçok organik maddeler bulundurmaktadırlar. Su ortamına deşarj edilen organik kimyasallar ve bunların mikrobiyolojik faaliyetlerle oluşan parçalanma ürünlerinin yanında fito ve zooplanktonun metabolik ürünleri de sedimentlerde bulunabilir (Baykut ve ark., 1987).

Çizelge 1. 2.Sediment Parçalarının Boyut Dağılımları (Faust ve Aly, 1993)

.Parçacık Adı		Parçacık Çapı (mm)	Çökme Süresi (Saat)
Çakıl		>1	$>8,3 \times 10^{-5}$
Çakıllı Kum		1	$8,3 \times 10^{-5}$
Kum	Kaba Kum	1	$8,3 \times 10^{-4}$
	İnce Kum	0,1	$8,3 \times 10^{-3}$
Silt		0,01	0,55
Bakteri		0,001	55
Kil		<0,0001	>5520

1.3.1. Sudaki Ağır Metallerin Davranışlarına Etki Eden Prosesler

Sucul ortamlarda ağır metallerin davranışlarına etkiyen prosesler dört ana kategoride sınıflandırılabilir.

i. **Taşıma prosesleri:** Metaller genellikle parçalanamadıkları ve uçucu olmadıkları için doğal su sistemlerinde taşıma prosesleri etkilidir. Bu prosesler şu mekanizmalara göre gerçekleşir.

- **Adveksiyon:** Kirleticiler askıda, çözünmüş ve askıda sedimentlere tutunmuş formlarda hidrolik akış ile taşınabilirler.
- **Sedimentasyon:** Askıda ve askıda sedimentlere tutunmuş kirleticilere ve ek olarak sediment yatakları çözünmüş kirleticilerin adsorbsiyon/desorbsiyon mekanizmalarına etkir.
- **Çökelme:** bu taşıma prosesi göz ardı edilmemesi gereken, kirleticilerin faz değiştirdiği ve bahsedilen diğer taşıma mekanizmaları arasında değişimlerini etkileyen bir mekanizmadır.

ii. **Dönüşüm prosesleri:**

- **Biyomodifikasyon:** Mikrobiyal metabolizma gerçekleştirilir. Toksik bir bileşiğin yapısının mikrobiyal metabolizmalarca değiştirilmesidir

iii. **Türleme Prosesleri:**

- **Asit-Baz Eşitliği:** Asit-baz dengesi, iyonların durumlarını belirler ve uçuculuk, çökelme ve çözünme proseslerine etkir.
- **Sorbsiyon:** Hidrofobik organik maddeler sorbsiyon eşitliklerine göre süspanse sedimentler tarafından sorbe edilir. Sorbsiyon maddesinin özelliklerini süspanse sediment belirler.

iv. **Biyolojik Birikme:** Biyolojik birikme besin zincirindeki parçalanamayan ve asimile edilemeyen bileşiklerin varlığına işaret eder.

Çizelge 1.3.'te bazı ağır metallerin sucul çevrelerde gösterdikleri muhtemel taşıma ve dönüştürme işlemleri özetlenmiştir.

Çizelge 1. 3.Ağır Metal Su Ortamında Girdikleri Reaksiyonların Özeti

	Anyon değişimi	Sorbsiyon potansiyeli	Asit-Baz hidrolizleri	İnorganik ligandlarla birleşmek	Organik ligantlarla birleşmek	Redoks tepkimleri
Cd		+	+	+	+	
As	+					+
Hg		+	+	+	+	+
Se	+					+
Pb		+	+	+	+	+
Zn		+	+	+	+	
Cu		+	+	+	+	

1.3.2. Sediment Özellikleri

Akarsu, haliç ve lagün gibi su sistemlerinde ağır metaller su ortamı ile katı madde arasında (sediment, suspanse katı maddeler ve canlılar) dağılırlar (Luoma, 1983). Metallerin su ortamındaki dağılımları, hidrodinamik, biyokimyasal ve çevresel şartlara (redoks, pH, tuzluluk ve sıcaklık gibi) bağlıdır (Samiullah, 1990; Cantwel ve ark., 2002; Saulneir ve Mucci, 2000). İnce taneli yatak sedimentleri doğal sorpsiyon özelliğine sahip oldukları için ağır metal kirleticilerin sucul canlılara olan toksik etkilerini azaltır (Grimwood ve McGhee, 1979; Petersen ve ark., 1997; Van Ryssen ve ark., 1999; Li ve ark., 2000; Van der Berg ve ark., 2001; Zoumis ve ark., Fan ve ark., 2002).

1.3.2.1. Sediment Tanecik Boyutu

Sedimentin değişik karakterdeki bölümleri ile etkileşim içine giren toksik metal bileşenleri ince taneli (kil ve ince boyutlu silt) ve organik partiküllere bağlanır ve tabana çöker. Kil ve organik partiküllerin sorbsiyon kapasitelerinin çok yüksektir ve sucul ortamdaki birçok kimyasal madde ile kirleticinin taşınımı için bir vasıta gibi davranmaktadırlar. Bu tür sedimentler aralarında çekim kuvveti olanlar olarak

adlandırılır. Kil ve organik maddeler toksik metaller, polar ve apolar kimyasal türleri, amanyok ve fosfat gibi kirleticileri etkin olarak çökeltir veya adsorblarlar.

Tipik olarak nehir ve haliç sistemlerine ait, aralarında çekim kuvveti olan sedimentler (balçık) kil, silt ve organik maddelerden oluşurlar. Partiküller arasındaki çekim kuvveti ince taneli kil taneciklerinde ($\leq 2\mu\text{m}$) kaba silt taneciklerinde (2-100 μm) daha etkilidir.

Aralarında çekim olan ince taneli sedimentlerin tortulaşması ve erozyonu, çekim olamayan sedimentlere nazaran daha komplekstir. Kum ve büyük boyutlu organik partiküller gibi kaba taneli partiküller içeren sedimentlerin sucul ortamda davranışları ve etkileşimleri hala tam olarak anlaşılamamıştır (Metha, 1989).

Erozyon esnasında ince taneli partiküller yatak içindeki kaba taneli partiküllerden ayrılır. Kaba taneli partiküller arta kalan kil mineralleri birleşerek tabanı kaplarlar (Ziegler ve Lick, 1988). Sonuç olarak, aralarında çekim kuvveti olan partiküllerin çökmesi ile oluşan proses, aralarında çekim olmayan kum taneciklerinin oluşturduğu klasik sedimentolojiden farklı kılmaktadır.

Kimyasal maddelerin sediment tarafından alınan miktarlarının ölçülmesinde dağılma katsayısı, K_D sık kullanılan bir katsayıdır. K_D bir kimyasalın sediment ve su gövdesi arasındaki dengeye bağlı olarak sedimentçe alınması veya su gövdesine bırakılmasını temsil eden bir faktördür. Bu nedenle K_D kimyasal maddelerin çevredeki dağılımlarını modellemekte oldukça sık kullanılır (Kurt ve Dong, 2002).

Ağır metallerin sediment ve su arasındaki rotalarını ve su-sediment kalitesinde yol açtıkları değişimleri saptamak için kimyasal hesaplama ve deneysel çalışmalara dayalı çeşitli modeller geliştirilmiş ve her nehir sedimentinin farklı özelliklere sahip olmasından dolayı deneysel modellerin gerçeği daha iyi yansıttığı bulunmuştur (Koelmans ve Radovanovic, 1998).

İnce taneli sedimentlerin ağır metaller ve diğer adsorblanbilir bileşiklerle olan ilişkisi tipik olarak aşağıdaki eşitliklerle açıklanabilir (O'Connor, 1998).

$$r = K_D C_d \quad (2)$$

Burada;

r = sediment tarafından adsorbe edilen kirletici miktarı, $\mu\text{g/g}$

C_d = çözünmüş kirletici konsantrasyonu, $\mu\text{g/L}$

K_D =dağılma katsayısı, L/g

Askıda katı maddelerin konsantrasyonunun (m_{ss}) kirleticilerin çökmesi ve adsorbsiyonu (C_a) ile yakın bir ilişkisi vardır. θ , su-sediment karışımının su muhteviyatı (su hacim/toplam hacim)olmak üzere, toplam konsantrasyonu

$$C_a = m_{ss} \cdot r \quad (3)$$

$$C_T = \theta C_d + C_a \quad (4)$$

r değeri (3) denklemi için yerine yazılıp toplam konsantrasyon için (4) denkleminde konulursa sonuç olarak (5) denklemi elde edilir;

$$C_T = C_d (\theta + K_D m_{ss}) \quad (5)$$

Su – sediment transferi için nem oranı θ , birdir. Ancak sedimentler için θ , poroziteye eşittir.

$$K_D (\text{L/g}) = K_{D0} \times Ss^a \times 10^{-3} \quad (6)$$

Sucul ortamlarda süspanse katı madde konsantrasyonunun (Ss) bir fonksiyonu olarak metallerin deneysel çalışmalar sonucunda K_{D0} katsayıları çıkarılmış ve çizelge 1.4.'de verilmiştir. Ancak literatüre göre, benzer çevresel şartlarda elde edilen K_D değerleri tutarlılık göstermemektedir.

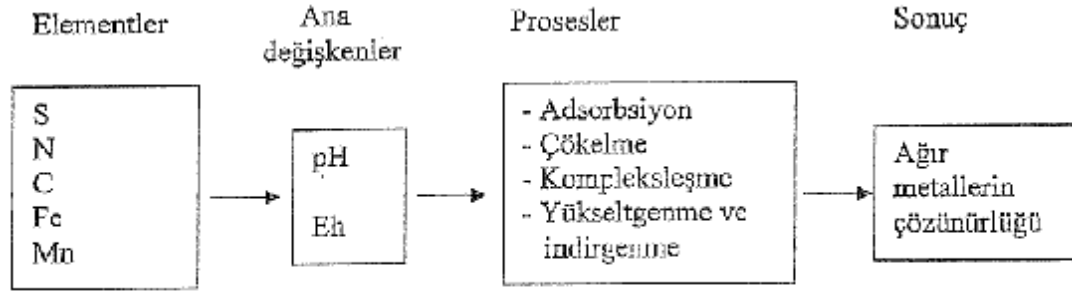
Çizelge 1. 4.Akarsu ve Göllerde Bazı Metallerin K_{D0} Katsayıları (EPA, 1985)

	Akarsularda	Göllerde
Metal	K_{D0} (L/g)	K_{D0} (L/g)
As	$0,48 \times 10^6$	Saptanamadı
Cd	$4,00 \times 10^6$	$3,52 \times 10^6$
Cr	$3,36 \times 10^6$	$2,17 \times 10^6$
Cu	$1,04 \times 10^6$	$2,85 \times 10^6$
Pb	$0,31 \times 10^6$	$2,04 \times 10^6$
Hg	$2,90 \times 10^6$	$1,97 \times 10^6$
Ni	$0,49 \times 10^6$	$2,21 \times 10^6$
Zn	$1,25 \times 10^6$	$3,34 \times 10^6$

Sediment içeriğinde bulunan ve girdiği tepkimeler açısından çevre kirliliğine yol açan organik bileşiklerden birisi de *humik* maddelerdir. Humik maddeler, biyolojik dokuların kimyasal ve mikrobiyolojik olarak parçalanması ile oluşurlar. Asidik, koyu renkli, karboksilik ve fenolik hidroksil gruplarını içeren, kısmen aromatik, molekül ağırlıkları birkaç yüzden, birkaç bine ulaşan karmaşık yapıları maddelerdir. Tüm topraklarda bulunan ve suda çözünen bileşiklerden bir diğeri *fulfik asit*'tir. Fulfik asit oksitlenme derecesi yüksek, kimyasal ve biyolojik olarak kararlı humik bileşiklerdir.

1.3.2.2. Sediment ve pH

Su ortamlarında pH ve redoks potansiyeli (Eh), ağır metallerin genel olarak verdikleri adsorbsiyon ve çökelme proseslerinin gerçekleşmesini ve nasıl gerçekleşmesi gerektiğini tayin eden temel jeokimyasal fenomenlerdir (Bourg ve Schindler, 1985). İnsan faaliyetleri (endüstriler, madencilik, tarım, taşımacılık ve kentleşme gibi) zaman içinde su kimyasının değişmesine öncülük ederler. Aşağıda temel elementlerin döngüsü ve metallerin çözünürlüğüne etki eden prosesler gösterilmiştir.



Ağır metal katyonları su ortamlarında pH'ın düşmesiyle katılar tarafından desorbe veya çözünme yoluyla su ortamına geçerler. Redoks potansiyeli ise Fe, Mn ve Cr gibi metallerin çözünürlüklerinde önemli ve direkt etkileri vardır. Değerliklerine göre metaller daha kolay veya daha zor çözünür formda bulunurlar.

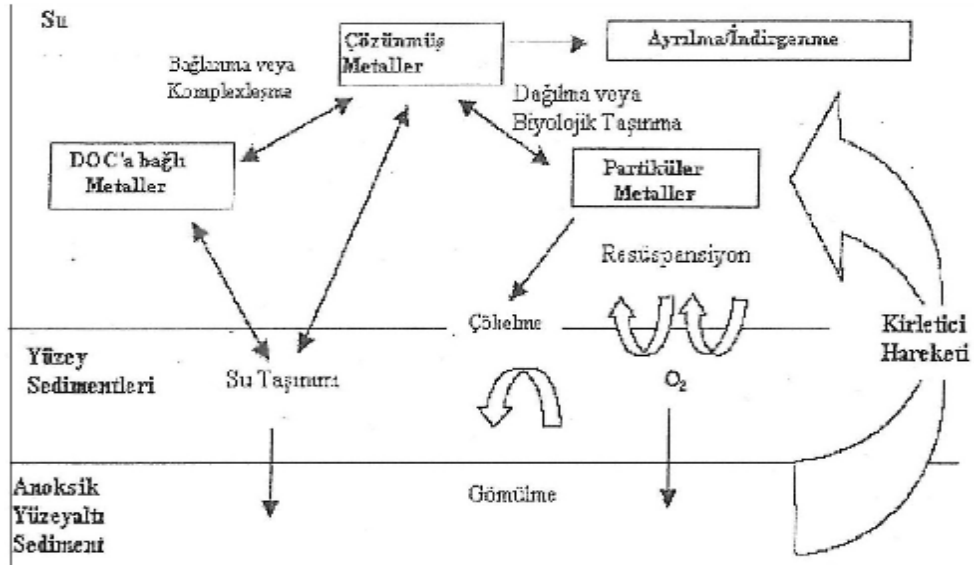
Değişik doğal şartlar altında yapılan çalışmalarda sedimentlerin pH ve redoks potansiyelleri, sırasıyla, 3,5, -9 ve -6, +12 olarak bulunmuştur.

Redoks prosesleri sedimentlerin asidite ve alkanitelerin sebebidir (Van Bremen, 1987). Alkanite ve pH indirgenme ve yükseltgenme tepkimelerini artırır.

1.3.2.3. Sediment Türbilansı ve Ağır Metal İlişkileri

Su ortamlarının tabanlarındaki türbülans sedimentin kimyasında değişimler yaratarak kirleticilerin harekete geçmesine neden olabilir. Ağır metaller çevre şartlarının değişmesi ile desorbsiyon ve taşınma prosesleri ile daha toksik veya organizmaların bünyelerine daha kolay olabileceği formlara dönüşebilir (Zhaung ve ark., 1994; Strum ve ark., 2002).

Günülik gel-gitler, rüzgar enerjisi ve fırtınalar yüzey sedimentindeki ağır metalleri taşınabilir hale getirebilirler (Calmano ve ark., 1993). Türbülans gibi hidrodinamik olaylar anoksik sedimentleri oksijenlendirirler. Beslenmek için canlıların yarattığı biyolojik türbülans ve yatak sedimentlerindeki kazma, oyma gibi hareketlerde sedimentlere oksijen kazandırır (Simpson ve ark., 1998). Son olarak su ortamındaki insan faaliyetleri sedimentin fiziksel olarak dağılmasının ana sebebidir.



Şekil 1. 8. Ağır Metallerin Su Ortamında Taşınım ve Dönüşümleri

Sediment dağılımı sedimentin kimyasal özelliklerinin değişmesine öncülük eder. Çözünmüş oksijen redoks potansiyelinde (Eh) pozitif bir değişikliğe neden olur. Anoksik sedimentlerin oksijenlenmesi mikrobiyal aktivitenin artmasına dolayısıyla da pH'ın düşmesine neden olur (ana sebep sülfürün oksidasyonudur) (Forsner ve ark., 1989; Petersen ve ark., 1997; Simpson ve ark., 1998; Reible ve ark., 2002b). pH'ın azalmasındaki değişim miktarı sülfürün miktarına ve hangi basamaklarla oksidasyona uğradığına bağlıdır (Delaune ve Smith. 1985). Sediment-metal komplekslerindeki kimyasal değişimler, metallerin genellikle sülfüre bağlı kompleksler (FeS/MnS) halinde harekete geçmeleri ve taşınmalarına neden olur (Calmano ve ark., 1993). Redoks potansiyeli (Eh) ve pH'ın fazla değişmediği oksijenli sedimentlerde sedimentten ayrılan metal miktarı önemsiz denecek kadar azdır (Förstner ve ark., 1989; Reible ve ark., 2002b).

Anoksik sedimentin resüspanse olması, farklı desorbsiyon ve sülfürler tarafından adsorblanma oranları ile sonuçlanır. Örneğin Hg, Pb, Cu'nun anoksik sedimentten ayrılmaları Zn'ye göre daha hızlıdır (Caille ve ark., 2003). Metaller, oksik ortamda çabuk çözülebilen FeS ve MnS'ler tarafından sediment oksijenlendikten hemen birkaç dakika sonra ayrılırlar (Allen ve ark., 1993; Simpson ve ark., 1998; Caetano ve ark., 2002). Ancak sülfür ile daha karalı bağları olan

metaller (CuS gibi) yavaş olan oksidasyon kinetiklerinden dolayı uzun zamanda oksitlenirler (Caetano ve ark., 2002). Sedimentlerdeki metallere ayrılarak su ortamına geçen Fe ve Mn'ler, Fe ve Mn oksitler/hidroksitler olarak geri çökelirler (Di Toro ve ark.,1990; Saulnier ve Mucci, 2002; Caetano ve ark., 2002). Metallerin resüspanse olan sedimentlerden ayrılması dakikalarla sürebilecek kısa ve haftalarca zaman alabilecek uzun proseslerle ilişkilidir. Periyodik ve dönüşümlü çevirim prosesleri, ağır metallerin konsantrasyonunda iniş ve çıkışlara neden olur (Latimer ve ark., 1999). Calmano ve ark., (1993) sedimentlerin uzun vadede resüspanse olarak kalmalarının değişik metal bağlarına neden olduğunu bulmuştur. Yaptığı çalışmada büyük bir olasılıkla sülfür ve organik maddeler bağlı Zn, Cd, Cu ve Pb'nin daha kararsız bağlarla karbonatlara bağlı ve değişebilir formlarda oldukları gözlemlemiştir. Sonuç olarak çözünmüş Cd ve Zn konsantrasyonlarının arttığını gözlemlemiştir. Bazı iki değerlikli metaller (Ni, Zn, Cd, Pb, Cu ve Hg) anoksik sedimentteki Fe/Mn monosülfürler ile yer değiştirerek çözünürlüğü az sülfürler olarak çökelirler (Di Toro ve ark., 1990; Allen ve ark., 1993).

Metal oksit/hidroksitlerin bağlandığı yüzeylerin çeşitliliği, bileşiklerin stabiliteleri açısından önemlidir. Adsorbsiyon yüzeylerindeki katyonların rekabetçi ilişkileri, metallerin adsorbsiyon kapasitesine bağlı olarak değişebilir. Metalin adsorbsiyonundaki artma veya azalma, çözünmüş ligandların bir katı yüzeye bağlanmak için metal iyonları ile rekabete girmesinden kaynaklanabilir (Tessier ve Campbell, 1987). Slotton ve Reeuter (1985) oksidasyon esnasında Zn'nin hızlıca adsorblandığını bulmuşlardır. Ancak Cd, diğer metallerin aksine adsorblanmadan suda kalmıştır. Bunun sebebi muhtemelen Cd'nin klorlarla ve diğer anyonlarla kompleksleşmesinin Fe oksit/hidroksitlerle birleşmesini engellemesidir (Förstner ve ark., 1989).

Çizelge 1. 5.Ağır Metallerin Sediment İçinde Bağlandığı Yapılar

Ağır Metal	Sediment Bölümü	Araştırmacılar
Pb ⁺²	-Mn Oksit -Kalıntı Halde	Dong ve ark., 2000; Fan ve ark., 2002; Lopez-Sanchez ve ark., 1996.
Zn ⁺²	-Sülfürler	Shul'kin ve Bogdanova, 1998; Li ve ark., 2000.
Ni	-Kalıntı Halde	Lopez-Sanchez ve ark., 1996.
Cd ⁺²	-Fe/Mn Oksitler	Förstner ve ark., 1989; Zhuang ve ark., 1994; Dong ve ark., 2000.
	-Organik Madde	Shul'kin ve Bogdanova, 1998; Li ve ark., 2000.
	-Değişebilir Katyon/Karbonatlar	Lopez-Sanchez ve ark., 1996.
Cu ⁺²	-Sülfürler	Lopez-Sanchez ve ark., 1996; Calmano ve ark., 1993.
	-Organik Maddeler	Lopez-Sanchez ve ark., 1996.
	-Kalıntı Halde	Fan ve Ark., 2002; Shul'kin ve Bodanova, 1998; Li ve ark., 2000,
Cr ⁺²	-Fe/Mn Oksitler	Lopez-Sanchez ve ark., 1996.

1.3.3. Sediment Kirliliği ve Sediment Kalite Değerlendirmesi

Doğal kaynakların aşırı kullanılması kara ve su ortamları için bir baskı haline getirilmiştir. Aşırı kullanımın sonucu ortamlara giren ve taşınan metal konsantrasyonlarının (kadmiyum, cıva, kurşun, bakır vb.), gübreler (fosfor ve azot) ve diğer maddelerin (kompleks organik bileşikler gibi) biyosfere giren miktarını artırmıştır.

Bu maddelerin biyosfere katılımlarının başlıca yolları, atmosferik birikme, yüzey taşkınları, yer altı suyu ve atık boşaltımıdır. Bu maddelerin parçalanmasının yavaş olması ve birikebilme özelliklerinden dolayı karasal ve sucul ortamlardaki yaşamı tehdit eder bir konuma gelmişlerdir. Sucul hayatı tehdit eden kirleticilere

karşı önlem almak için, bu maddelerin su ortamındaki davranışlarını ve rotalarını öğrenmek, kirleticilerin ekosisteme olan etkilerinin anlaşılması gereklidir. Ekolojik etki değerlendirmesi yapılması ve ekolojik modellerin kurulması multi-disiplinler, bilimsel bir çalışma gerektirmektedir. Çevresel etki çalışmalarının yapılabilmesi için maddelerin davranışları ve taşınım proseslerinin tanımlanarak matematiksel bir şekilde ifade edilmesi gerekmektedir.

Analizleri yapılan sediment örneklerinin kimyasal içerikleri belirlendikten sonra yapılması gereken bu değerlerin doğal ortamlarda ne gibi etkilere sahip olduğunu değerlendirmektir.

Sediment kalitesi, bentik organizmaların popülasyonlarının sağlığı, sediment toksisitesi, sedimentteki kimyasalların biyolojik olarak birikebilirliği, toksisite tanımlama değerlendirmeleri ve yukarıdaki birkaç ögenin bir arada kullanılmasıyla değerlendirilebilir. (Burton, 1992). Sediment kalitesini değerlendirmeye yönelik bütün yaklaşımlar;

- Sediment zehirli mi?
- Sedimentteki madde veya maddeler zehirliliğe neden olmakta?
- Maddelerin sedimentteki güvenli konsantrasyon aralığı nedir?
- Kirleticilerin birleşmesinin etkileri nedir?

Sorularını cevaplamaya yöneliktir. Bu sorulara cevap verecek sediment kalite değerlendirmeleri sonucunda sediment kalite kılavuzu değerler (SQG) elde edilmeye çalışılmıştır.

Sediment kalite kılavuz değerleri, kirleticilerin ölçülebilen biyolojik etkilerine bağlı olarak bulunan toksisite eşik değerine dayanır. Örneğin bir yöre ve madde için toksisite eşik değeri kirleticinin konsantrasyonuna bağlı olarak (kuru ağırlık cinsinden) organizma büyümesi veya çoğalması ile ilişkilendirilir. Maddelerin sedimentteki zehirlilik seviyelerinde bulunup bulunmadıklarının belirlenmesi için US EPA tarafından geliştirilen etki değeri-düşük, ER-L (effect range-low) ve etki değeri orta, ER-M (effect range-median) klavuz değerleri kullanılmaktadır (Long ve Morgan, 1990). ER-L ve ER-M, 1990-95 yılları arasında yapılan birçok sayıda

sediment çalışması neticesinde elde edilen yüksek kaliteli verilerin, sırasıyla 10. Ve 50. pörsentilleri olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 1.6.'da dokuz ağır metal için belirlenen ER-L, ER-M değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. 6.Ağır Metaller İçin Sediment Kalite Kılavuzu Değerleri

Ağır Metaller	ER-L (mg/kg kuru ağırlık)	ER-M (mg/kg kuru ağırlık)
Arsenik	8,2	70
Kadmiyum	1,2	9,6
Krom	81	370
Bakır	34	270
Kurşun	46,7	218
Cıva	0,15	0,71
Nikel	20,9	51,6
Gümüş	1,0	3,7
Çinko	150	410

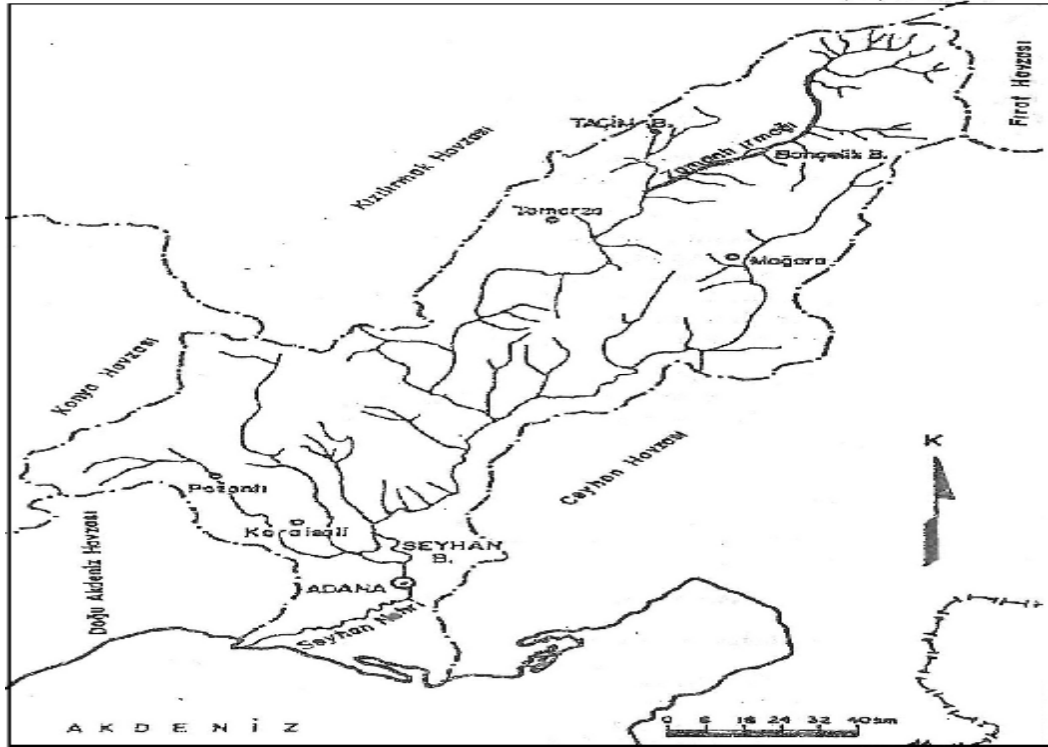
Bunun dışında US EPA tarafından daha basit bir şekilde sedimentlerin temiz, orta kirli, oldukça kirli şeklinde bir sınıflandırması mevcuttur. Çizelge 1.7.'de sedimentler için EPA'nın klavuz değerleri görülmektedir.

Çizelge 1. 7.Sedimentler İçin EPA Kılavuz Değerleri

Metal	Kirli Değil (mg/kg kuru ağırlık)	Orta Kirli (mg/kg kuru ağırlık)	Oldukça Kirli (mg/kg kuru ağırlık)
Kurşun	<40	40-60	>60
Nikel	<20	20-50	>50
Krom	<25	25-75	>75
Bakır	<25	25-50	>50
Mangan	<300	300-500	>500

1.4. Seyhan Havzası ve Seyhan Nehri

Seyhan Nehri Havzası Doğu Anadolu Bölgesinin batısında, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerin doğusunda $36^{\circ} 30'$ ile $39^{\circ} 15'$ kuzey enlemleri ve $34^{\circ} 45'$ ile $37^{\circ} 00'$ doğu boylamları arasında kalan 20.731 km^2 'lik bir alanı kapsamaktadır. Havza, doğudan Fırat ve Ceyhan Havzası; batıdan Doğu Akdeniz, Konya, Kızılırmak Havzalarıyla çevrelenmiştir. Havzanın küçük bir bölümü Sivas, Kahramanmaraş, Niğde, Mersin İl sınırlarında olmakla beraber havzanın büyük bir bölümü Adana ve Kayseri İl sınırları içinde kalmaktadır.



Şekil 1. 9.Seyhan Havzası

Seyhan Havzası ülkemizde yerleşim birimi, tarımcılık ve endüstrileşmenin çok gelişmiş olduğu bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Nehir çevresinde gerçekleşen şehirleşme sonucu açığa çıkan evsel nitelikli atık sular, tarım alanlarında dönen drenaj suları ve endüstriyel nitelikli sular için alıcı ortam işlevi görmektedir. Nehir suyuna yapılan bu deşarjlar sonucu nehir ekosisteminin sağlığı bir çok araştırma ve çalışmaya konu olmuştur.

Seyhan Havzası Aşağı ve Yukarı Seyhan Havzaları olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Aşağı Seyhan Havzası Seyhan nehrinin denize döküldüğü yerde sıfır kotuna inen, kuzeyde ise Toros dağlarının 3.500 m’lik yükseltilerine kadar uzanan engebeli bir arazi parçası olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 1996).

Aşağı Seyhan Nehri, 2, regülatör köprüden sonra Akdeniz’e kadar 94 km uzunluğundadır. Nehir havzayı Yüreğir (130.000 ha) ve Tarsus (80.000 ha) ovaları olmak üzere iki kısma ayırmaktadır. Havzada bu ovaların sulama gereksinimlerini karşılamak amacıyla, su kaynağı Aşağı Seyhan Nehri olan Yüreğir (YS) ve Tarsus (TS) sulama kanalları ve sulamadan dönen tarımsal suların toplanması için inşa edilmiş drenaj kanalları (YD ve TD) bulunmaktadır.

1939 yılında Aşağı Seyhan havzasında başlayan sulama projesi halen devam etmektedir. Bu proje güneyde Akdeniz, Batıda Berdan nehri, kuzeyde Toros dağlarının etekleri, doğuda Ceyhan ile sınırlı olup 203.800 hektarlık bir araziyi kapsamaktadır. Aşağı Seyhan Ovası (ASO) projesi sonucunda 120.200 hasahanın sulama ve drenaj tesisleri tamamlanarak işletmeye açılmıştır ASO sulama şebekesinde 2.880 km uzunluğunda sulama kanalı ve 1.973 km civarında drenaj kanalı bulunmaktadır (DSİ, 1994).

Bu drenaj kanalları tarımsal faaliyetler ve yağışlar sonucu geri dönen tarımsal sulama suların taşınması dışında, endüstriyel ve evsel nitelikli sular için alıcı ortam haline gelmiştir. Batı Adana Evsel Atıksu Arıtma Tesis çıkış suyunu Yeni Dam mevkiinde TD8’e deşarj etmektedir. TD0 drenaj kanalı Tarsus Ovası’nın endüstriyel ve evsel özellikteki tüm atık sularını denize dökülmesine yaklaşık 3 km kala Seyhan Nehrine boşaltmaktadır.

1.4.1. Bölgenin İklimsel Özellikleri

Seyhan havzasının meteorolojik özellikleri tarımsal faaliyetlerin uygulaması için oldukça elverişlidir.

Seyhan havzasının güneyi Akdeniz iklim özelliklerini göstermektedir. Akdeniz ikliminde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle yağmur şeklindedir. Bölgenin sıcaklığı yüksekliğe bağlı olarak güneyden kuzeye

gidildikçe azalır. Nem oranı kışın tüm havzada, yazın ise kıyı ovasında yüksektir. Yıllık ortalama sıcaklık güneyde yaklaşık 18°C iken kuzeyde bu değer 7,8°C' ye kadar düşer (DMİ., 1984).

Bölgedeki yağış miktarı ve dağılımları, özellikle tarımsal kökenli kirliliğin miktar ve konsantrasyonunu etkilemesi nedeniyle önem taşımaktadır. Seyhan havzasında yağışın en çok yoğun olduğu mevsim, yıllık ortalama yağışın yaklaşık %49,7'sini oluşturan kış mevsimidir. İlkbahar ve sonbaharda ise toplam yağışın sırasıyla, %26,4 ve %18,6'sı görülmektedir. Aşağıdaki çalışma alanının aylık ortalama sıcaklıkları ve yağış normalleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 1. 8. Adana İli Ortalama Sıcaklık ve Ortalama Yağış Normalleri (1970-2010) (DMİ, 2011)

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Yağış (kg/m ²)
Ocak	9,6	102,2
Şubat	10,5	83,1
Mart	13,6	59,0
Nisan	17,6	58,7
Mayıs	21,8	41,0
Haziran	25,7	20,3
Temmuz	28,2	13,3
Ağustos	28,5	13,7
Eylül	21,6	16,5
Ekim	21,6	45,4
Kasım	15,4	81,2
Aralık	10,6	126,5

1.4.2. Tarımsal Faaliyetler

Seyhan havzasında, endüstriyel gelişmenin büyük boyutta gerçekleştiği Çukurova bölgesi de dahil olmak üzere, tarımsal faaliyetler yoğunudur. Tarımsal üretimle, yöre ve ülkemiz için ekonomik açıdan önemli yer tutan Seyhan havzasında

civardaki imalat sektörüne ham madde teşkil eden ürünlerin ekimine ağırlık verilmeye başlanmıştır. Adana ilindeki arazi kullanım durumu genel olarak Çizelge 1.9.'da verilmektedir.

Çizelge 1. 9.Adana İli Arazi Kullanım Durumu (Davutluoğlu, 2004)

Kullanım şekili	Yüzde (%)
İşlenen tarım arazisi	39,12
Orman, çalılık, fundalık	49,61
Çayır ve mera arazisi	4,93
Dağlık arazi	4,58
Yerleşim alanı	0,83
Su yüeyi	0,93

Aşağı Seyhan havzasında yaklaşık 2.500 km²'lik bir alan ekilmektedir. Havzanın kuzeyinde kalan topraklar tuzlu ve alkali problemi olmaksızın, etkin sulama yapılabilen tarım topraklarıdır. Ovanın güneyde kalan topraklarda ise, yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olması nedeniyle, özellikle kış ve bahar aylarında drenaj sorunu görülmektedir. Bununla birlikte, bu kısımlardaki topraklarda yeterli drenaj çalışmalarıyla tarıma açılacak niteliğe sahiptir. Aşağı Seyhan ovası topraklarının kabiliyet sınıflaması Çizelge 1.10.'da verilmiştir. Bu çizelgede I, II ve III. Sınıf topraklar işlemeli tarıma uygun arazileri, IV. Sınıf topraklar ise işlemeye kısıtlı uygun arazileri göstermektedir.

Çizelge 1. 10.Aşağı Seyhan Havzası Toprakları Kabiliyet Sınıfları (DSİ 1994).

Kabiliyet sınıfı	Yüreğir ovası		Tarsus ovası	
	Alan (ha)	Ova içindeki payı (%)	Alan (ha)	Ova içindeki payı (%)
I. Sınıf	14.696	12,3	12.298	14,8
II. Sınıf	17.423	14,9	19.830	23,8
III. Sınıf	11.706	10,0	12.930	15,5
IV. Sınıf	73.092	62,6	38.200	45,9
Toplam	116.697	100	83.258	100

Aşağı Seyhan havzasında 1939 yılında başlayan sulama projesi halen devam etmektedir. Bu proje kuzeyde Toros dağlarının etekleri, güneyde Akdeniz, doğuda Ceyhan ve batıda Berdan nehri ile sınırlı olup 203.800 hektarlık bir araziye kapsamaktadır. Aşağı Seyhan Ovası (ASO) projesi kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda 120.200 ha sahanın sulama ve drenaj tesisleri tamamlanarak işletmeye açılmıştır. ASO sulama şebekesinde 2.880 km civarında sulama kanalı ve 1.973 km uzunluğunda drenaj kanalı bulunmaktadır (DSİ 1994).

Aşağı Seyhan havzasında tarımsal faaliyetlere yapılan yatırımlar sonucunda çeşitli gübre ve pestisit kullanımı artmıştır. Kullanılan pestisit ve gübre çeşidine, sulama tekniğine ve taban suyu yüksekliğine bağlı olarak drene olan sular yayılı kaynak olarak Seyhan nehrine karışıp su kalitesinde olumsuz değişmelere neden olmaktadır. Çizelge 1.11’de tarımsal maksatlarla kullanılan maddelerin ağır metal içerikleri verilmiştir.

Çizelge 1. 11. Tarımda Kullanılan Çeşitli Maddelerin Ağır Metal İçerikleri (ppm/kuru madde) (Molnar ve ark., 1995).

Element	Arıtma Çamuru	P-gübreler	Kireç Tozu	N-gübreler	Organik Gübre
Cd	2,0-1.500	0,1-140	0,04-0,1	0,05-8,5	0,3-0,8
Cr	20-40.000	10-150	10-150	3,2-19	6,2-55
Pb	50-3.000	66-245	20-1.250	2-27	6,6-15
Ni	16-5.300	7-225	10-20	7-34	7,7-30
Zn	700-49.000	7-38	10-450	1-42	15-250

Çizelge 1.12. 'de bölgedeki pestisit kullanımı özetlenmiştir.

Çizelge 1. 12. Aşağı Seyhan Ovasında Pestisit Kullanımı (Sey. Neh. Havz. Raporu, 1996).

Ürün çeşidi	Kullanım Miktarı (kg/lt) ^a		
	Herbisit	Fungisit	İnsektisit
Hububat	70.370	37.700	85.132
Pamuk	170.350	- ^b	- ^b
Turunçgil	- ^b	1.100	607.465
Sanayi bitkisi	- ^b	575.221	1.841.749

^a (1990 yılında) ^bYeterli bilgi yok

1.4.3. Endüstriyel Faaliyetler

Adana ili ve Adana İl Merkezi, sektörel dağılım açısından oldukça farklılık göstermektedir. Bölgedeki belli başlı endüstriyel sektörler ve her sektör dahilindeki sanayi kuruluşlarının sayısı Çizelge 1.13.'de verilmektedir.

Çizelgeden de görülebileceği gibi Sanayi kollarına ait kuruluşların sayısı itibariyle metal ve tekstil sektörleri öne çıkmaktadır.

Çizelge 1. 13.Bölge Dahilindeki Endüstriyel Sektörler (Su Yapı, 1993)

Endüstri Sektörü	Kuruluş Sayısı	İl Sanayisi İçinde %'si
Tekstil Endüstrisi	123	21
Ham Pamuk İşleme Endüstrisi	39	7
Bitkisel Yağ ve Sabun Endüstrisi	30	5
Metal Endüstrisi	162	27
Kimya Endüstrisi	35	6
Gıda Endüstrisi	46	8
Ağaç İşleme Endüstrisi	59	10
Toprak Ürünleri İşleme Endüstrisi	81	14
Diğer	12	2
TOPLAM	587	100

Adana ilindeki metal sektörü, çelik döküm, motor silindirleri, makine yedek parçaları, üretimin yanı sıra, tarım makineleri ile otobüs, minibüs ve kamyonet gibi otomotiv ürünlerinin üretilmesini kapsamaktadır. Bunlara ek olarak, elektrikli ev eşyası, cıvata ve elektrik direği üretimi yapan kuruluşlarda bulunmaktadır.

Adana ilinin sahip olduğu mineral kaynakları Çizelge 1.14.'de verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi, ildeki maden rezervleri arasında sırasıyla, kuvarsit, çimento hammaddeleri, krom ve demir önemli yer tutmaktadır. Söz konusu kaynaklar içinde özellikle demir, krom ve çimento hammaddeleri özel teşebbüs tarafından bölgedeki imalat sektöründe değerlendirilmektedir.

Çizelge 1. 14.Adana İlinin Mineral Kaynakları (MTA, 1989)

Madenin Cinsi	İlçe	Mevki	Toplam rezerv (1000 ton)
Alüminyum (diasporit)	Tufanbeyli	Gümlektepe, Kızılakçatepe, Küçükakçatepe	10.750
Çinko	Kozan	Horzum	122,4
	Tufanbeyli	Belbaşı	114,7
Kurşun-Çinko	Tufanbeyli	Beşiktaş	106
		Maden	49
Demir	Bahçe	Çotlu	302,4
	Feke	Attepe	34.000
		Elmadağbeli	1.406
		Mağrabeli	1.765
		Hanyeri	258
		Karakızıoğlu Gediği	192
	Saimbeyli	Kaburluk	427,3
		Aşılık	2.780
Krom	Aladağ	Dorulcalı	350
		Kavasak	40
		Çanakpınarı	300
		Kızılyüksek	250
		Yataardıç	86.033
		Kovankaya	6.269

Adana ilindeki endüstriyel faaliyetleri %27 gibi büyük bir oranına sahip metal sanayi atıksuları ya arıtılmadan ya da etkin bir arıtm yapılmadan drenaj kanalları vasıtasıyla toplanıp Seyhan Nehrinde sonlanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Wen ve Allen (1999) yaptıkları bir çalışmada Le an Nehri (Çin) sedimentlerde pH ve oksijen miktarına bağlı olarak ağır metallerin (Zn, Cu, Pb, Cd,) sedimentten ayrılmalarını ve sedimentte bağlı bulundukları bileşikleri araştırmışlardır. Sonuç olarak pH'ın azalmasıyla ağır metallerin sedimentten ayrılma hızları $Zn > Cu > Cd \sim Pb$ olarak bulunmuştur. Ayrıca sedimente ağır metalleri bağlayan temel bileşiğin sülfür olduğunu belirlemişlerdir.

Jain ve Sharman (2001), Hindistan'ın Hidon Nehrinde ağır metaller konsantrasyonları değişiminin organik madde ve debi ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, sedimentlerin yıkanmasından dolayı nehir debisi ile ağır metal konsantrasyonu arasında Cu, Cd ve Ni için, negatif bir bağıntı olduğunu bulmuşlardır ($r^2 > 0,6$). Hidon nehir sistemindeki sediment analizleri, ağır metallerin büyük miktarının ince taneli sediment bünyesinde yer alan organik maddeler ve Fe/Mn hidroksitlerle birleştiğini bulmuşlardır.

Devide ve ark. (2003), yaptıkları bir çalışmada İtalya'daki Po Nehrinde yüksek ve normal akış dönemlerinde yatak sedimentlerinde ve süspanse sedimentlerde iz metal konsantrasyonlarının değişimini araştırmışlardır. Yüksek akış dönemlerinde yatak sedimentlerin yıkanması sonucu Cd, Hg, Mn, Pb ve Zn konsantrasyonlarının, dağılma katsayısına bağlı olarak, süspanse sedimentlerde arttığı bulunmuştur. Yatak sedimenti ile süspanse sediment arasında madde değişim oranı olarak tanımlanan K_D katsayısı $Pb = Mn > Cr > Cu > Ni > As$ olarak bulunmuştur. Ayrı sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonlarının doğal ya da insan aktivitelerinden kaynaklandığı sorgulamak için Sediment Zenginleştirme Faktörü Kullanılmıştır. Bazı örnekleme noktalarında Cd, Cu, Zn, Hg, ve Pb elementlerinin sediment zenginleştirme katsayıları 1,5'den büyük, insan faaliyetlerinden kaynaklandığını bulmuştur.

Filgueiras ve ark. (2004) İspanya'nın Loura Nehri sedimentleriyle yaptıkları çalışmada metallerin toplam konsantrasyonlarını ve su içindeki bağlandıkları bileşikler içerisindeki konsantrasyonlarını saptamıştır. Ağır metallerin su ortamında karbonatlara MnO ve Fe_2O_3 , organik maddelere ve sediment yapısında bulunan SiO_2 ,

Al_2O_3 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O ve P_2O_5 gibi bileşiklere bağlı miktarı saptanarak, ağır metallerin dağılımları, hareketleri ve bileşik yapma davranışları incelenmiştir. Pb ve Cu'nun benzer şekilde organik maddelere bağlı olarak artıp azaldığını gözlemlemişlerdir. Aynı şekilde Cr ve Ni arasında da bir ilişki saptanmıştır. Sonuç olarak Pb, Cu, Cr, ve Ni metallerinin elektrokaplama ve galvanizleme endüstrilerinden geldiğini düşünmüşlerdir. Loura nehri sedimentlerindeki metallerin hareket etme kabiliyetleri ise $Cd > Pb > Cu > Ni > Cr$ olarak bulunmuştur. Toplam konsantrasyonları yüksek çıkan metallerin birçoğunun kalıntı halinde sediment içeriğinde hareketsiz olduğu saptanmıştır.

Davutluoğlu (2004) yaptığı çalışmada Seyhan nehriden alınan sediment örneklerinde Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin toplam konsantrasyonu belirlenmiş ve mevsimsel debi değişimi ile ilişkisi araştırmıştır. Elde edilen ağır metal konsantrasyonları U.S. EPA sediment kalite kılavuzu değerleri (SQG) ile karşılaştırılması neticesinde sediment kirliliğin boyutu değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada analizleri yapılan bütün ağır metallerin miktarlarının debi arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Seyhan nehri sediment içeriğindeki toplam ağır metal konsantrasyonları U.S. EPA tarafından hazırlanan sediment kalite kılavuz değerlerinde tanımlanan ER-L ve ER-M değerleri ile karşılaştırıldığında, nikel, mangan ve çinko açısından oldukça kirli, bakır ve kadmilyum açısından kirli, kurşun açısından temiz kategorisine girdiğini tespit etmiştir.

Suthard ve ark. (2009) Hindistan'ın Hidon nehrinde yaptıkları çalışmada, sediment ve sudaki ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn ve Pb) seviyelerini belirlemişlerdir. Zenginleştirme faktörü (%) sediment için %0,05 ile %98 arasında değişmekte olduğunu ve coğrafi birikim indeksinde (I_{geo}) önerilen değerde Mn, Pb ve Zn $I_{geo} < 1$ temiz, Cu, Cr, Fe $I_{geo} < 2$ orta kirlilikte ve Cd $I_{geo} > 5$ oldukça yüksek kirli olduğunu belirlemişlerdir. Bu bölgedeki ağır metallerin ana kaynağının endüstriyel deşarjlardan ortaya çıktığını tesbit etmişlerdir.

Singh ve ark. (2005) yaptıkları bir çalışmada Hindistan'ın Gomti Nehri sedimentinde ağır metallerin dağılımlarını incelemişler ve Tessier'in analitik ayırıştırma tekniğini kullanarak beş jeokimyasal (değişebilir türler, karbonatlar, Fe/Mn oksitler ve organik maddeler) fazlar arasında kimyasal parçalanmalarını

incelemişlerdir. Sediment ve sudaki ağır metal konsantrasyonlarındaki önemli değişimleri, bu değişimin nehre verilen kanalizasyon, endüstriyel atıksuların hacminden kaynaklanabileceğini ortaya çıkarmışlardır. Sedimentteki çoğu iz metallerin karbonat ve değişebilir türler ile ilişkili olduğunu, Risk Değerlendirme Kılavuzuna (RAC) göre orta riskte olduğunu belirlemişlerdir.

Zang ve ark. (2009) metal kirliliğinin analizi için Çin'in Yantze Nehrinde 59 istasyonda yüzey sedimenti (0-5 cm) almışlardır. Nehir boyunca alınan sediment numunelerinde ağır metal analizleri (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, ve Zn) sonucu metal konsantrasyonlarının doğada önemli dönüşümünü göstermişlerdir. Metal zenginleştirme faktörü (EF) ve jeoakümülayon indeksi (I_{geo}) Cd, Cr, ve Ni çalışma alanında yer altı seviyesi üstünde konsantrasyonlar olurken, Cu, Mn, Pb ve Zn yer altı seviyesinde olduğunu bulmuşlardır. İstatistiksel analizler sonucunda Cd konsantrasyonlarının toplam organik karbon içeriğiyle yakından bağlı olduğunu, Cu, Cr, Ni, Pb, ve Zn ağır metallerin Mn ile yakın ilişkisi olduğunu belirlemişlerdir. Sonuçların daha doğru değerlendirilmesinin sağlanması açısından entegre sediment standart kriter, zenginleştirme faktörü (EF), jeoakümülayon indeksi (I_{geo}) göz önünde bulundurmuşlardır.

Yılğör ve Yaşar (2009) yaptıkları çalışmada Büyük Menders Nehri'nin kirliliğini araştırmışlar ve bu amaçla Büyük Menders Nehri, deltası ve Dil Lagünü'nden karot şeklinde sediment örnekleri almışlardır. Nehir kirliliğinin derecesini ortaya çıkarmak amacıyla yüzey ve dip sedimentlerinde Pb, Zn, Cu, Mn, Cr, Ni ve Fe konsantrasyonlarını araştırmışlardır, sedimanter özellikler, organik karbon ve karbonat içeriklerini saptamışlardır. Çalışma alanında belirtilen bölgelerde jeo akümülayon indeksi (I_{geo}) hesaplanmış ve Aşağı Büyük Menderes Nehri bölgelerinde kirlenmenin başladığını tesbit etmişlerdir. Aşağı Büyük Menderes Nehri bölgesi Mn ve Zn metalleri için orta derece kirli sınıfına girdiğini belirlemişlerdir. Büyük Menderes Nehri'nin mansabına kadar tüm kısımlarında yapılan atıksu deşarjları, sanayi atıkları ve tarımsal faaliyetler sonucu kirlletildiği belirlenmiştir.

Davutluoğlu ve diğ. (2011) de Seyhan nehrinde yaptıkları çalışmada, yedi ağır metalin (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) kimyasal dağılımını modifiye edilmiş üç adımlı ardışıklı ayrıştırma prosedürünü kullanarak çalışmışlardır. Ekim 2009 ve

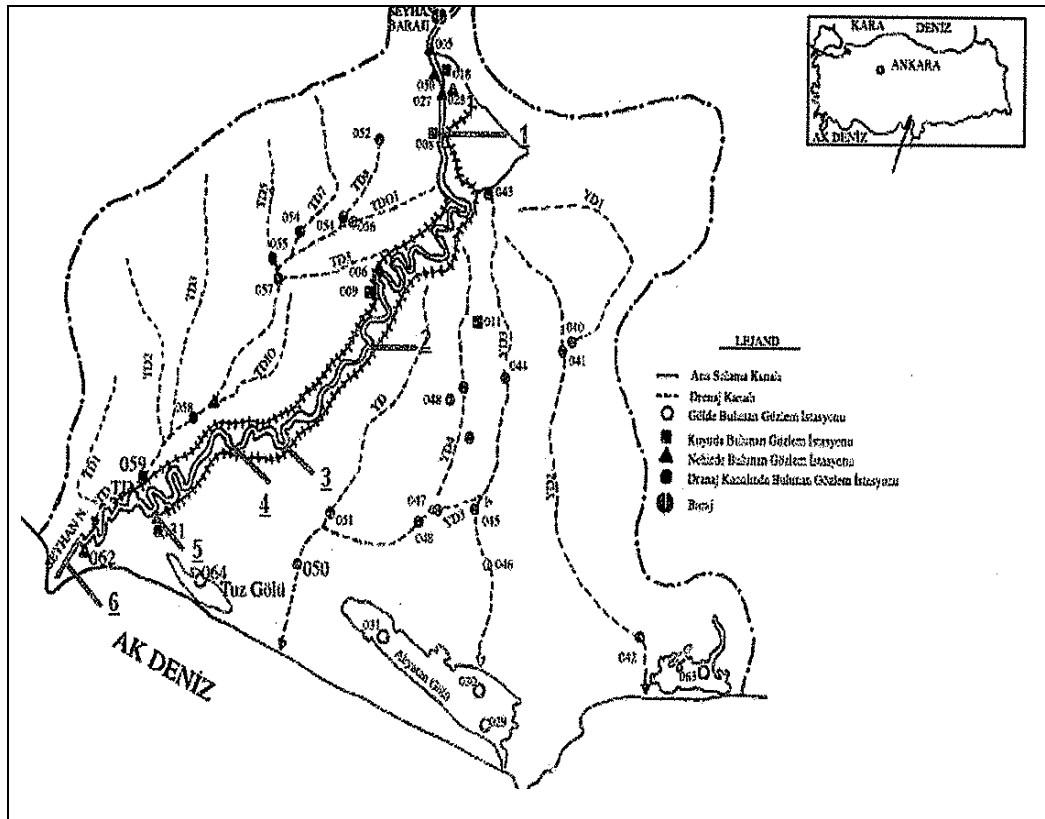
Haziran 2010 altı numune alma istasyonundan numuneleri almışlardır. Sedimentlerdeki toplam metal konsantrasyonlarını istasyonlardaki farklı dağılımını göstermişlerdir. Cd her iki numune alma dönemlerinde tüm istasyonlarda tespit edilememiştir. Pb ve Mn hariç, kalıntı bölümü göz önüne almaksızın metallerin çoğunluluğunun sedimente son derece bağlı olduklarını, metallerin ikinci en yüksek oranı organik madde ve sülfürlere bağlı olduğunu göstermişlerdir. Potansiyel sediment risk değerlendirme klavuzunu kullanarak (RAC) değerlendirmişlerdir. RAC göre; Cd ve Cr temiz, Cu ve Ni düşük risk, Pb ve Zn orta risk, Mn ise yüksek risk olarak sınıflandırmışlardır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanı ve Numune Alma İstasyonları

Bu çalışma, Seyhan Nehri üzerindeki Seyhan Barajının 2. Regülatör köprüünün mansap tarafında kalan ve Aşağı Seyhan Nehri Olarak isimlendirilen 94 km'lik kısımda gerçekleştirilmiştir. Seyhan Nehri Çukurova Boyunca akan ve geleneksel tarım faaliyetlerinin yapıldığı buna bağlı olarak endüstriyel faaliyetlerin gerçekleştirildiği bölgedir. Sürekli ağır metal içeren gübrelerin uygulanmasıyla uzun dönemde ağır metal birikimine sebep olabilir. Tarımsal sulama suları yapay drenaj kanalları ile noktasal kaynak gibi nehre ulaşabilir veya ağır metaller noktasal olmayan kaynak gibi tarım arazisinden gelebilirler. Çukurova'nın tarımsal su ihtiyacı Tarsus Sulama (TS) ve Yüreğir Sulama kanalları ile karşılanmaktadır. Tarım alanlarından dönen drenaj sularını toplamak amacıyla Tarsus Drenaj (TD) ve Yüreğir Drenaj (YD) kanalları açılmıştır. Seyhan nehrinin denize dökülmesine 3 km kala Tarsus drenaj kanallarının ana kolektörü TD0 drenaj kanalı suları nehre deşarj edilmektedir. Şekil 3.1 çalışma alanını içeren numune alma istasyonları, istasyonları, sulama ve drenaj kanalları görülmektedir.



Şekil 3. 1.Çalışma Alanı ve İstasyonlar

6 noktadan sediment numunesi alma istasyonları belirlenmiştir. Bu istasyonlardan 1. ve 6. nokta istasyonlar hariç, nehre yapılan notasal ve noktasal olmayan deşarjlar düşünülerek seçilmiştir. Nehir hidroliğinin değiştiği; nehir yatağının genişliğine bağlı olarak suyun hızının yavaşladığı bölgeler tespit edilmeye çalışarak sediment çökmesinin en çok olduğu noktalardan numune alınması hedeflenmiştir. Seçilen istasyonların yerlerini belirlemek için 2. Regülatör köprüden Seyhan nehrinin denize döküldüğü nehrin doğu seddesi üzerindeki 64 km’lik karayolunda gidilen mesafe baz alınmıştır.

1. İstasyon çalışma alanının başlangıç noktası olan 2. Regülatör köprüünün hemen mansabında kalan bölge seçilmiştir. Bu istasyon Adana merkezinde yer alması, sulama ve akışın kontrolünün sağlanması için regülatör köprü ile nehrin hidroliğinin kontrol edildiği yerdir.

2. İstasyon narenciye bahçelerinin yoğun olduğu, noktasal olmayan tarım sularının nehre ulaştığı ve başlangıç noktasına 17 km uzaklığında nokta belirlenmiştir.
3. İstasyon nehir yatağının kıvrımlaşarak nehir hidroliğinde değişimlere sebep olması ve bu istasyon çevresinde inşaat malzemesi sağlamak amacıyla kum çıkarılması sonucu sediment yatağında değişimler oluşturması. Başlangıç noktasından 32 km uzaklıktadır.
4. İstasyon köy, kasaba gibi yerleşim birimlerinden uzak tarımsal faaliyetlerin çok yoğun olarak yapıldığı başlangıç noktasına 42 km uzaklıkta seçilmiştir. Yayılı kaynak olarak nehre giren deşarj sularının ağır metal konsantrasyonunun etkilerinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir.
5. İstasyon çalışma alanındaki en büyük yerleşim birim olan Tabaklar köyü mevki ve başlangıç noktasına yaklaşık 55 km uzaklıkta seçilmiştir.
6. İstasyon Seyhan nehrinin Akdeniz'e döküldüğü noktadan 0,4 km memba tarafında belirlenmiştir. Bu noktayı etki eden TD0 drenaj kanalı bölgedeki tarım drenaj toplama kanalı ve kanalı çevreleyen yerleşim yerlerinin evsel atık suların taşındığı, bölgedeki çeşitli endüstrilerin etkilediği TD0 drenaj kanalı dökülmektedir.

Çizelge 3. 1.Numune Alma İstasyonları ve Seçilme Sebepleri

İstasyon No	km	İstasyon özellikleri
1	0	2. Regülatör köprüünün mansap kısmında kalan ilk nokta
2	17	Narenciye çiftliklerinin ve tarımsal faaliyetlerinin çok yoğun olduğu nokta
3	33	Daha önce kum alımı ve nehir hızının yavaşlaması
4	42	Tarımsal faaliyetin yoğun olduğu, yerleşim yerlerinden uzakta olması
5	55	Bu bölgede çiftçilik yapan insanların yoğun olarak yaşadığı Tabaklar köyü mevki
6	64	TD0 drenaj kanalının nehre döküldüğü ve deniz canlılarının üreme alanı

3.1.2. Sediment Numunelerinin Toplanması, Korunması ve Ön İşlemler

Sediment numunelerinin alınmasında dikkatli olunacak hususlar, sediment yüzeyinden alınacak numunenin derinliği, sediment yapısını bozacak olayların en asgariye indirilmesi, ihtiyaç duyulan miktarın alınabilmesi ve çeşitli kirleticilerin numuneye bulaşması engellenmesi olarak belirtilebilir. (US EPA, 2001).

Aşağı Seyhan Nehri üzerinde belirlenen 6 adet numune alma istasyonundan alınan sediment örnekleri, “yüzey sedimenti” olarak tanımlanan ve nehir yatağındaki katı fazın 0-5 cm’lik bölümünü oluşturan kısımdan alınmıştır. Sediment numunelerinin alınması için Eckman Grap Sampler kullanılmıştır. Eckman Grap Sampler 3,4 L hacminde numune kapasitesine sahip olup, kil, silt gibi materyaller içeren yumuşak sedimentin ve hedeflenen kalınlıktaki sediment numuneleri için verimli sonuçlar elde edilmiştir. Portatif olması arazi çalışmalarında kolaylık sağlamıştır.

Belirlenen numune alma istasyonlarından Ekim 2010 ve Haziran 2011 alınan sediment numuneleri, herhangi bir kirlilik bulaşmasını önlemek için 24 saat 1:1 nitrik asit (HNO_3) çözeltisiyle muamele edilen yoğunluğu yüksek polietilen (High Density Polyethylene) 1 litrelik kaplarda muhafaza edilmiştir. (Enviroment Canada, 1994). İstasyonlardan alınan numuneler Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Çevre Kimyası Laboratuvarına getirilmiştir.

Sediment numuneleri 90 μm gözenek çapına sahip çelik elekten geçirilen numunelerimiz 70°C’de etüvde kurutulmuştur. Kuruyan numunelerimizin homojenliği sağlanması için porselen havanda dövülmüştür.

Sedimentin genel özelliğini belirlemek için Standart Metodun 2540E metodunda tanımlanan işlem uygulanarak toplam organik madde miktarı belirlenmiştir (APHA, 2005).

3.2. Sediment Numunelerinin BCR 3 Ardışık Ayırıştırma Yöntemi ile Parçalanması

Rauret ve diğ. (1999) sediment numunelerindeki metallerin kimyasal bölümlerini modifiye edilmiş BCR üç adımlı ardışıklı ayırıştırma yöntemi kullanarak tamamının parçalanmasını tanımlamışlardır. Bu yöntemde metaller dört adımda sınıflandırıldı; i) değişebilir ve çözülebilir (1. adım), ii) indirgenebilir (2. adım), iii) yükseltgenebilir (3. adım), iv) kalıntı (BCR prosedüründe tanımlanmamıştır). Yalnızca orta iyonik güç değişmesiyle serbest kalabilen değişebilir, değişken, mevcut gevşek bağlı metallerin asitle çözülebilen ve değişen bölümüdür. (Malandrion ve diğ., 2009; Rodrigez ve ark., 2009).

Çizelge 3. 2.Modifiye Edilmiş BCR Ardışık Ayırıştırma Yöntemi

Bölümler	Aşamalarda Nominal Hedefler	Reaktifler	Yöntem
1 (değişebilir, su ve asitle çözülebilir)	Kasyon değişim türleri, karboatlar, çözünür türler	0,11mol/L CH_3COOH	20 ml CH_3COOH +0,5 gr 16 sa 30 rpm çalkalanır
2 (indirgenebilir)	Demir ve manganez oksihidroksitler	0,5 mol/L $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ pH 1.5 da	20 ml $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ + 1. adımdan kalan ve 16 sa 30 rpm çalkalanır
3 (yükseltgenebilir)	Organik maddeler ve sülfürler	8,8 mol/L H_2O_2 ve 1.0 mol/L $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (HNO_3 ile pH 2' ye ayarlanır)	10 ml H_2O_2 + 2. Adımdan kalan 85°C sıvı bitinceye kadar; $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 16 sa 30 rpm çalkalanır
4 (kalıntı) ^a	Kalan, silkatlara bağlı olmayan metaller	Kral suyu	Kalıntı metal miktarı için parçalama

^a kalıntı materyal BCR yönteminde sınıflandırılmamıştır.

1. Adımda 50 mL'lik polipropilen santrifüj tübüne 0,5 gr kurutulmuş sediment örneği alınır ve üzerine 20 mL asetik asit (0,11 mol/L) konulur. 16 saat boyunca oda sıcaklığında 30 ± 10 rpm'de çalkalanır. Sıvı faz katı kısımdan 3000

rpm’de 20 dakika santrifüj yapılarak ayrılır. Üst faz 50 mL’lik diğer bir polipropilen santrifüj tüpüne aktarılır ve analize kadar buzdolabında +4 °C’de saklanır. Kalıntı 10 mL saf su ile yıkanır ve 15 dakika 30 rpm’de çalkalanıp 20 dakika 3000 rpm’de santrifüjlenir. Katı kaybı olmamasına dikkat edilerek sıvı faz uzaklaştırılır.

2. Adım da pH 1,5 da ayarlanmış 0,5 mol/L hidroksilamin klorür’den 20 mL alınarak 1. adımdan kalan sedimentin üzerine eklenir. 1. adımdaki işlem tekrarlanır.

3. Adım 5 mL 8,8 mol/L H₂O₂ (pH 2-3) dikkatlice 2.adımdan kalan semente küçük miktarlar halinde eklenir. Kapak gevşek kapatılır ve oda sıcaklığında arada sırada 1 saat boyunca çalkalanır. Akabinde 85±5°C’deki su banyosunda 1saat boyunca dibinde 4-5 mL sıvı kalıncaya kadar parçalanır. Aynı işlem 1 kez daha tekrarlanır (5 mL H₂O₂ daha konulup sıvı bitince kadar işlem tekrarlanır). Soğuduktan sonra, pH’ı konsantre HNO₃ ile 2 ‘ye ayarlanmış 1 mol/L amonyum asetat çözeltisinden 25 mL konularak 16 saat boyunca oda sıcaklığında çalkalanır. 1.adımdaki ayırma işlemleri tekrar gerçekleştirilir. Sıvı kısım analiz için buzdolabına konulurken katı kısım kalıntı metal miktarını bulmak için parçalama işlemi yapılır.

3.2.1. Toplam Parçalama, Kalıntının Parçalanması ve Ağır Metal Ölçümü

Sediment numunelerinin toplam parçalama ve BCR 3 ardışık ayrıştırma yönteminin 4. adımından kalan kalıntının ağır metal içeriklerinin ölçülmesi için US EPA Method 3050B metodu kullanılarak Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metallerin analizi için parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir (US EPA, 1996).

Bu metot minarelerin içindeki ağır metalleri de parçalayıp çözeltiye geçiren toplam bir parçalama metodu değil, ağır metal içerikleri araştırılan sediment örneklerinde çevresel faaliyetler sonucu bulunabilen metallerin iyonize edilmesi için güçlü bir asit parçalama işlemidir.

Ön işlemlerden geçmiş sediment numunelerimizden toplam parçalama işlemi için 0,5 g tartılır ve 250 ml’lik rodajlı erlen mayer içine aktarılmıştır. BCR 3 ardışık ayrıştırma prosedürünün 4. Adımından kalan kalıntı 250 ml’lik rodajlı erlen mayer içine aktarılmıştır.

Isıtıcı kaynağı (hot plate) üzerine konulan erlene 1. adımda 5 ml 1:1 konsantre HNO_3 eklenmiş ve karıştırılmıştır. Erlenin ağzı buharlaşmayı engellemek için bir cam saati ile kapatılarak ısıtıcı 95 ± 5 °C sıcaklığa ayarlanmıştır. Numune karıştırılarak 15-20 dakika boyunca kaynamadan ısıtılmıştır. Örnek soğutulduktan sonra 5 ml HNO_3 eklenip 30 dk boyunca parçalanmaya bırakılmıştır. Bu adım esnasında ısıtılan örnekten kahverengi bir duman çıkışı olmakta ve bu HNO_3 oksidasyonun devam ettiğini göstermektedir. Kahverengi duman çıkışı kaybolana kadar bu adıma devam edilmiştir.

2. adımda, 1. adımdan elde edilen çözelti soğutulmuş, %30'luk 2 ml H_2O_2 eklenmiştir. Erlen ısıtıcı kaynağa tekrar konulup ağzı saat camı ile kapatılarak peroksit oksidasyonu başlatılmış olur. Bu adımda dikkat edilecek nokta, peroksit eklemesiyle birlikte sediment örneğinde meydana gelen güçlü köpürmenin bir madde kaybına sebep olmamasıdır. Köpürmenin bittiği veya çözeltide gözle görülebilir herhangi bir değişikliğin olmadığında 5 ml distile su ve 2 ml H_2O_2 toplam 10 ml H_2O_2 (4 kez) oluncaya kadar devam edilir. Erlenin ağzı saat camı ile kapatılır ve ısıtıcı 95 ± 5 °C'ye ayarlanarak asit peroksit parçalanması gerçekleştirilmiştir.

3. adımda örneğe, 10 ml konsantre HCl asidi eklenmiş ve erlenin ağzı kapatılarak ısıtıcı 95 ± 5 °C'ye ayarlanmıştır. 30-45 dakika sonunda parçalama işlemi nihayetlendirilmiş, sediment numunelerinin toplam parçalama ve BCR 3 ardışık ayrıştırma prosedürünün 4. adımından kalan kalıntının içinde değişik bileşiklere ve yapılara bağlı ağır metaller çözünmüş hale getirilmiştir.

Çözeltiler Whatman No. 41 filtre kağıdından geçirilmiş ve 100 ml'lik balon jojelerde 100 ml'ye tamamlanarak ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Sediment numunelerinin toplam parçalama, kalıntı parçalaması ve BCR 3 ardışık ayrıştırma yönteminin adımlarından gelen sıvı fazların ağır metal konsantrasyonun ölçümleri Inductively Coupled Plasma Atomik Emisyon Spektrometrisi (ICP-AES) cihazında yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Aşağı Seyhan nehri üzerinde belirlenen istasyonlardan Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan sediment numunelerinde Cr, Cu, Ni, Mn, Pb ve Zn ağır metallerin sediment içindeki dağılımı ve içeriği araştırılmıştır.

Çalışma sahasında zirai faaliyetler çok gelişmiştir. Bölge ve Türkiye ekonomisine önemli kazançlar sağlamaktadır. Tarım alanlarında bitkisel üretimi artırmada çok önemli bir etki olduğu bilinen gübre ve tarımsal ilaçların (pestisit) aynı zamanda çevreyi kirletme özelliği de mevcuttur. Tarım topraklarına verilen tarımsal ilaçlar ve gübreler Cd, Pb, As, Cr, Zn, Hg, Cu gibi toksik ağır metalleri içermektedir (Alloway ve Ayres, 1997). Türkiye’deki tarım topraklarında kadmiyumun önemli bir kaynağı olasılıkla fosforlu gübre girdisidir. Fosfat gübresinin kadmiyum içeriği, gübre üretiminde kullanılan hamkaya fosfatın kaynağına bağlıdır. Kaya fosfatında çok yüksek konsantrasyonlarda kadmiyum (<500 mg/kg) olduğu belirlenmiştir (Alloway, 1997). Fosforlu gübre ile gübrelenmiş topraklarda ürün yetiştirilmesi, hasat edilen ürünlerde kadmiyum konsantrasyonunun artması ile sonuçlanabilir (Brown ve ark., 1989).

Belirlenen istasyonlardan alınan sediment numunelerinde altı ağır metalin (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) kimyasal dağılımının Seyhan Nehrine etkilerinin belirlenmesi için modifiye edilmiş üç adımlı ardışıklı ayrıştırma yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Sediment örneklerindeki toplam metal konsantrasyonlarının farklı kimyasal dağılımları saptanmaya çalışılmıştır.

4.1. Sedimentin Genel Özelliği

İstasyonlardan alınan sediment numuneleri çoğunlukla kum ve çamurdan oluşmaktadır. Çalışma süresince belirlenen sedimentin organik madde içeriği ve pH değerleri çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Sediment numunelerinin pH 7,62 ile 8, 66 arasında değişmektedir, bu sedimentin hafif doğal alkanitesinin göstergesidir. Ekim 2010’da sediment numunelerinde organik içerikleri %3,19’dan %11,68 arasında çeşitlilik göstermektedir. Ekim 2010’da sedimentin organik içeriği en yüksek S-4’de

gözlemlenmiştir. Haziran 2011’de sediment numunelerinin organik içerikleri %2,65’le %7,19 arasında değişmektedir.

Çizelge 4. 1.Sedimentin Genel Özelliği

İstasyon No	pH		Toplam organik madde (%)	
	Ekim 2010	Haziran 2011	Ekim 2010	Haziran 2011
1	8,35	8,42	3,34	5,33
2	7,62	8,14	5,99	7,19
3	8,50	8,29	8,21	6,11
4	8,66	8,44	11,68	4,07
5	8,63	8,12	3,19	2,65
6	7,83	7,95	8,25	5,73

Çalışılan sediment numunelerinin organik içeriklerinde TD0 drenaj kanalının önemli rol oynadığı, özellikle yaz aylarında zirai faaliyetlerin maksimum olduğu ve insan faaliyetleri sonucu nehre ulaşan kirliliği doğrulamaktadır.

4.2. Ardışıklı Ayırıştırma Prosedürünün Doğruluğu

Standart sediment referans madde (BCR® 701) BCR-üç adımlı ayırıştırma metodunun doğruluğunun belirlenmesinde analiz edilmiştir. Sertifika değerleri, analiz değerleri (ort.±ss, n=4 için), her bir ayırma adımındaki geri kazanım değerleri ve BCR-701’in toplam parçalanma değerleri çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Toplam metal analizleri ve ardışıklı ayırıştırma prosedürünün sonuçlarının doğruluğu için, toplam parçalanma sonucu elde edilen toplam metal içerikleri, dört adımlı ardışıklı ayırıştırmanın (asitle çözülebilir + indirgenebilir + yükseltgenabilir + kalıntı) toplanması karşılaştırılarak kontrol edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre her bir metal ayırıştırma adımları esnasında farklı oranlarda sedimentten serbest bırakılmıştır. Geri kazanım oranları tüm analiz edilen metaller için adımların hepsinde %73,89 ve 115,78 arasında değişmektedir. Bu

oranlar ardışıklı ayırıştırma prosedüründe oldukça yaygındır. Cd konsantrasyonu 4.adımda (kalıntı) ICP-OES cihazının saptayamayacağı değerin altında kalmıştır.

Çizelge 4. 2. BCR®-701 (n=4) sertifikalı değerlerle analiz değerleri karşılaştırılması

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Adım 1						
ölçülen	7,64±0,11	2,23±0,47	52,75±7,47	15,07±1,23	2,87±0,76	200,64±2,60
Sertifika	7,34±0,35	2,26±0,16	49,30±1,70	15,40±0,90	3,18±0,21	205,00±6
Geri Kazanım %	104,12	98,56	107,00	97,84	90,33	97,87
Adım 2						
ölçülen	3,45±0,33	41,65±1,67	128,00±1,99	25,69±4,03	125,21±4,62	114,54±1,61
Sertifika	3,77±0,28	45,70±2,00	124,00±3,00	26,60±1,30	126,00±3,00	114,00±5
Geri Kazanım %	91,58	91,13	103,22	96,59	99,37	100,48
Adım 3						
ölçülen	0,25±0,08	140,44±8,82	63,91±15,09	14,18±2,55	11,83±5,80	44,49±11,26
Sertifika	0,27±0,06	143,00±7,00	55,20±4,00	15,30±0,90	11,00±5,20	45,70±4,00
Geri Kazanım %	93,52	98,21	115,78	92,65	107,52	97,34
Adım 4 (kalıntı)						
ölçülen	-	62,48±3,19	37,04±3,23	30,59±3,73	25,44±3,91	85,61±14,96
Sertifika	0,13±0,08 ^a	62,50±7,4 ^a	35,50±11,2 ^a	41,40±4 ^a	11,00±5,2 ^a	95,00±13 ^a
Geri Kazanım %	-	99,96	104,37	73,89	113,11	90,11
Toplam Parçalama						
Ölçülen	9,82±0,64	263,00±5,17	272,82±12,80	94,09±2,01	141,49±14,00	415,64±20,67
Sertifika	11,70±1 ^a	272,00±20 ^a	275,00±13 ^a	103,00±4 ^a	143,00±6 ^a	454,00±19 ^a
Geri Kazanım %	83,89	96,69	99,21	91,35	98,95	91,55
Adımların Toplamı						
Ölçülen	11,35	246,79	281,70	85,53	152,35	445,27
Toplam Parçalama	9,82±0,64	263,00±5,17	272,82±12,80	94,09±2,01	141,49±14,00	415,64±20,67
Geri Kazanım %	115,55	93,84	103,25	90,90	107,67	107,13

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

4.3. İstasyonlara Göre Ağır Metallerin Kimyasal Dağılımları ve İçerikleri

4.3.1. İstasyonlara Göre Krom'un (Cr) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği

Çalışma süresi boyunca yapılan analizlerde, Cr metalinin parçalama sonucu kimyasal dağılımının ana kısmının % 92,02-69,76 değerler arasında kalıntı bölümünden oluştuğu tesbit edilmiştir. Cr diğer parçalanma bölümleri daha küçük miktarlarda olduğu su ve asitle çözülebilir (1.adım) bölümü %0-0,52 arasında değiştiği, indirgenebilir (2.adım) bölümü %0,15-4,91 aralığında değişen veriler elde edilmiştir, yükseltgenebilir (3.adım) bölümünün ise %8,36-24,78 aralığında değişen değerler belirlenmiştir.

İstasyonların hepsinde Cr metalinin parçalama sonucu elde edilen değerlerden Cr metalinin en az değişken metal olduğu sonucuna varılmıştır. İspanya, Hindistan ve Çin'deki çalışmalarda benzer Cr parçalama sonuçları elde edilmiştir (Morillo ve diğ., 2002; Yuan ve diğ., 2004; Jain ve diğ., 2007). Cr metalinin kimyasal dağılımı ve içeriğinde belirlenen sonuçlara göre çoğunlukla sedimentin minarel yapısına bağlı ve hareketsiz olduğu görülmüştür.

Seyhan nehrinden Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan numunelerin sedimentindeki Cr içeriği ve dağılımı ölçülen değerler çizelge 4.3.'de ve çizelge 4.4.'de mg/kg kuru ağırlık miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. 3.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cr İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri kazanım %
Cr	1	0,12	0,12	5,95	71,40	103,00	77,59	75,33
	2	0,12	2,46	28,91	109,11	141,96	140,6	99,04
	3	0,15	1,15	14,54	92,59	114,44	108,43	94,75
	4	0,28	1	10	90,8	124,6	102,08	89,20
	5	0	0,78	11,42	102,75	110	114,95	104,50
	6	0,51	4,86	24,51	69,02	101,96	98,9	97,00

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

Çizelge 4. 4.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cr İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Cr	S-1	0	0,24	10,68	78,5	108,99	89,42	82,04
	S-2	0,04	0,36	24,26	86,73	113,35	111,39	98,27
	S-3	0	0,44	22,28	71,17	109,29	93,89	85,91
	S-4	0	2,04	19,11	83,35	118,88	104,5	95,62
	S-5	0	2,77	10,54	82,95	100,34	96,26	99,71
	S-6	0	9,62	9,19	91,13	96,54	110,38	80,48

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

4.3.2. İstasyonlara Göre Bakır'ın (Cu) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği

Çalışma süresi boyunca yapılan analizlerde, Cu ağır metalinin kimyasal dağılımı ve içeriği Cr ağır metalinin ayrıma şekline oldukça benzer olduğu görülmüştür. Cu ağır metalinin %36,92-87,84 değerleri ile büyük kısmının kalıntı bölümünden oluştuğu veriler elde edilmiştir. Bu ağır metalin sediment partiküllerine güçlü bir şekilde bağlı olduğu sonucuna varılabilir. Cu'nun en düşük parçalama bölümü %0-4,57 değerleri tesbit edilen su ve asitle çözülebilir (1.adım) bölümüdür. Cu ağır metalinin diğer düşük konsantrasyonu Fe/Mn oksitlere bağlı indirgenebilir (2.adım) bölüm olduğu belirlenmiştir. 2. en yüksek değerlerin elde edildiği yükseltgenebilir (3.adım) bölümünde sediment organik maddesinden dolayı organik maddeye bağlı kısmından oluştuğu belirlenmiştir.

Seyhan nehrinden Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan numunelerin sedimentindeki Cu içeriği ve dağılımı ölçülen değerler çizelge 4.5.'de ve çizelge 4.6.'de mg/kg kuru ağırlık miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. 5.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cu İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Cu	1	0,20	0,24	4,20	25,60	45,00	30,24	67,20
	2	0,79	4,99	7,57	29,11	45,88	42,46	92,55
	3	0,48	6,19	29,95	40	67,41	76,62	113,66
	4	1,48	6,28	22,15	32,6	82	62,51	76,23
	5	0	1,61	1,81	24,71	29,41	28,13	95,65
	6	0,51	2,31	4,22	4,12	14,71	11,16	75,87

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenabilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalamaya değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

Çizelge 4. 6.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Cu İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Cu	1	0,2	0,12	19,37	65,28	89,51	84,97	94,93
	2	0,24	0,08	8,66	43,37	50,58	52,35	107,52
	3	0,12	0,08	8,32	36,08	48,69	44,6	91,60
	4	0	1,67	4,69	32,61	41,56	38,97	93,77
	5	0	2,77	1,58	27,72	32,04	32,07	100,09
	6	0,65	5,13	0,96	9,7	18,73	16,44	87,77

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalamaya değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

4.3.3. İstasyonlara Göre Mangan'ın (Mn) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği

Çalışma süresi boyunca yapılan analizlerde, diğer ağır metallerin kimyasal dağılımı ve içeriğinin aksine dört adımın hepsinde önemli miktarda Mn tesbit edilmiştir. Bu çalışmada belirlenen Mn ağır metalinin sediment içerisindeki dağılımı dünyanın farklı ülkelerinde yapılan araştırmalara oldukça benzerdir (Usero ve diğ., 1998; Ngaim ve Lim, 2001).

Mn ağır metalinin parçalanması sonucu öncelikle asitle çözülebilir (1.adım) bölümü %24,21-54,32 arasında değişen ve Ekim 2010'da alınan sediment numunelerinde ortalama %35,84, Haziran 2011'de alınan sediment numunelerinde

%39,94 ile en yüksek değerler elde edilmiştir. İndirgenebilir (2.adım) bölümü %8,41-31,35, yükseltgenebilir (3.adım) bölümü %10,05-32,62, kalıntı (4.adım) bölümü %13,94-30,66 arasında değişen değerler elde edilmiştir. Elde edilen parçalama sonucuna göre Mn ağır metalinin fark edilebilir oranda yeniden harekete geçebileceği ve pH'ın düşmesiyle nehir akışına dahil olaması mümkündür.

Seyhan nehrinden Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan numunelerin sedimentindeki Mn içeriği ve dağılımı ölçülen değerler çizelge 4.7.'de ve çizelge 4.8.'de mg/kg kuru ağırlık miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. 7.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Mn İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Ad. top.	Geri Kazanım %
Mn	1	126,44	156,92	78,80	138,40	672,00	500,56	74,49
	2	257,23	146,69	80,2	145,54	634,71	629,66	99,20
	3	446,3	320,19	178,1	152,96	966,11	1097,55	113,61
	4	149,92	183,88	140,05	145,4	693,6	619,25	89,28
	5	217,73	146,51	59,51	168,43	578,63	592,18	102,34
	6	149,73	26,63	43,19	97,06	337,45	316,61	93,82

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

Çizelge 4. 8.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Mn İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Mn	1	114,05	141,75	56,95	121,82	485,49	485,49	89,51
	2	143,37	96,83	35,1	101,98	415,6	415,6	90,78
	3	154,7	115,51	35,79	100,88	440	406,88	92,47
	4	247,52	123,13	32,3	127,78	556,64	530,73	95,34
	5	177,94	150,47	18,66	141,95	471,26	489,07	103,77
	6	225,3	57,91	13,79	117,8	440,89	414,26	94,08

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

4.3.4. İstasyonlara Göre Nikel'in (Ni) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği

Çalışma süresi boyunca yapılan analizlerde, Ni ağır metalinin kimyasal dağılımı ve içeriği Cu ağır metalinin ayırma şekline oldukça benzer olduğu görülmüştür. Ni ağır metalinin %42,41-88,93 değerleri ile büyük kısmının kalıntı bölümünden oluştuğu veriler elde edilmiştir. Bu ağır metalin sediment partiküllerine güçlü bir şekilde bağlı olduğu sonucuna varılabilir. Ni'nin en düşük parçalama bölümü %0,69-3,65 değerleri tesbit edilen su ve asitle çözülebilir (1.adım) bölümüdür. Ni ağır metalinin diğer düşük konsantrasyonu Fe/Mn oksitlere bağlı indirgenebilir (2.adım) bölüm olduğu belirlenmiştir. 2. en yüksek değerlerin elde edildiği yükseltgenebilir (3.adım) bölümünde sediment organik maddesinden dolayı organik maddeye bağlı kısmından oluştuğu belirlenmiştir.

Seyhan nehrinden Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan numunelerin sedimentindeki Ni içeriği ve dağılımı ölçülen değerler çizelge 4.9.'de ve çizelge 4.10.'de mg/kg kuru ağırlık miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. 9.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Ni İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Ni	1	1,36	3,32	6,70	91,40	128,00	102,78	80,30
	2	3,8	10,73	70,69	144,95	222,55	230,17	103,42
	3	4,56	7,48	40,51	136,85	179,07	189,4	105,77
	4	5,96	8,28	22,05	127,2	188,2	163,49	86,87
	5	1,65	10,35	60,39	166,27	218,63	238,66	109,16
	6	4,16	27,57	90,74	90,2	210	212,67	101,27

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

Çizelge 4. 10.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Ni İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Ni	1	1,87	4,96	27,15	104,94	158,11	138,92	87,86
	2	4,2	6,61	51,49	99,21	182,21	161,51	88,64
	3	4,03	7,85	48,44	100,88	185,05	161,2	87,11
	4	3,26	23,52	47,38	114,94	205,59	189,1	91,98
	5	2,45	34,77	33,01	149,28	222,31	219,51	98,74
	6	3,39	54,19	22,58	113,15	215,31	193,31	89,78

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

4.3.5. İstasyonlara Göre Kurşun'un (Pb) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği

Çalışma süresince yapılan analizlerde, Pb ağır metalinin parçalama sonucu kimyasal dağılımı ve içeriği %42,25-75,77 arasında değişen ve Ekim 2010'da alınan sediment numuneleride ortalama %52,37, haziran 2011'de alınan sediment numunelerinde ortalama %69,12 elde edilen değerlerle kalıntı (4.adım) bölümü ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Fakat Pb'nin biyoelverişliliği ve hareketlilik etkisi parçalamanın dağılım şeklinde her iki numune alma dönemi arasında farklılıklar oluşturmuştur. Ekim 2010'da alınan sediment numunesinde Pb'nin asitle çözülebilir (1. adım) bölümü ortalama %2,07, indirgenebilir (2.adım) bölümü ortalama % 20,41, yükseltgenebilir (3.adım) bölümü %25,15 takip etmiştir. Pb'nin yükseltgenebilir kısmında önemli miktarda bulunması sedimentte çözünmez metal sülfürlere veya hümk maddelerle kompleks formdaki metalin göstergesidir.

Ekim 2011 de alınan sediment numunesinin aksine Haziran 2011' de alınan sediment numunesinde Pb'nin asitle çözülebilir (1. adım) bölümü ortalama %0,20, indirgenebilir (2. adım) bölümü ortalama %17,76, yükseltgenebilir (3. adım) bölümü %12,76 değerler tesbit edilmiştir.

Seyhan nehrinden Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan numunelerin sedimentindeki Pb içeriği ve dağılımı ölçülen değerler çizelge 4.11.'de ve çizelge 4.12.'de mg/kg kuru ağırlık miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. 11.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Pb İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Pb	1	0,76	3,60	14,50	13,80	38,00	32,66	85,95
	2	0,36	11,17	11,24	23,96	44,51	46,73	104,99
	3	0,7	10,74	7,18	31,11	49,26	49,73	100,95
	4	1	15,52	15,75	27,6	66,2	59,87	90,44
	5	0,2	3,33	5,54	25,69	27,84	34,76	124,86
	6	1,29	6,9	5,83	8,63	19,41	22,65	116,69

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

Çizelge 4. 12.Seyhan Nehrinin Sedimentinde Pb İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Pb	1	0	2,24	16,02	42,71	71,85	60,97	84,86
	2	0	3,01	6,68	30,3	40,63	39,99	98,42
	3	0	3,11	5,93	27,11	37,17	36,15	97,26
	4	0	9,94	3,41	25,47	38,96	38,82	99,64
	5	0	7,17	1,98	23,36	30,04	32,51	108,22
	6	0,36	11,32	0,91	16,37	25,78	28,96	112,34

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

4.3.6. İstasyonlara Göre Çinko'nun (Zn) Kimyasal Dağılımı ve İçeriği

Çalışma süresi boyunca yapılan analizlerde, Zn metalinin parçalanma sonucu kimyasal dağılımın Ekim 2010'da alınan sediment numunelerinde %44,08-93,06 arasında değişen ve ortalama %67,17, Haziran 2011'de alınan sediment numunelerinde %43,08-89,06 arasında değişen ve ortalama %65,40 sonuçlarla kalıntı (4. adım) bölümünün ağırlıklı olduğu tesbit edilmiştir. Ancak her iki numune alma döneminde Zn'nin hareketli olduğu formda belirlenmiştir. Ekim 2010'daki sediment numunelerinde indirgenebilir (3. adım) bölümü ortalama %15,06 değerleri bulunurken Haziran 2011'deki sediment numunelerinde indirgenebilir (2. adım) bölüm ortalama %21,57 değerleri elde edilmiştir. Asitle çözülebilir (1. adım) bölümü ise ortalama %3,38 değeri elde edilmiştir. Özellikle her iki numune alma

dönemlerinde 1. istasyon ve 2. istasyon da Zn metalinin harekete geçme eğilimi yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Seyhan nehrinden Ekim 2010 ve Haziran 2011 tarihlerinde alınan numunelerin sedimentindeki Zn içeriği ve dağılımı ölçülen değerler çizelge 4.13.'de ve çizelge 4.14.'de mg/kg kuru ağırlık miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. 13.Seyhan Nehrinin Sedimetinde Zn İçeriği ve Dağılımı, Ekim 2010

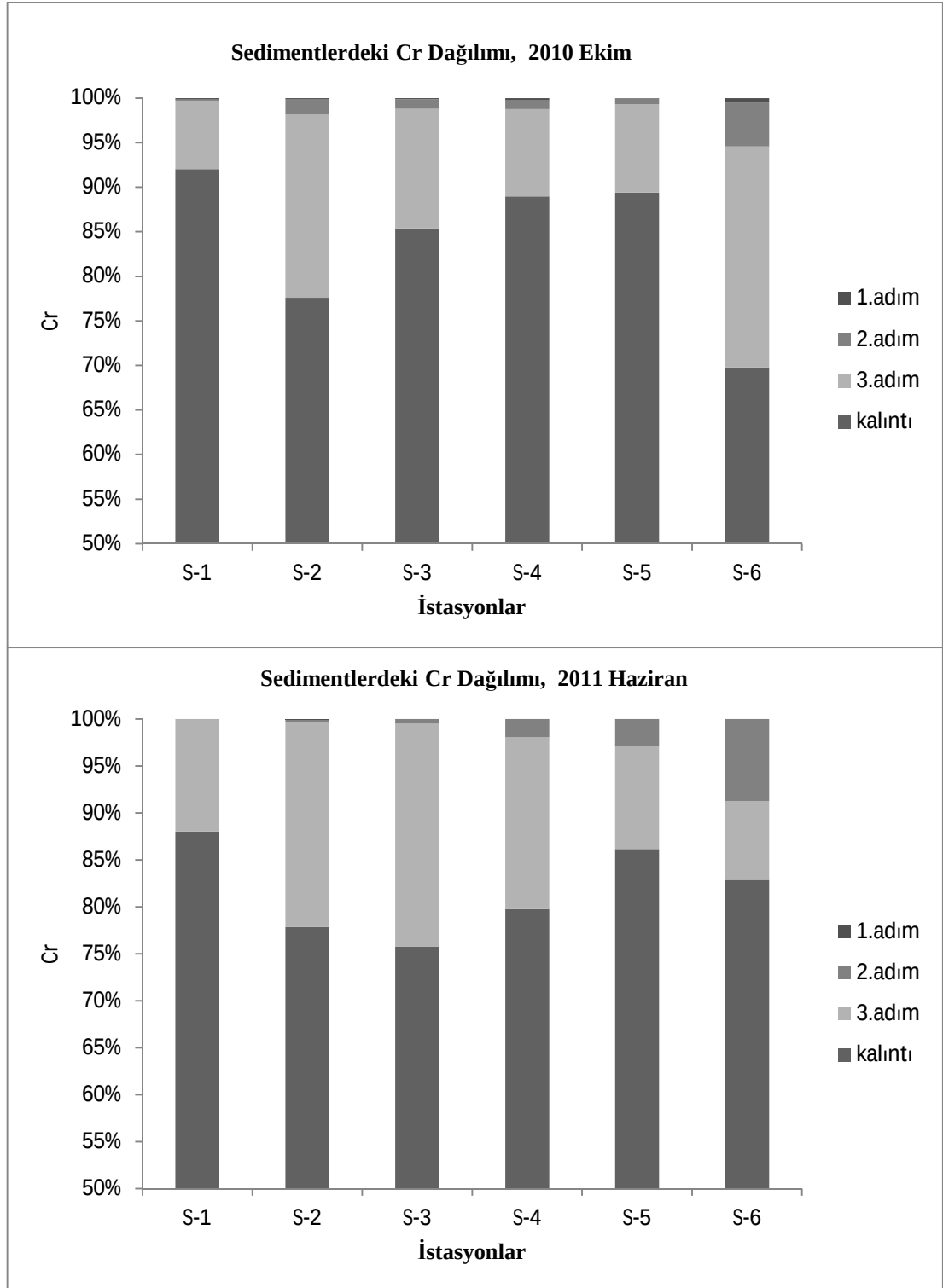
Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Zn	1	0,32	1,24	5,15	90,00	71,60	96,71	135,07
	2	15,76	35,37	36,78	69,31	139,02	157,22	113,09
	3	6,78	22,48	24,49	70,37	107,22	124,12	115,76
	4	1,32	18,84	20,65	112,4	100,8	153,21	151,99
	5	0,39	7,53	6,37	72,94	63,33	87,23	137,74
	6	2,9	13,14	12,7	31,37	53,14	60,11	113,12

Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenabilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100

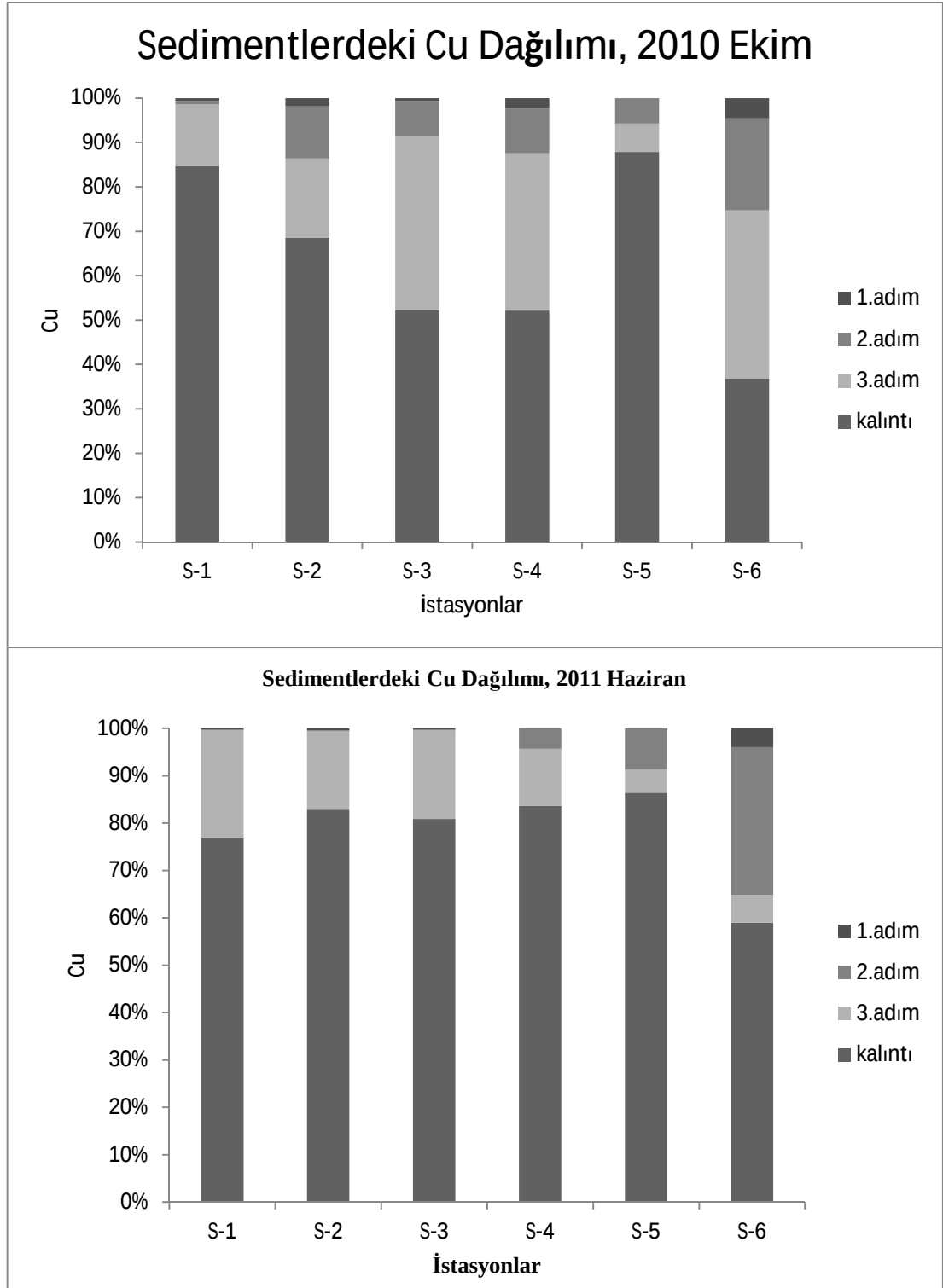
Çizelge 4. 14.Seyhan Nehrinin Sedimetinde Zn İçeriği ve Dağılımı, Haziran 2011

Element	İstasyon	1.adım	2.adım	3.adım	Kalıntı	Toplam	Adımlar Toplamı	Geri Kazanım %
Pb	1	0	10,41	18,25	64,06	118,94	92,72	77,96
	2	10,3	45,66	24,01	65,94	161,69	145,91	90,24
	3	9,37	45,37	21,38	57,62	146,06	133,74	91,57
	4	0,65	11,66	5,25	58,28	72,53	75,84	104,57
	5	0	5,27	0,2	44,55	51,67	50,02	96,81
	6	1,94	14,55	0,1	37,18	60,22	53,77	89,29

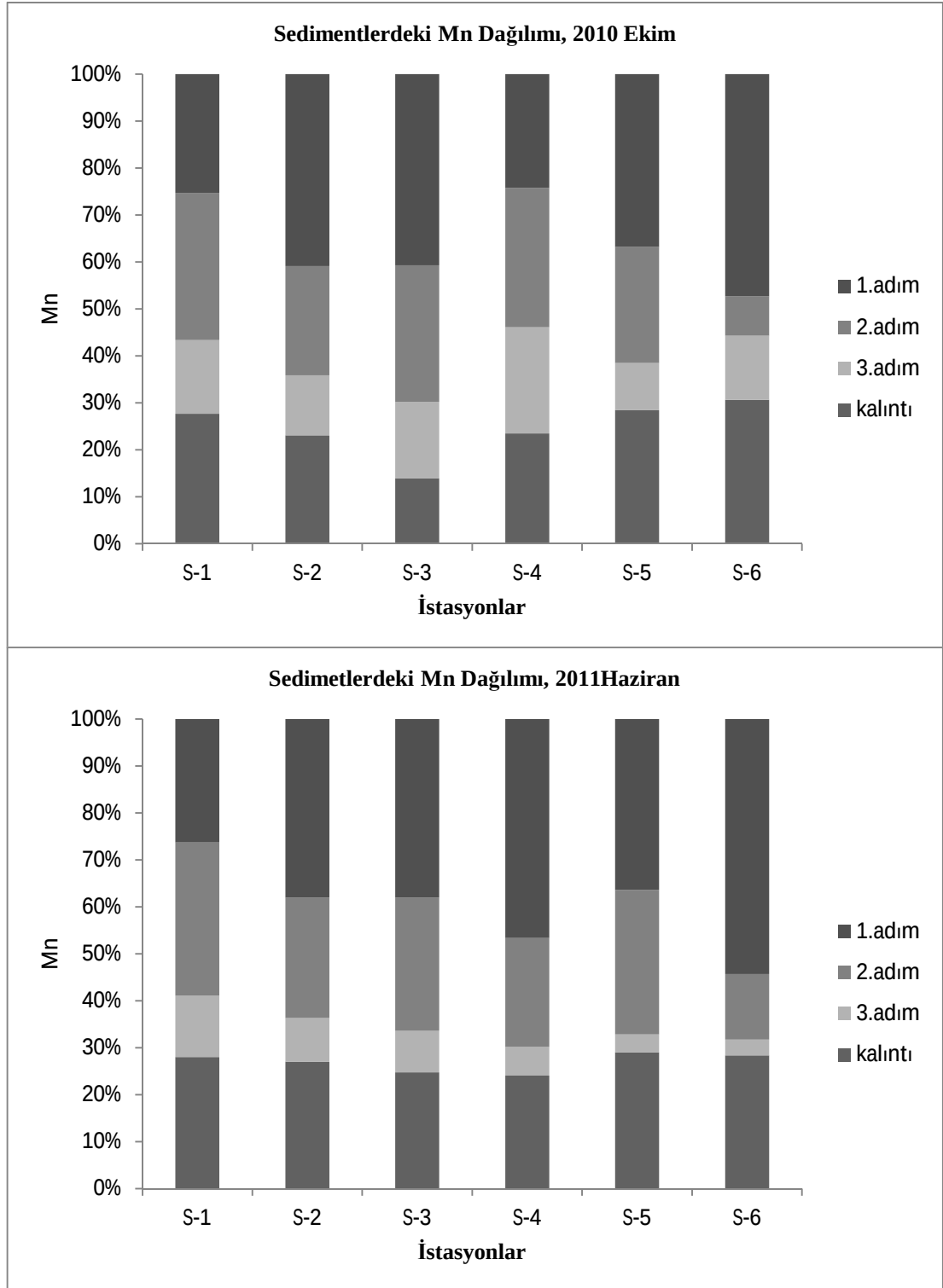
Değerler mg/kg kuru ağırlık, 1.adım: su ve asitle çözülebilir, 2.adım: indirgenebilir, 3.adım: yükseltgenebilir, adımlar toplamı: 1.adım +2.adım +3.adım+kalıntı, toplam: toplam parçalama değerleri, geri kazanım: (Adımlar toplamı/toplam)×100



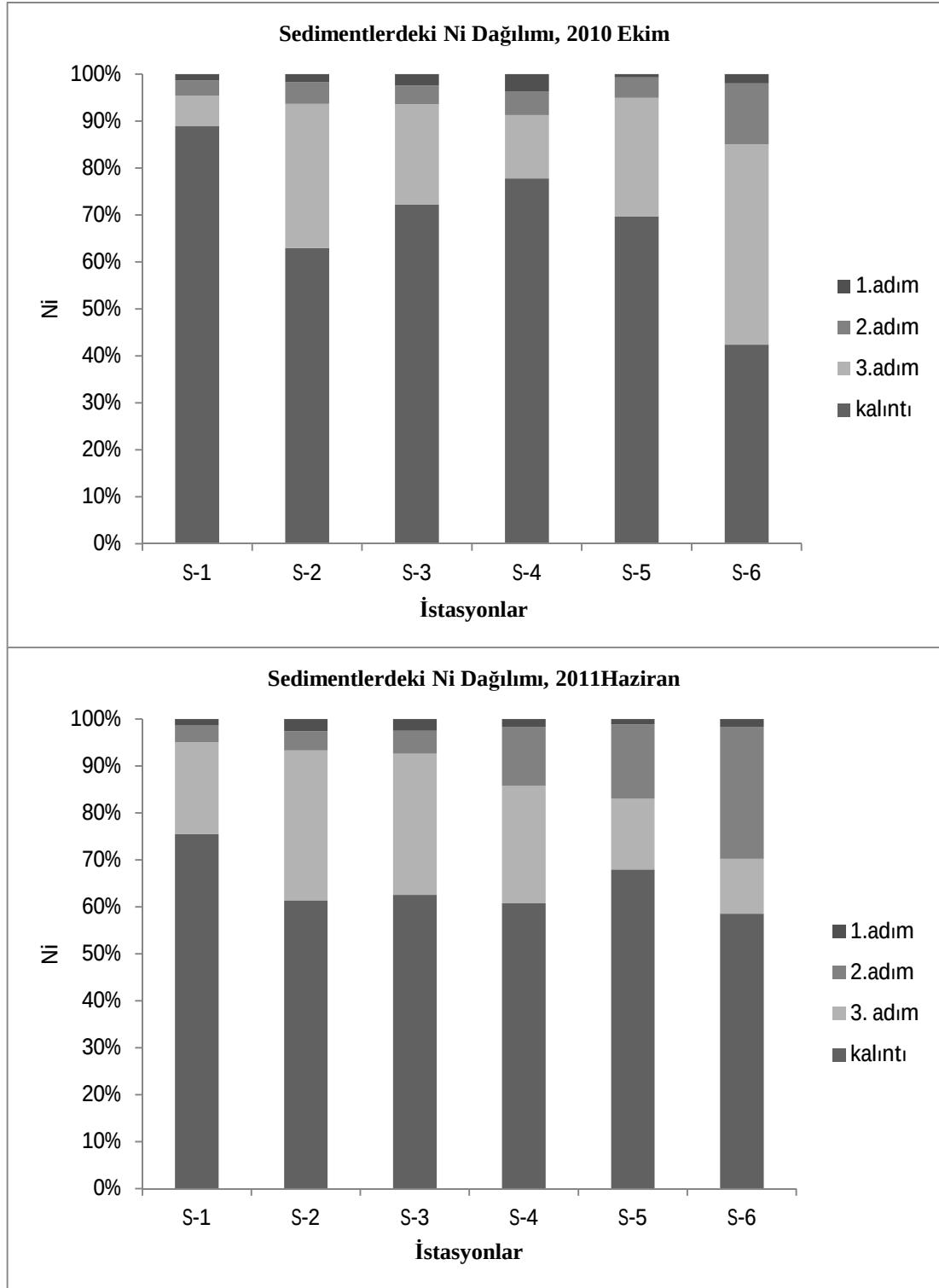
Şekil 4. 1.Sedimentlerdeki Cr Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011



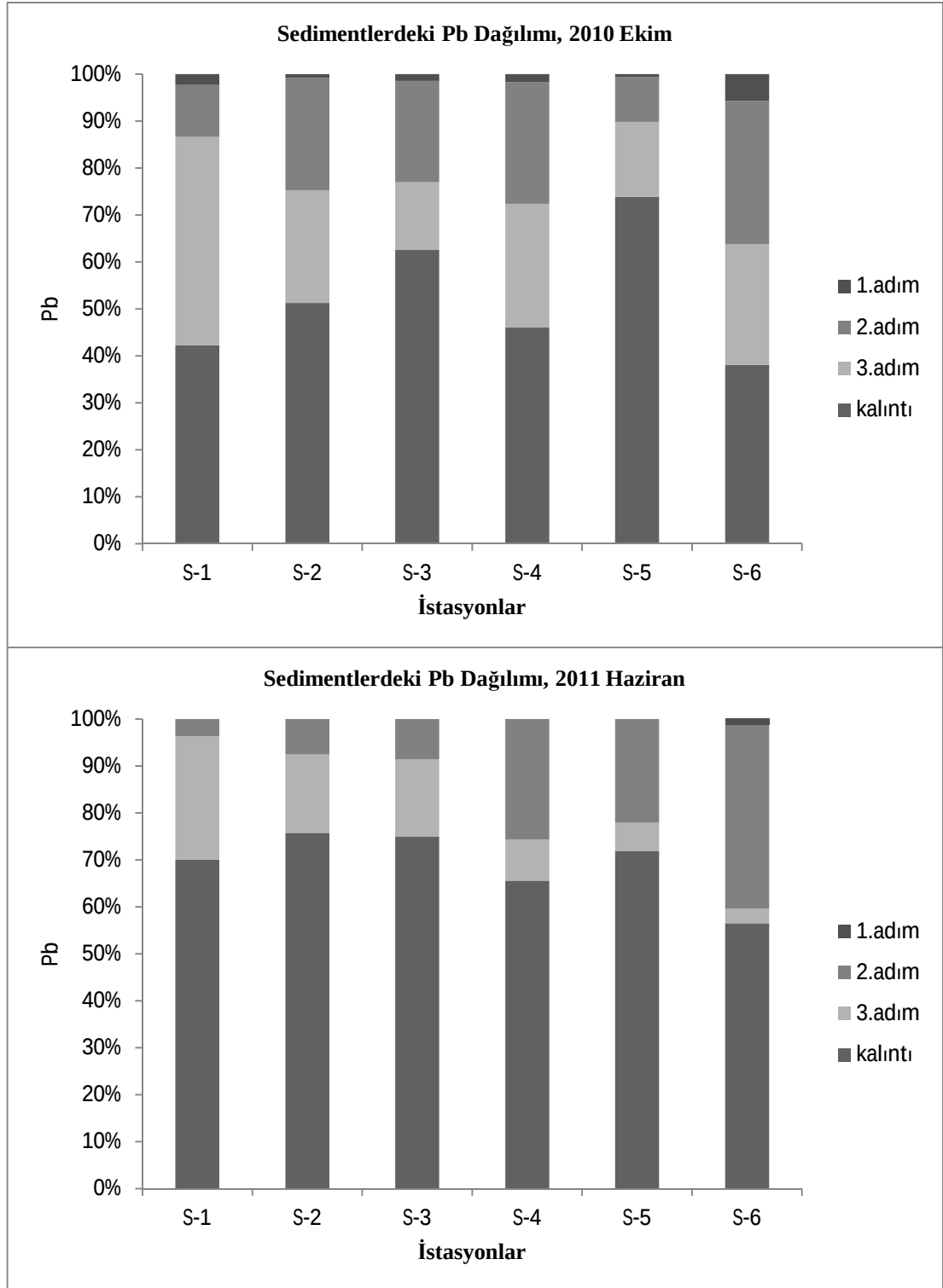
Şekil 4. 2.Sedimentlerdeki Cu Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011



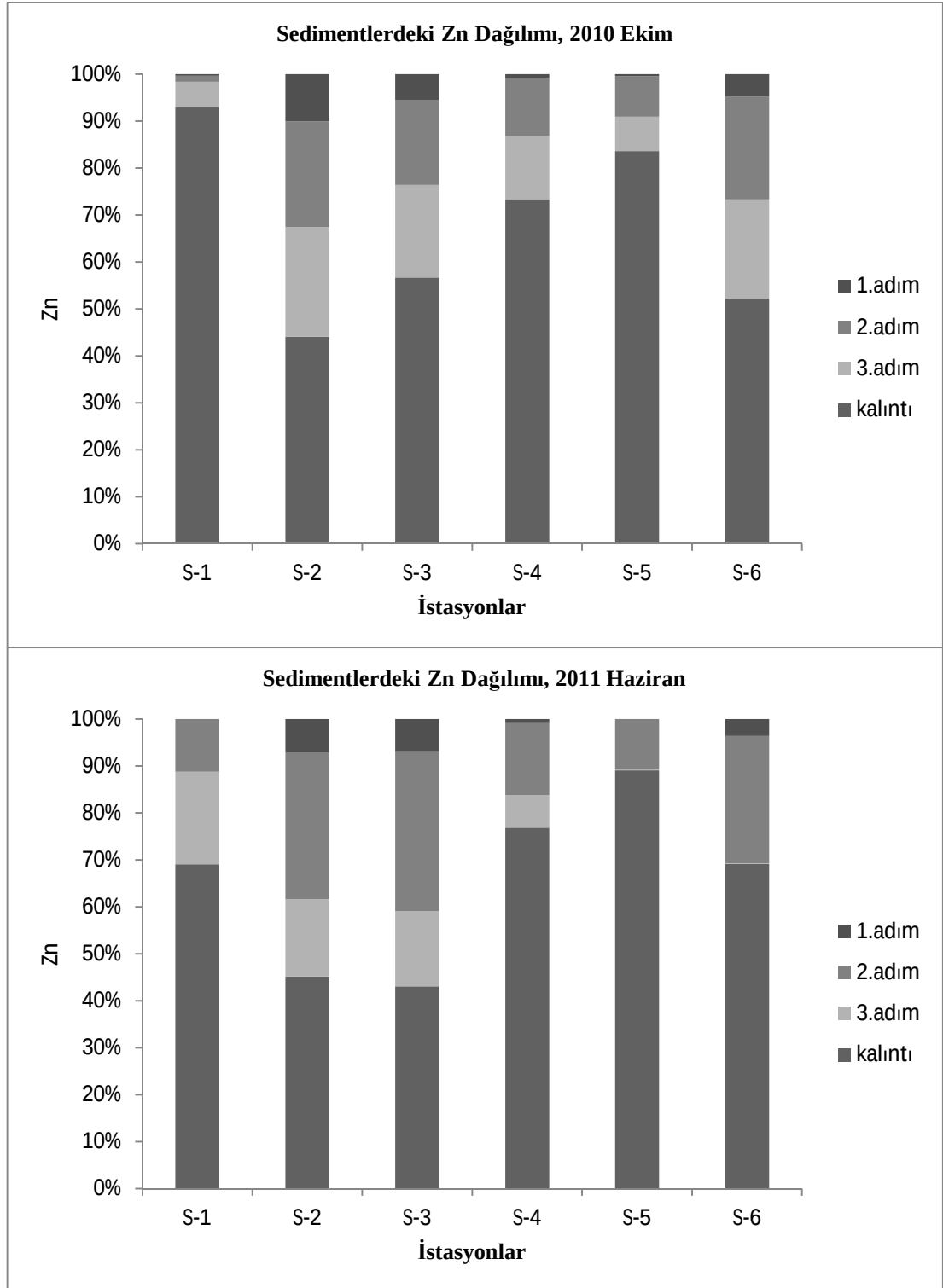
Şekil 4. 3.Sedimentlerdeki Mn Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011



Şekil 4. 4.Sedimentlerdeki Ni Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011



Şekil 4. 5.Sedimentlerdeki Pb Dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011



Şekil 4. 6.Sedimentlerdeki Zn dağılımı Ekim 2010, Haziran 2011

4.4. Sediment Risk ve Kalite Değerlendirmesi

Akarsu ve deniz sedimentlerinde metallerin etkilerini değerlendirmede kullanılan birkaç sediment kalite değerlendirme metodu vardır. Bu metodlardan biri ardışıklı ayırma proseüründe belirlenen metallerin su ve asitle çözülebilir bölümünün yüzdesine bağlı risk değerlendirme kılavuzudur (RAC) (Perin ve diğ., 1985).

Risk değerlendirme kılavuz değerleri çizelge 4.15’de verilmiştir. Sediment numunelerinde ölçülen değerlerle mukayese edilmiştir. Risk değerlendirme kılavuzundaki sınıflandırma metallerin en yüksek su ve asitle çözülebilir bölümüne göre değerlendirilip karşılaştırılmıştır. Risk değerlendirme kılavuzunda su ve asitle çözülebilir bölümüne göre belirlenmiş değerlere göre Cr risk yok, Cu ve Ni düşük risk, Pb ve Zn orta risk iken Mn çevresel olarak yüksek risk olarak grublandırılmıştır. Ancak hatırdı tutulmalıdır ki risk kılavuz değerlendirme sonucu ne olursa olsun her metalin sucul organizmlar üzerine ayrı etkiler göstermektedir. Bunun yanında risk değerlendirme kılavuz prosedürünün belirgin zayıf bir noktası vardır. Örneğin risk değerlendirme kılavuzuna göre Mn yüksek riskli bir metal iken Cd, Cr, Ni ve Pb gibi metallerin düşük konsantrasyonları karşılaştırıldığında düşük zararlı risk gösterebilir.

Çizelge 4. 15.Risk değerlendirmesi

<u>Risk değerlendirmesi</u>	<u>Kriterler</u>
Kılavuz (RAC)	%
Risk yok	<1
Düşük risk	1-10
Orta risk	11-30
Yüksek risk	31-50
Çok yüksek risk	>50

Çizelge 4. 16.RAC-Kriterine Göre Asitle Çözülebilir Bölümün Değerlendirilmesi

	İstasyonlar	Element (asitle çözülebilir bölüm, %)					
		Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Ekim 2010	1	0.15	0.66	25,26	1,32	2,33	0,33
	2	0.09	1.86	40,85	1,65	0,77	10,02
	3	0.14	0.63	40,66	2,41	1,41	5,46
	4	0.27	2.37	24,21	3,65	1,67	0,86
	5	0,00	0,00	36,77	0,69	0,58	0,45
	6	0,52	4.57	47,29	1,96	5,70	4,82
Haziran 2011	1	0,00	0,24	26,24	1,35	0,00	0,00
	2	0,04	0,46	38	2,60	0,00	7,06
	3	0,00	0,27	38,02	2,50	0,00	7,01
	4	0,00	0,00	46,64	1,72	0,00	0,86
	5	0,00	0,00	36,39	1,12	0,00	0,00
	6	0,00	3,95	54,32	1,75	1,24	3,61
RAC-kriter		Risk yok	Düşük risk	Yüksek risk	Düşük risk	Düşük risk	Orta risk

Diğer bir değerlendirme de Sediment Kalite Kılavuz (SQG) değerlerine göre yapılmıştır. Sediment kalite kılavuz değerleri sedimentteki toplam metal konsantrasyon miktarına bağlıdır. Örnekleme ve kimyasal analizler esnasında yapılan hatalar sediment kimyasını ve biyolojik alınabilirliğini değiştirebilir. Böylece ulaşılan sediment kalite kılavuz değerleri araştırma yapılan alanı tam olarak yansıtmayabilir. Bunun için sedimentlerin kılavuz değerleri sadece gözlemlene veya toksik maddelerin miktarlarının bir kanıtı olarak kullanılmalıdır (Burton 2002).

Bu çalışmada, ağır metaller için sediment kalite değerlendirmesi US. EPA tarafından oluşturulan etki değer-düşük, ER-L ve etki değer-orta, ER-M değerlerine göre yapılmıştır. ER-L ve ER-M değerlerinin dışında; eşik etki seviyesi, TEL ve olası etki seviyesi, PEL kalite sınıflandırmasında mevcuttur.

Ağır metallerin ER-L değerlerini aşmış ancak ER-M değerlerinden küçükse, ağır metallerden kaynaklanan kirlilik dikkat edilmesi gereken bir seviyeye ulaşmış manasına gelmektedir ve değerlendirme orta kirli sınıf olarak yapılmamaktadır. Eğer ağır metal konsantrasyonları ER-M değerlerinin üstündeyse oldukça kirli sınıfa girer ve öncelikle çözüme ulaştırılması gereken bir konu olarak görülür (Anonim, 1999). Çizelge 4.17’de Seyhan nehri sedimentlerinde ölçülen ağır metal konsantrasyonları ve ER-L, ER-M, TEL, PEL değerleri ile mukayesesi görülmektedir.

Çizelge 4. 17. Sedimentteki Toplam Metal Konsantrasyonu ve SQG ile Karşılaştırılması (mg/kg kuru ağı.)

	İstasyonlar	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Ekim 2010	1	103,00	45,00	672,00	128,00	38,00	71,60
	2	141,96	45,88	634,71	222,55	44,51	139,02
	3	114,44	67,41	966,11	179,07	49,26	107,22
	4	124,6	82	693,6	188,2	66,2	100,8
	5	110	29,41	578,63	218,63	27,84	63,33
	6	101,96	14,71	337,45	210	19,41	53,14
Haziran 2011	1	108,99	89,51	485,49	158,11	71,85	118,94
	2	113,35	50,58	415,6	182,21	40,63	161,69
	3	109,29	48,69	440	185,05	37,17	146,06
	4	118,88	41,56	556,64	205,59	38,96	72,53
	5	100,34	32,04	471,26	222,31	30,04	51,67
	6	96,54	18,73	440,89	215,31	25,78	60,22
Sediment Kalite Klavuz Değerleri	TEL	52,3	18,7	-	15,9	30,2	124,0
	PEL	160,4	108,2	-	42,8	112,2	271,0
	ER-L	81,0	43,0	-	20,9	46,7	150,0
	ER-M	370	270	-	51,6	218	410,0

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Aşağı Seyhan Nehri sedimentlerinde 2010 Ekim ve 2011 Haziran aylarında belirlenen istasyonlardan numune örnekleri alınarak altı ağır metalin (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) kimyasal dağılımı ve içeriği modifiye edilmiş BCR üç adımlı ardışıklı ayırma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Modifiye edilmiş BCR üç adımlı ardışıklı ayırma yöntemi sonucu elde edilen bulgulara göre sediment numunelerindeki ağır metaller için su ve sediment arasındaki metal transferi ve metallerin sediment içinde hangi bileşiklere bağlı olduğu (karbonatlara, organik maddelere, Fe/Mn oksitlere, sülfürlere) tesbit edilmiştir. Böylece toksik etkilere sahip metallerin hangi şartlar altında mobilize hale geçtiği, biyoyaralanım ve potansiyel toksisitesi ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan analizler sonucu ağır metallerin kimyasal dağılımı ve içeriği Mn hariç tüm metaller için çoğunluğu sedimentin mineral yapısına bağlı olduğu bulunmuştur. Elde edilen ağır metal değerlerine göre Ekim 2010'da $Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cr$, Haziran 2011'de ise $Mn > Zn > Ni > Pb > Cr > Cu$ şeklinde mobilize oldukları tesbit edilmiştir. Risk Değerlendirme Kılavuz'unda su ve asitle çözülebilir bölümüne göre belirlenmiş değerlere göre Mn çevresel olarak yüksek riskli iken Pb ve Zn orta risk, Cu ve Ni düşük risk, Cr ise risk yok olarak sınıflandırılmıştır. Risk Değerlendirme Kılavuzu'na ek olarak Sediment Kalite Kılavuz (SQG) için Aşağı Seyhan Nehri toplam metal konsantrasyon değerlerine göre toksikolojik tehlikesi kirli değil ve orta kirli olarak değerlendirilmiştir. Ni ağır metalinin yüksek konsantrasyonda değerler çıkması bu bölgenin doğal jeo-morfolojik özelliklerinden kaynaklı olduğu diğer yapılan araştırmalarla paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Aşağı Seyhan Nehri'nin sediment kalitesi hakkında önemli veriler edilmesine rağmen sediment kalitesi için daha kesin sonuçlar elde etmek için zenginleştirme faktörünün (EF) saptanması gereklidir. Böylece ölçülen değerlerin nehrin doğal jeo-morfolojik özelliklerinden veya insan faaliyetlerinden dolayı mı kaynaklandığı sorgulanabilir. Ağır metallerin taşınım mekanizmalarının belirlenerek model kurulması diğer önemli bir konudur.

Aşağı Seyhan Nehri, Seyhan Nehrinin küçük bir kısmıdır. Seyhan nehrinin yukarı kesimlerinde maden işletmelerinin ve nehir üzerinde inşa edilen barajların nehir su ve sediment kalitesine etkilerinin araştırılması önerilen bir diğer husustur.

KAYNAKLAR

- ANONİM, 1999. Sediment Quality Guidelines Developed for the National Status and Trends Program.
- ANONİM, Seyhan Nehri Havzası Çevre Yönetim Planı Geliştirilmesi Projesi, Final Raporu, 1996. Proje no:93k100020. Sunulan Kuruluş: T.C Çevre Bakanlığı, Çevre Koruma Müdürlüğü.
- ABD Millet Meclisi (US Congress), 1987. The Clean Water Act, Washington, DC.
- ALLEN, H.E., FU, G., DENG, B., 1993. Analysis of Acid-Volatile sulfide (AVS) and Simultaneously Extracted metals (SEM) for the estimation of potential toxicity in the aquatic sediments. Environ. Toxicol. Chem. 10;1299-1307
- ALLOWAY, B.J., AYRES, D.C., 1997. Chemical Principles of Environmental Pollution. Chapman & Hall, UK.
- ATAYETER, S., 1996. Gemlik Körfezi-Karacaali Yöresi Su, Sediment ve Bazı Balık türlerinde Pb, Cu, Cd, ve Hg Düzeylerinin Belirlenmesi. Ankara Üniv. Fen Bil. Ens. Su Ürünleri Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- BAYKUT, F., AYDIN, A., BAYKUT, S., 1987. Çevre Sorunlar ve Koruma s.73-79, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- BERNDTSSON, R., 1990. Transport and Sedimentation of Pollutants in a River Reach. A Chemical Mass Balance Approach." Wat. Resour., Res., 26:1549-1558
- BİROL, E., 1992. Değişken Çevre Faktörleri Etkisinde Kadmiyumun Midyedeki Biyokinetiğinin Araştırılması. Doktora tezi, İstanbul.
- BOURG, A.C.M., SCHINDLER, P.W., 1985. Control of Trace Metals in Natural Aquatic Systems by the Adsorptive Properties of Organic Matter. Proc. Internat. Conf. Heavy Metals in the Environment, Sept. 1985, Athens, 1;97-99
- BROWN, P. H., DUNEMANN, L., SCHULZ, R., MARSCHNER, H., 1989. Influence of Redox Potential and Plant Species on the Uptake of Nickel and Cadmium from Soil. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk., 152:89-91.

- BURTON, G.A., 1992. Sediment toxicity assessment.” Lewis Publisher, Boca Raton, FL.
- BURTON, G.A., 2002. Sediment Quality Criteria in Use Around the World. *Limnology* 3; 65-75.
- CAETANO, M., MADUREIRA, M.J. VALE, C., 2002. Metal Remobilization during Resuspension of Anoxic Contaminated Sediment: Short- Term Laboratory Study. *Water Air Soil Pollution*. 143 (1-4); 23-40
- CAILLE, N., TIFFREAU, C., LEVYAL, C., MOREL, J.L., 2003. Solubility of metals in an anoxic sediment during prolonged aeration. *Sci. Total. Environ.* 301;239-250.
- CALMONA W., AHLF, W., FÖRSTNER, U., 1996. Sediment Quality Assessment: Chemical and Biological Approaches. In *Sediment and Toxic Substances*, eds W. Calmano ve U. Förstner, pp. 1-35. Springer Verlag, Berlin.
- CALMANO, W., HONG, J., FORSTNER, U., 1993. Binding and Remobilisation of Heavy Metals in Contaminated Sediment Affected By Ph and Redox Potential. *Water Sci Technol.* 28;223-35
- CANTWEL, M.G., BURGESS, R.M., KESTER, D.R., 2002. Release and Phase Partitioning of Metals from Anoxic estuarine Sediments during Periods of Simulated Resuspension. *Environ. Sci. Technol.* 35;5328-34
- CHAPMAN, G., 1978. Toxicological Consideration of Heavy Metals in the Aquatic Environment. In *Toxic Materials in the Aquatic Environment*, Oregon State University, WRI, Corvallis, Or.
- CHEN, W., TAN. S.K., TAY, J.H., 1996. Distribution, Fractional Compositions and Release of Sediment-Bound Heavy Metals in Tropical Reservoirs. *Water Air Soil Pollut.* 1996;92:273-78.
- CONOR. R. 2004. The Nutritional Trace Metals. Black well Publishing, Iowa State Press.
- DAVIDE, V., PARDOS, M., DISERNS, J., UGAZZIO, G., THOMAS, R., DOMINIK, J., 2003. Characteriation of Bed Sediments and Suspension of the River Po (Italy) During Normal anf High Flow Conditions. *Water Research* 37;2847-2864.

- DAVUTLUOĞLU, O., I., SECKIN, G., ERSU, C., B., YILMAZ, T., SARI, B., 2011. Heavy Metal Content and Distribution in Surface Sediment of the Seyhan River, Turkey, *Journal of Environmental Management* 92:2250-2259
- DAVUTLUOĞLU, O., İ., 2004. Aşağı Seyhan Nehri Sedimentlerinde Ağır ve İz Metallerin Konsantrasyonlarının Mevsimsel Dağılımı, Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- DAVUTLUOĞLU, O., I., SECKIN, G., ERSU, C., B., YILMAZ, T., SARI, B., 2011. Assessment of Metal Pollution in Water and Surface Sediment of the Seyhan river, Turkey. Using Different Indexes, *Clean-Soil, Air, Water* 39 (2), 185-194.
- DAVUTLUOĞLU, O., I., SECKIN, G., KALAT, D.G., YILMAZ, T., ERSU, C., B., 2010. Speciation and implications of heavy metal content in surface sediments of Akyatan Lagoon, Turkey. *Desalination* 260, 199-210.
- DELAUNE, R.D., SMITH, C.J., 1985. Release of Nutrients and Metals Following Oxidation of Fresh Water and Saline Sediment. *J.Environ. Qual.* 14 (2); 164-169
- DI TORO, D.M., MAHONY, J.D., HANSEN, D.J., SCOTT, K.J., HICKS, M.B., MAYR, S.M., 1990. Toxicity of Cadmium Sediments: The Role of Acide Volatile Sulfide. *Environ. Toxicol. Chem.* 9:1478502.
- DMİ, 1984. Ortalama, Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DOĞAN, M., 2002. Sağlıklı Yaşam Kimyası, *Popüler Bilim Dergisi* Ocak 2002 S. 32-36
- DSİ. Aşağı Seyhan Havzası Master Planı.” 1980.
- ENVIRONMENT CANADA. 1994. Guidance Document on Collection and Preparation of Sediments for Physicochemical Characterization and Biological Testing. Environmental Protection Series. Report Eps 1/Rm/29 December, 1994, 132 pp.
- ERKEK, C., AĞIROĞLU, N., 2002. Su Kaynakları Mühendisliği. 4. Baskı . Beta Basım Yayınları Dağıtım A.Ş. İstanbul. ISBN:975-124-2

- FAN, W., WANG, W-X., CHEN, J., YEN, Y-F., 2002. Cu, Ni and Pb Speciation in Surface Sediments from a Contaminated Bay Of Northern China. Mar. Pollut. Bull. 44;816-32
- FAUST, S.D., ALY, O.M., 1983. Chemistry of Water Treatment. Butterworth Publishers, 723p.
- FILGUEIRA, A.V., LAVILLA, I., BENDICHO, 2004. Evaluation of Distribution, Mobility and Binding Behavior of Heavy Metals in Surficial Sediments of Loura River (Galacia, Spain) Using Chemometric Analysis: A Case Study. Scien. Of The Tot. Envr. 330 (2004) 115-129.
- FORSTNER, U., AHLF, W., CALMANO, W., 1989. Studies on the transfer of heavy metals between sedimentary phases with a multi-chamber device: combined effects of salinity and redox potential. Mar. Chem. 28;145-58
- GOOGYEAR, K.L., McNEILL, S., 1999. Bioaccumulation of Heavy Metals by Aquatic Macroinvertebrates of Different Feeding Guilds. A Review. Sci. Total Environ. 229;1-19
- GRIMWOOD, C., McGHEE, T.J., 1979. Prediction of pollutant release resulting from dredging. Water Pollut. Control Fed. 52;1811-5
- HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J.M.C., 1989. Free Radicals in Biology and Medicine. 2nd Ed. Oxford, U.K
- HAYJE, V., PAYNE, T.E., HILL, D.M., McORIST, G., BIRCH, G.F., SYMCZAK, R., 2003. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effect of pH, salinity and particle load. Environ. International 29 (2003) 619-629
- HELIOS RYBICKA, E., 1996. Impact of Mining and Metallurgical industries on the Environment in Poland. Appl. Geochem., 11:3-9
- HOUSE, M.A., ELLIS, J.B., HERRICKS, E.E., 1992 Urban Drainage Impact on Receiving Water Quality. Water Sci. Technol 1992; 27 117-158
- HUTTON, M., SYMON, C., 1986. Sci. Total Environ. 57:129-150
- JAIN, C.K., SHARMA, M.K., 2001. Distribution of Trace Metals in the Hidon River System, India. Journal of Hydrology. 253:81-90

- JOHANSSON, H., 2002. On Distribution Coefficients in Aquatic System Doctoral Thesis. Departmen of Earth Sciences, Upsala University, Willavagen, Sweeden.
- KARADEDE, H., 1997. Atatürk Barajı Gölünde Su, Sediment ve Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin Araştırılması. Dicle Üniv. Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- KARAGEORGIS, A., P., NIKOLAIDS, N., P., KARAMANOS, H., SKOULIKIDIS, N., 2003. Water and Sediment Quality Assessment of the Axios River and Its Coastal Eenviroment, Continental Shelf Research 23:1929-1944
- KARPUZCU, M., 1996. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. Kubbealtı Neşriyat:28, ISBN 975-7663-10-7, İstanbul.
- KLOKE, A., SAUERBECK, D.R., VETTER, H., 1984. The Contamination of Plants and Soils with Heavy Metals and Transport of Metals in Terrestrial Food Chains. In Nriagu, J.O. (Ed) Changing Metals in Human Health, Springer Verlag, Berline, 113-141.
- KOELMANS, A.A., RADOVANOVİĆ, 1998. Prediiction of Trace Metal Distribution Coefficients (KD) for Aerobic Sediments. Water Science and Techonology, 37; 1-8
- KRENKEL, P.A., NOVOTNY, V., 1980. Water Qualiity Management. Academic Press, New York, NY.
- KURT, SPOKAS., DONG, WANG., 2002. Improved Accuracy of Distribution Coefficient Determination of Volatile Organic Compounds Through Headspace Ge Methodology. Research Project, Great Lakes Regional American Chemical Society Symposium Nc, USA.
- LATIMER, J.S., DAVIS, W.R., KEIITH, D.J., 1999. Mobilization of PAHs and PCBs fromInplace Contaminated Marine Sediment During Simulated Resuspension. Estuar Coast Shelf Sci, 49;577-95.
- LEVIN, H.L., 1981. Contemporary Physical Geology. CBS College Publish West Washington Square, Philadelphia, Pa 19105. Pp:98-128. ISBN: 0-03-057803-5.

- LI, X., SHEN, Z., WAI, O.W.H., LI, Y-S., 2000. Chemical Partitioning of Heavy Metal Contaminants in Sediments of the Pearl River Estuary. *Chem. Speciat. Bioavailab.* 12 (1);17-25.
- LONG, E.R., MORGAN, L.G., 1990. The Potential for Bioşogical Effects Of Sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program. Technical Memorandum NOS OMA 1, National Oceanic and Atmospheric Agency, Rockville, MD.
- LOPEZ-SANCHEZ, J.F., RUBIO, R., SAMITIER, G., 1996. Trace Metal Pratitioning in Marine Sediments and Sludge Deposited of the Coast of Barcelona (Spain). *Water. Res.* 30 (1); 153-159.
- LORS, C., TIFFREAU, C., LABOUDIGUE, A., 2004. Effecets of Bacterial Activities on the Release of Heavy Metals from Contaminated Dredged Sediments. *Chemosphere* 56 (2004) 619-630.
- LUOMA, W.J., 1983. Bioavailability of Trace Metals TO Aquatic Organism-A Review. *Sci. Total Environ*; 28;1-22.
- MacDONALD, D.D., CARR, R.S., CALDER, F.D., LONG, E.R., 1996. Development and Evaluation of Sediment Quality Guidlines for Florida Coastal Waters. *Ecotoxigology* 5;253-278.
- MALANDRINO, M., ABOLLINO, O.,BUOSO, S., CASALINO, C., E., GASPARN, M., GIACONINO, A., LA GIOIA, MENTASTI, E., 2009. Geochemical Characterization of Antartic Soils and Lacustrine Sediments from Terra Nova Bay, *Microchem. J.* 92 (1):21-31
- MARTIN, M.H., COUGHTREY, P.J., 1985. Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution. Land and Air Applied Science Publishers England.
- MASON, C., 2002. Biology of Freshwater Pollution. 4th Edt. Pearson Education Limited. Edinburgh Gate, Harlow, UK. ISBN 0130-90639-5
- MATHIS, B.J., CUMMINGS, TÇF., 1973. Selected Metals in Sediments and Biota in Illinoil River. *J. Water Pollut. Control. Fed.* 45;1573-83.
- McCOHAN, C.P., PASCOE, D., 1988a. Cadmium Toxicity to Freshwater Amphipod *Gammarus Pulex* (L.) During The MOult Cycle. *Freshwater Biol.*, 19; 197-203.

- McCOHAN, C.P., PASCOE, D., 1988b. Culture Techniques for Three Freshwater Macroinvertebrate Species and Their Use in Tozicity Tests. *Chemosphere*, 17;2471-80
- METCALF and EDDY, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. George Tchobanoglous, Franklin L. Burton (Editor), H. David Stensel, New York, McGraw-Hill Pub., 27;77-80.
- METHA, A.J., 1989. Cohesive Sediment Transport I. Process Describition. *Journal HYdraul. Engng.*, 155:1076-1093.
- MOLNAR, A.J., NEMETH, T., PALMAI, O., 1995. Problems of Heavy Metal Pollution in Hungary. In *Heavy Metals, Problem end Solutşons* eds W. Salomons, U, Förstner, P. Mader. Pp. 323-344. Springer Verlag, Berlin.
- MORGAN, J.J., STUMM, W., 1991. Chemical Processes in the Environment, Relevance of Chemical Spection. In: Merien, E, Metals and Their Compounds in the Environment, VCH Publishers, Germany, pp. 67-103.
- MORILLO, J., USERO, J., GRACIA, I., 2002. Partition of Metals in Sediments From Odiel River (Spain). *Environ. Internat.* 28; 263-271.
- MTA, 1989. Türkiye'nin Bilinen Maden ve Minarel Kaynakları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları No:1985, Ankara.
- NOVOTNY, V., 1985. Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters. In *Heavy Matals, Problem and Solutions* eds W. Salomons, U, Förstner, P.Mader. pp. 33-52. Springer Verlag, Berlin.
- NRIAGU, J.O., 1988. A Silent Epidemic of Environmetal Poisoning Pollut., 50;136-61
- O'CONNOR, D.R., 1988. Models of sorbtive toxic substances in fresh water systems, Part I to III. *Journal Env. Eng. Div.*, (AECS), 114 (3).
- PEAKALL, D., 1992. *Animal Biomarkers as Pollution Indicators*. Chapman and Hall, London.
- PETERSEN, W., WILLER, E., WILLAMOSKI, C., 1997. Remobilization of trace elements from polluted anoxic sediments after resuspension in oxic water. *Water Air Soil Pollut.* 99;515-522.

- QIWEI, H., MINGMIN, H., 2000. Stochastic Theory of Sediment Motion. Proceedings of the Eighth International Symposium on Stochastic Hydraulics/Beijing/China 2000. Pp: 63-83.
- REIBLE, D.D., FLEEGER, J.W., TOMSON, M., KAN, A., THIBODEAUX, L., 2002b. Contaminant Released During Removal and Resuspension. In "A Review of Factor Effecting the Release and Bioavailability of Contaminants During Sediment Disturbance Events" Environ. International. 30;973-980.
- RAURET, G., LOPEZ-SANCHEZ, J., F., SAHUQUILLO, A., RUBIO, R., DAVIDSON, C., URE, A., QUAVAUVILLER, P., 1999. Improvement of the BCR Three Step Sequential Extraction Procedure Prior to the Certification of New Sediment and Soil Reference Materials, J., Environ., Monit., 1:57-61
- RODRIGEZ, L., RUIZ, E., ALONSO-AZCARATE, J., RINCON, J., 2009. Heavy Metal Distribution and Chemical Speciation in Tailing and Soils Around a Pb-Zn Mine in Spain, J., Environ., Manag., 90 (2):1106-1116.
- SALOMONS, W., STIGLIANI, W., 1995. Biogeodynamics of Pollutants in Soil and Sediments. Heidelberg: Springer-Verlag, 1995.p.2.
- SAMIULLAH, Y., 1990. Prediction of the Environmental Fate of Chemicals. London: Elsevier.
- SAULNIER, I., MUCCI, A., 200. Trace Metal Remobilization Following the Resuspension of Estuarine Sediments: Saguenay Fjord, Canada. Appl. Geochem. 15; 191-210.
- SHUL'KIN, V.M., BOGDANOVA, N.N., 1998. Mobilization of Zinc, Copper, Cadmium and Lead in Quaternary Seawater from a Suspension of Bottom Sediments. Mar. Chem. 38 (5);620-7.
- SINGH, K., P., MOHAN, D., SINGH, V., K., MALIK, A., 2005. Studies on Distribution and Fraction of Heavy Metals in Gomti River Sediments Tributary of the Ganges, India. Journal of Hydrology 312: 12-27.
- SIN, S., N., CHUA, H., LO, W., NG, L., M., 2001. Assessment of Metal Cations in Sediments of Shing Mun River, Hong Kong. Environment International 26:297-301

- SUTHAR, S., NEMA, A., K., CHABUKDHARA, M., GUPTA, S., K., 2009. Assesment of Metals in Water and Sediments of Hidon River, India, Journal of Hazardous Materials 171: 1088-1095.
- WOITKE, P., WELLMITZ, J., HELM, D., KUBE, P., LEPOM, P., LİTHERATY, P., 2003. Analysis and Assessment of Heavy metal Pollution in Suspended Solidsand sedments of the River Danube, Chemosphere 51:633-642.
- YILGÖR, A., YAŞAR, D., 2009. Aşağı Büyük Menders Nehri Kirliliği ve Deltaya Olan Etkileri, DSİ Teknik Bülteni 106:1-9.
- ZAİMOGLU, Z., SUCU, M.Y., DAVUTLUOGLU, O.I., HAZIR, I., YUCEER, A., 2006. Pollutant Monitoring of a Drainage Canal Receiving Industrial and Agriculture Wastewater in Cukurova Plain. J. Biol. Sci. 6-4, 646-650.
- ZHANG, W., FENG, H., CHANG, J., QU, J., XİE, H., YU, L., 2009. Heavy Metal Contamination in Surface Sediments of Yangtze River Intertidal Zone: An Assessment from Different Indexes, Environmental Pollution 157:1533-1543

ÖZGEÇMİŞ

18.08.1985 yılında Konya’da doğdu. İlköğrenimini ve lise öğrenimini Konya’da tamamladı. 2004 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2008 yılında lisans mezuniyetini aldı. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm’ünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve 2012 de Yüksek Lisansını tamamladı.