

ARAZİ VE LABORATUAR KOŞULLARINDA
“SEDİMAN OKSİJEN İHTİYACI (SOİ)”
BELİRLEME ÇALIŞMALARI
HÜSEYİN CÜCE
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAZİ VE LABORATUAR KOŞULLARINDA
“SEDİMAN OKSİJEN İHTİYACI (SOİ)” BELİRLEME ÇALIŞMALARI

HÜSEYİN CÜCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. GÜLFEM BAKAN

SAMSUN 2006

T.C
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından 25/01/2006 tarihinde yapılan sınav ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. A. Nur ONAR

Üye : Doç. Dr. Gülfem BAKAN (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ

ONAY:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

/ / 2006

Prof. Dr. A. Nur ONAR
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ARAZİ VE LABORATUAR KOŞULLARINDA “SEDİMAN OKSİJEN İHTİYACI (SOİ)” BELİRLEME ÇALIŞMALARI

ÖZET

Sediman kimyası, üzerini kaplayan su bünyesinin kalitesi ile yakın ilişkilidir. Su ile taşınan pek çok kirletici ve besi maddesi türü, çoğunlukla partikül madde ile bağlantılı olarak, çökebilir ve sediman haline gelir. Akarsu, göl ve kıyı sedimanlarında oksijen ihtiyacı, su kalitesi belirlemede anahtar bir konudur. Gerçekte, kıyı çevrelerde oksijen eksikliğine yol açan olayların, kıyı sularının kompozisyonunu ciddi boyutlarda etkilediği ve ortamda yaşayan canlı hayatını tehdit ettiği bilinmektedir. Çözünmüş oksijenin (ÇO) genellikle, sediman-su arayüzeyi aşığındaki ince taneli sedimanlarda hızlıca tüketilmesi sediman üzerindeki su kolonunda ÇO konsantrasyonlarının düşmesine yardımcı olan önemli miktarlarda “Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)” ile sonuçlanır. Besi maddesi ya da kirletici bütçelerinin önemli bir bileşen olabildiği bir su bünyesindeki sediman - su değişimi sonucunda, anoksik koşulların oluşması halinde çeşitli kirletici ve besi maddesi türleri açısından aşırı kimyasal koşulların gelişme göstermesi de olasıdır. Bu nedenle, akarsu, göl ve sığ kıyı çevrelerde SOİ’nin sorumlu olduğu prosesleri tanımlamak ve miktarını kesin olarak tayin etmek önemlidir.

Bu tez çalışmasının amacı, standart bir yöntemin araştırıldığı, “Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)” parametresinin sediman örneklerinde ölçümünün denenmesi, SOİ yöntembiliminin standartlaştırılmasına yönelik deneysel bir yaklaşımı içeren doğru ve güvenilir bir laboratuvar ölçüm metodu geliştirmek ve SOİ ölçüm tekniklerinin incelenmesini içermektedir.

Araştırma kapsamında, sediman örnekleri, Karadeniz’e dökülen Kızılırmak nehri yatağından Eckman-Birge grab örnekleme cihazıyla alınmıştır. Sediman örnekleri ile birlikte yüzey suyu kalitesinin değerlendirilebilmesi ve SOİ sonuçları ile ilişkilendirilebilecek farklı parametrelerin test edilebilmesi amacıyla nehirden yüzey suyu örnekleri de toplanmıştır. Sediman türlerine, akıntı karakterinin değişkenliğine

göre dokuz örnekleme istasyonu seçilmiştir. Her bir örnekte aşağıdaki parametreler: Sediman örneklerinde, % organik madde içeriği, % su içeriği, pH, tane boyutu dağılımı ve sediman oksijen ihtiyacı; aynı istasyon noktalarından alınan yüzey suyu örneklerinde ise ÇO, sıcaklık, pH, redoks potansiyeli, iletkenlik, tuzluluk, AKM, TÇKM, BOİ₅, KOİ, toplam fosfor, sülfat ve klorür iyonu konsantrasyonu ölçülmüş ve elde edilen bulgulara dayanılarak su/sediman kalite değerlendirme çalışmaları yapılmıştır.

SOİ oranlarının belirlenebilmesi için iki farklı deneysel çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalardan ilki, sediman örneklerinin BOİ şişelerinde inkübe edilerek SOİ oranlarının belirlenmesidir. İkincisi, yeniden tasarlanan bir SOİ ölçüm düzeneğini aracılığıyla SOİ oranlarının belirlenmesidir.

Her iki yöntemden de alınan sonuçlara göre, ortalama SOİ değerinin 0,2477-0,6112 g O₂ / m²gün arasında değişim gösterdiği, dolayısıyla nehrin yüksek kum ve su içeriği (ortalama % 25,46)ile düşük organik madde içeriğine (ortalama % 3,85) sahip sediman niteliği taşıdığı belirlenmiştir. Ayrıca, Kızılırmak nehri yüzey suyu kalitesinin Çevre Mevzuatı – Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıta içi su kalite sınıflandırmasına göre genelde 2. sınıf su kalitesi sergilediği tespit edilmiştir.

Ölçülen arazi ve laboratuvar verileri, Kızılırmak için sayısal su kalite modellerinin geliştirilmesi halinde yararlı olabilecek parametreleri sağlamasının yanında su/sediman kalitesinin ortaya konulmasında da faydalı olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Sediman, Çözülmüş Oksijen, Sediman Oksijen İhtiyacı, Sediman/Su Etkileşimi, Su Kalitesi

“SEDIMENT OXYGEN DEMAND (SOD)” DETERMINATION STUDIES AT FIELD AND LABORATORY CONDITIONS

ABSTRACT

Sediment chemistry is closely linked to the water quality of the overlying water body. Many water-borne pollutant and nutrient species are predominately associated with particulate matter that can settle and become sediment. Oxygen demand in river, lake and coastal sediments is a key issue in determining water quality. Indeed, hypoxic events which occur in coastal environments are known to severely impact the composition of coastal waters and affect the living infauna. Dissolved oxygen (DO) is usually rapidly depleted below the sediment-water interface of fine-grained sediments resulting in significant sediment oxygen demand (SOD), which helps to depress DO concentrations in the overlying water column. The resulting anoxic conditions can also drive the development of steep chemical gradients for various pollutant and nutrient species with the result that sediment-water exchange can constitute a significant component of nutrient or pollutant budgets for a water body. Thus, it is important to quantify precisely and identify the processes responsible for sediment oxygen demand in shallow coastal environments.

The purpose of this thesis research has includes testing sediment oxygen demand parameter measurements that investigate a standard method in sediment samples and developing a reliable, accurate laboratory respirometry method to determine the SOD including an experimental approach toward standardizing the SOD methodology, and review SOD measurement techniques.

In research extent, sediment samples were taken from Kızılırmak riverbed (flow into BlackSea) by Eckman-Birge grab sampling device. In order to evaluate surface water quality and to test different parameters that offer some comparative SOD results, surface water samples were also collected. Nine sampling stations based on sediment types and variability of stream flow characteristics were selected. The following parameters were measured on each sample: in sediment samples;

sediment organic matter content, sediment moisture content, sediment pH, sediment grain size distribution, and SOD determination studies were performed. Besides, temperature, pH, redox potential, conductivity, salinity, total suspended solids, total dissolved solids, COD, BOD₅, total phosphate, sulfate, and chloride ion concentrations were analysed in water samples from the same stations, and water/sediment quality evaluation studies were performed based on findings.

Two different experimental methods were performed in order to determine the SOD rates. One of them was determination the SOD rates using incubated BOD bottles containing sediments samples. The second one was determining the SOD rates using a remodified SOD measurement device.

According to the both results of SOD measurement methods, SOD rates were changing in the range of 0.2477 – 0.6112 g O₂ / m² / day ; indicating that the river bed had high sandy and water content (average % 25,46) whereas low organic matter content (average % 3,85) characteristics. On the otherhand, it was concluded that the Kızılırmak River has a 2. class water quality according to the classification of inland water quality at Water Pollution Control Regulations of Environment current Law.

The measured field and laboratory data will be useful in understanding the sediment/water quality of the water body and also provide parameters that may be used when developing numerical water quality models for Kızılırmak River.

Key Words: Sediment, Dissolved Oxygen, Sediment Oxygen Demand, Sediment/Water Interaction, Water Quality.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmam süresince, her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm sadece akademik tecrübelerini değil, yaşama dair tecrübelerini de benimle paylaşan, önerileri ve yapıcı eleştirileriyle, tezi hazırlamamda beni iyiye ve doğruya yönlendiren çok saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Gülfem BAKAN'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı en iyi şekilde yürütebilme şansını bana sunan değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ'a, uzun süren arazi ve laboratuvar çalışmalarında hiçbir zaman yardımını esirgemeyen Çevre Yüksek Mühendisi Sevtap TÜLEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin ortaya çıkmasında, özellikle zorlu arazi koşullarında gösterdiği özverili katkılarından dolayı teknisyen Muharrem GÖKSU'ya ayrıca teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi, yüksek lisans eğitimim süresince de maddi ve manevi desteklerini gördüğüm aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Sediman Oluşumu ve Su Kalitesinde Önemi	5
2.2. Erozyon ve Taşınım	8
2.2.1. Nehir Sisteminde Taşınım	8
2.2.2. Haliç ve Kıyı Çevrelerde Taşınım	9
2.2.3. Sediman Transferinde Baraj Etkileri	10
2.2.4. Depolanan Sedimanlar ve Ekolojik Fonksiyonu	11
2.3. Sediman Kalitesi Belirleme ve İzleme Yöntemleri	15
2.3.1. Sediman Kalite İzleme Metotları	16
2.3.2. Sediman Örneklerinin Toplanması	23
2.3.2.1. Sediman Örnekleme Çeşitleri	24
2.3.3. Sedimanın Taşınması, Depolanması ve Örnekleme Süreci	29
2.4. Fiziko-Kimyasal Sediman Karakterizasyonu	31
2.4.1. pH	32
2.4.2. Tane Boyutu Dağılımı	32
2.4.3. Yüzde Su (Nem İçeriği)	34
2.4.4. Gözenek Suyunun Tuzluluğu (Denizel Sedimanlarda)	35
2.4.5. Gözenek Suyunun İletkenliği (Tatlı su sedimanlarında)	35
2.4.6. Sedimanlarda Redoks Potansiyeli (Eh)	36
2.5. Akarsu Ortamında Çözünmüş Oksijen Değişimi ve Sediman Oksijen İhtiyacının Önemi	37

2.5.1. Akarsuların Atmosferden Oksijen Kazanması	41
2.5.2. Sediman Oksijen İhtiyacı	45
2.5.3. Sediman Oksijen İhtiyacını Etkileyen Faktörler	52
2.5.4. Sediman Oksijen İhtiyacı Ölçüm Metotları	55
2.5.4.1. Kesikli Sistem	56
2.5.4.2. Sürekli Akış Sistemi	57
2.5.4.3. Manometrik Sistem	57
2.5.4.4. Elektrolitik Sistem	57
2.5.4.5. Dehidrojenez Aktivitesi Sistemi	59
3. MATERYAL VE METOT	60
3.1. Çalışma Alanı	60
3.1.1. Örnekleme Noktalarının Seçimi	64
3.2. Yüzey Suyu Kalitesi Belirleme Çalışmaları	68
3.3. Sediman Kalitesi Belirleme Çalışmaları	69
3.3.1. Laboratuar Ortamında SOİ Belirleme Çalışmaları	70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
4.1. Kızılırmak Yüzey Suyu Örneklerinin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
4.2. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	88
4.2.1. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde SOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	92
4.2.1.1. BOİ Şişelerinde İnkübe Edilen Sediman Örneklerinde SOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	92

4.2.1.2. SOİ Düzeneginde Sediman Örneklerinde Ölçülen SOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	97
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR	112
EKLER	122
EK A	122
EK B	124
ÖZGEÇMİŞ	125

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Nehir Havzası – Kıyı Sürekli Ortamı. Irmak Boyunca Akıntı Yönünde Etkilenen Alanlara, Karadan Su, Sediman ve Kontaminant Akışı	5
Şekil 2.2. Nokta ve Yayılmış Haldeki Sediman ve Kontaminantların İzlediği Yollar	7
Şekil 2.3. Askıda Sediman ve Sucul Sediman Habitatlarının Konumu	13
Şekil 2.4. Sedimanların ve Boşluk Suyunun Toplanması, Depolanması ve Taşınmasını Gösteren Akış Şeması	20
Şekil 2.5. Kolon-Yüzey Örnekleme Cihazlarının Tasarlanan Tipleri	24
Şekil 2.6. Kabul Edilebilir veya Kabul Edilemeyen Yüzey Örneklerinin Gösterimi	28
Şekil 2.7. İki Film Kavramı	39
Şekil 2.8. Nehir Boyunca Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonundaki Değişim	45
Şekil 2.9. Bir Akarsu/Göl Sediman/Su Arayüzeyinde Difüzyonel Kütle Transferinin Şematik Gösterimi	50
Şekil 2.10. SOİ Prosesleri (A) ve Nehir Yatağına Yerleştirilen SOİ Çemberinin Kesitsel Görünümü (B)	51
Şekil 2.11. Sediman Oksijen İhtiyacının Yerinde Ölçümü için Yapılan Örnek Bir Çalışma	54
Şekil 2.12. Yerinde SOİ Ölçümü için Tasarlanan Sürekli Akış Sistemi	58
Şekil 3.1. Araştırma Sahasının Bölgesel Haritası ve Uydu Görüntüsü	61
Şekil 3.2. 1960 Yılından İtibaren Barajların İnşası ile Karadeniz’e Ulaşan Malzeme Akışındaki Azalma Miktarı	62
Şekil 3.3a. Kızılırmak Yatağındaki Malzemeyi Kullanan Beton-İnşaat Şantiyelerinden Biri	63

Şekil 3.3b.	Kızılırmak Yatağından Çekilen Hafriyatların Yol Açtığı Kıyı Erozyonuna Maruz Kalan İstasyon Noktalarından Biri (N4)	63
Şekil 3.4.	Çalışma Süresince Kullanılan Birge-Eckman Grab Sediman Örnek Alıcısı	65
Şekil 3.5.	Çalışma Süresince Kullanılan Nansen Şişesi (TPN-Su Örnekleyici HYDRO-BIOS KIEL)	66
Şekil 3.6.	Kızılırmak Çalışma Alanı Örnekleme İstasyonları	68
Şekil 3.7.	SOİ Tayini için BOİ Şişelerinde İnkübe Edilen Sediman Örnekleri (Nisan 2005 dönemi)	71
Şekil 3.8.	SOİ Tayini için BOİ Şişelerinde İnkübe Edilen Sediman Örneklerinde Analiz Aşaması	72
Şekil 3.9.	SOİ Ölçüm Düzeneginin Şematik Gösterimi	72
Şekil 3.10.	SOİ Ölçüm Düzeneginin Laboratuar Ortamında Görünümü	73
Şekil 3.11.	SOİ Ölçüm Düzeneginin Dizaynı	76
Şekil 4.1.	Kızılırmak Yüzey Suyu Ortalama Klorür ve Sülfat İyonu Konsantrasyonlarının Değişimi	87
Şekil 4.2.	Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde Ortalama % Organik Madde İçeriğinin Ort % Su İçeriğine Göre Değişimi	91
Şekil 4.3.	İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ-KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Ekim 2004)	95
Şekil 4.4.	İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ-KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Şubat 2005)	95
Şekil 4.5.	İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ-KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Nisan 2005)	96
Şekil 4.6.	İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ-KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Temmuz 2005)	96
Şekil 4.7.	SOİ Ölçüm Düzenegine Alınan Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçlarının Değişimi (Nisan 2005)	99
Şekil 4.8.	SOİ Ölçüm Düzenegine Alınan Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçlarının Değişimi (Temmuz 2005)	100

Şekil 4.9.	SOİ Ölçüm Düzenegine Alınan Sedimanlarda İki Farklı Hesaplama Yöntemine Göre SOİ Sonuçlarının Mevsimsel Değişimi	102
Şekil 4.10.	SOİ Ölçüm Düzenegine Alınan Sedimanlarda SOİ Sonuçları ile % Organik Madde İçeriği Değişimi (Nisan 2005)	104
Şekil 4.11.	SOİ Ölçüm Düzenegine Alınan Sedimanlarda SOİ Sonuçları ile % Organik Madde İçeriği Değişimi (Temmuz 2005)	105
Şekil 4.12.	Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde Tane Boyu Dağılım Eğrisi (Kümülatif % Geçen Ağırlık)	106
Şekil 4.13.	Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde Tane Boyu Dağılım Eğrisi (Kümülatif % Kalan Ağırlık)	106
Şekil 5.1.	Yerinde Düzlemsel Optik Sistem	111
Şekil 5.2.	Kara-Kutu Yaklaşımına Uyarlanan SOİ Ölçüm Odası ve Yerinde Mikro-Elektrot Uygulama Örneği	111

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Nehir Havzaları için Sediman ve Sedimana İlişik Kontaminantların Kaynaklarına Örnekler	8
Tablo 2.2. Bir Kaynak Olarak Sedimanın İncelenmesi	12
Tablo 2.3. Sediman Kalite İzleme Metodlarının Avantajları ve Sınırları	16
Tablo 2.4. Sediman Araştırma Programının Testleri ve Parametreleri	18
Tablo 2.5. Çeşitli Analizlerde Her Örnek İçin Gerekli Tipik Sediman Hacimleri	21
Tablo 2.6. Standart Sediman Değişkenleri ve Bunların Sediman Araştırmalarındaki Kullanımı	21
Tablo 2.7. Örnekleme Planı Geliştirirken Yere-Özel Örnek İstasyonları için Pratik Noktalar	22
Tablo 2.8. Sediman Örneklerinin Toplanması Kullanılabilecek Örnek Alıcıların Uygulama Koşulları ve Şematik Gösterimleri	25
Tablo 2.9. Genel Sediman Türleri için Tavsiye Edilen Örnek Alma Kapları, Bekletme Süreleri ve Depolama Koşulları	30
Tablo 2.10. Sedimanda Tane Boyutları	33
Tablo 2.11. SOİ Tayini için Araştırmacılar Tarafından Kullanılan Yerde (Yer) /Laboratuvar (Lab) Sistemleri	59
Tablo 3.1. Araştırma Kapsamında Belirlenen Örnekleme İstasyonları	66
Tablo 3.2. Örnekleme İstasyonlarından Alınan Sedimanların Genel Görünümleri	70
Tablo 4. 1. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Temmuz 2004)	79
Tablo 4. 2. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Ekim 2004)	80
Tablo 4. 3. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Şubat 2005)	81

Tablo 4. 4. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Nisan 2005)	82
Tablo 4. 5. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Temmuz 2005)	83
Tablo 4. 6. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde % Su İçeriği Analiz Sonuçları	90
Tablo 4. 7. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde % Organik Madde İçeriği Analiz Sonuçları	90
Tablo 4. 8. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde pH Ölçüm Değerleri	91
Tablo 4. 9. İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçları	93
Tablo 4. 10. SOİ Ölçüm Düzenine Alınan Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçları (Nisan-Temmuz 2005)	98
Tablo 4. 11. SPSS Programı ile Oluşturulmuş İki-yönlü Anova Tablosu	103
Tablo 4. 12. Yüzey Sedimanlarında SOİ Ölçümünün Yapıldığı Çeşitli Araştırmalar	107

3. GİRİŞ

Sediman, nehir havzalarının dinamik, köklü ve ayrılmaz gerçek bir parçasıdır. Doğal ve tarımsal havzalarda sediman, nehrin yukarı kesimindeki alanlarda yer alan toprak, mineral ve organik materyallerin erozyonu ve hava değişiminin etkisi, nehir kenarlarının ve diğer akışa müdahale eden kaynakların erozyonundan ileri gelir. Düz arazi şeklindeki alanlarda yüzey suyu akışı oranlarındaki düşüş nedeniyle, taşınan sediman nehir yatağı ve kıyıları boyunca sedimantasyon yoluyla birikir. Bu durum, göllerde, rezervuarlarda ve sel esnasında selin oluşturduğu platolarda da oluşabilir. Sıklıkla, toprak setleri ve bu setlerin bir sonucu olarak sel alanlarının kaybı gibi nedenlerden dolayı doğal sedimantasyon alanları ciddi olarak sınırlandırılır. Çoğu nehrin bitiminde, arta kalan sedimanların büyük çoğunluğu haliç ve kıyı tabakaları içerisinde birikirler. Doğal nehir hidro-dinamikleri, yeniden askıda hale geçme, çökme yoluyla sedimantasyon ve su akışındaki küçük değişimleri düzenleyerek, dinamik dengeyi korur. Haliçlerde, gelgite bağlı akıntıların bir sonucu olarak nehir ve deniz sedimanlarının karışımıyla, nehrin hem aşağı, hem de yukarı kesimlerinde sediman taşınımı oluşur (SedNet, 2004b).

Sediman, çeşitli habitatların etkisi altında biçimlenir. Sedimanda pek çok sucül türler yaşar. Mikrobiyal prosesler besi maddelerinin yeniden üretilmesine ve tüm su bünyesi için önemli besi maddesi döngüsünün işler halde olmasına neden olur. Sediman dinamikleri ve eğilimleri (ıslak-kuru ve tatlı-tuzlu), nehrin başlangıcından kıyı bölgeye doğru geniş bir biyolojik çeşitlilik için uygun koşulları biçimlendirir. Sağlıklı bir nehir, yaşam kaynağı olarak sedimana ihtiyaç duyar. Sediman, insan ihtiyaçları için de bir kaynaktır. Milyonlarca yıldır, insanoğlu nehir sistemlerindeki sedimanı tarım alanlarında gübre ve inşaat materyali kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Sediman, pek çok tehlikeli kimyasal için potansiyel bir alıcı gibi rol oynar. Sanayi devriminden bu yana, insan yapımı çeşitli kimyasal maddeler yüzey sularına yayılmaktadır. Özellikleri nedeniyle, bu kimyasalların pek çoğu sediman tabakasında depolanmaktadır. Bundan dolayı, sedimantasyonun uzun süreli kaydedildiği alanlarda, alınan kesitsel sediman örnekleri belirli bir nehir havzasındaki kirliliğin tarihçesini yansıtır. Su kalitesinin iyileştiği yerlerde; pek çok

nehir havzasının sel-platoları üzerinde, denizlerde, göllerde, haliçlerde, barajların ardında ve nehirlerin dip kısımlarında biriken sedimanlarda geçmişin izleri halen izlenebilir. Bu sedimanlar, aşındıkları (sel ve kanal-kenar erozyonu gibi) ve nehrin daha aşağı kesimlerine taşındıkları zaman kirliliğin ikincil bir kaynağı olmaya başlayabilir (SedNet, 2004b).

Akarsu ve nehirler, göller gibi dinlenmeye yönelik çok sayıda çevresel değerlere ve bazı ekonomik faydalara sahiptir. Ancak, sanayi devriminden bu yana ulaşım yolları ve güç kaynakları olarak önem taşımaları nedeniyle nehirler üzerinde insan aktiviteleriyle ilgili olumsuzluklar erkenden başlamıştır. Ancak, akıntıyla beraber endüstriyel ve insan kaynaklı atıklar sürüklenmekte olduğundan, nehirler uygun ve ucuz atık deşarjına hizmet vermektedir. Atıklar, yerleşim alanları genişledikçe ve nehirlere olan mesafeler kısaldıkça, kalıcı toksik maddelerden oldukça geniş bir yüzde içermeye başlamış, ekolojik tahribat ciddi seviyelere ulaşmış ve akarsuların kendilerini temizleyebilme yetenekleri daha fazla sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda, akarsu ve nehirlerde su ve sediman rejimlerinin değişime uğramasına buna karşılık bitki ve hayvan topluluklarının etkilendiği, nehirler arası alanların, taşkın ovalarının ve nehir kenarlarının yaygın değişimiyle sonuçlanan tarım, maden ve kereste imalatı artmıştır. Akış rejimleri ve seyreltme kapasitesi azaltılmış ya da barajlar, sulama ve havza içi su transferi yoluyla değiştirilmiştir. Artan doğal değişimler nedeniyle tüm bu değişimlerin yükselen etkisi sıklıkla yok sayılmıştır.

Bu değişimler, çevresel hizmet ve insan kullanımından dolayı değeri bozulan akarsu sistemlerine olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Bu olumsuz etkiler: (1) su miktarı ya da akıştaki zamanla değişim, (2) kanal ve nehir kenar tabakalarındaki morfolojik değişimler, (3) aşırı erozyon ve sedimantasyon, (4) alt tabaka kalitesinin bozulması, (5) su kalitesinin bozulması, (6) doğal türlerin azalması ve (7) yabancı türlerin ortama girmesidir. Olumsuz etkilerin yarattığı bu problemin konumu, kenar ya da sel-platosu boyunca uzanan iki nehir arasındaki havza veya kanallar ve göletler olabilir (Committee Staff. (Ed), 1992).

Nehrin denize doğru akışı boyunca, sedimana ilişik kontaminantların taşınması, seyrelmesi ve yeniden dağılması gerçekleşir. Tüm deşarj yönetmeliklerine uyan, nispeten küçük çoğu girdi, sediman nehir deltasına ulaşınca kadar oldukça yüksek seviyelere ulaşarak birikim gösterebilir. Haliçlerde, kontamine-olmamış denizel sedimanlar, kontamine-olmuş nehirsel sedimanlarla karışır. Bu doğal 'seyrelme', denize doğru kısa mesafeleri aşan bir eğilimde kontaminasyon seviyesini azaltır fakat taşınan gerçek kontaminant miktarını değiştirmez.

Çeşitli çalışmalarda düzenli sediman kalitesi değerlendirilmesi yapılmasına rağmen, kontamine-olmuş sediman miktarlarına ilişkin güvenilir bir tahmin vermek zordur. Bunun temel nedeni, analitik teknikler ve uygulamalı sediman kalite standartları ya da standart tespit değerlerinde ve örnekleme metotlarındaki tutarlılığın olmayışdır. Bu içsel karşılaştırılabilirliğin eksikliği nedeniyledir. Tipik olarak, aynı nehir havzası boyunca uzanan ülkeler farklı metotlar kullanırlar (SedNet, 2004b).

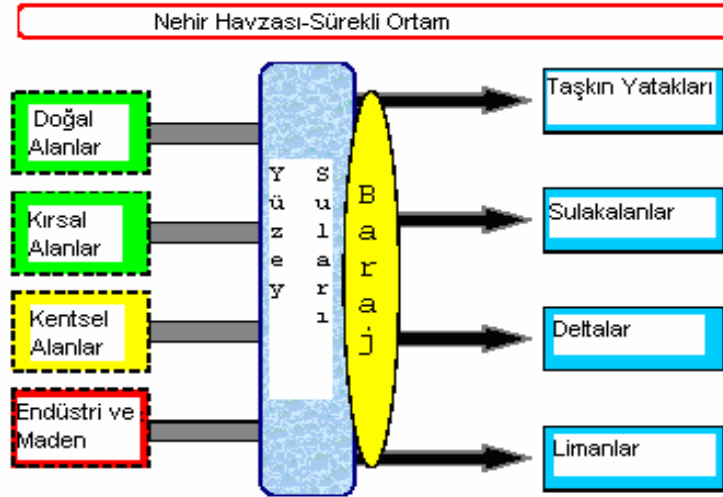
Sediman kimyası, üzerini kaplayan su bünyesinin kalitesi ile yakın ilişkilidir. Akarsu ile taşınan pek çok kirletici ve besi maddesi türü, çoğunlukla partikül madde ile bağlantılı olarak çökebilir ve sediman haline gelir. İnce taneli silt ya da kil sedimanlar sorblama potansiyeline sahiptir, başka bir anlamda, daha geniş yüzey alanları olduğundan kum boyutlu sedimanlardan daha büyük kirlilik türü miktarlarını tutarlar. İnce taneli sedimanlar barajların ardında birikme eğilimi gösterdiklerinden, buna maruz kalan sedimanların kalitesi, baraj giderim (örneğin, baraj gölünün havalandırılması) seçeneklerinde hesaba katılmalıdır. Üstelik, çözünmüş oksijen genellikle sediman-su arayüzeyi aşağısındaki ince taneli sedimanlarda (mm'den birkaç cm'ye kadar) hızlıca tüketilir ve bu durum sediman üzerindeki su kolonunda çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının düşmesine yardımcı olan önemli miktarlarda sediman oksijen ihtiyacı (SOİ) ile sonuçlanır. Bir su bünyesi için, besi maddesi ya da kirletici miktarlarının önemli bir bileşen olabildiği, sediman - su değişimi sonucunda, anoksik koşulların oluşması halinde çeşitli kirletici ve besi maddesi türleri için aşırı kimyasal koşulların gelişme göstermesi de olasıdır (McConkey ve diğ., 2004).

Bu tez çalışmasının amacı, sediman kalite analizlerinde önemi vurgulanan “Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)” parametresinin belirlenebilmesine yönelik çalışmalar yürütmek olmuştur. Bu amaçla, Kızılırmak’tan alınan belirli su ve sediman örneklerinde, arazi çalışmalarıyla desteklenen, laboratuvar koşullarında denemeler yapılmış ve SOİ parametresinin ölçümünde standart bir yöntemin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu araştırma sonunda elde edilen arazi ve laboratuvar verileri, su kalitesinin değerlendirilmesinde, nehir havzası için geliştirilecek bir su ve sediman kalitesi modelinde kullanılabilir nitelikte olacaktır.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Sediman Oluşumu ve Su Kalitesinde Önemi

Sedimanlar, erozyon prosesleri yoluyla havzada meydana gelirler ve en sonunda okyanuslara ulaşır. Çökünceye kadar kıyı doğrultusunda nehir sistemlerinde taşınırlar. Kara kullanımında olduğu gibi, hidroloji, jeoloji ve topoğrafya, erozyon ve taşınım proseslerini belirler. Nehir sistemlerinde geçici tortu tabakası oluşabilir. Göller ve dere yatakları bu açıdan önemlidir. Kontrol altına alınmış pek çok nehirde, sedimanlar baraj arkasında çökmeye uğratıldıklarından, nehrin aşağı kısımlarının sediman birikimi azalır.



Şekil 2.1: Nehir Havzası – Kıyı Sürekli Ortamı. Irmak Boyunca Akıntı Yönünde Etkilenen Alanlara, Karadan Su, Sediman ve Kontaminant Akışı (Sednet, 2004b)

Akıntı yönünde önemli alanlar, sulakalanlar, deltalar ve limanlardır (Şekil 2.1). Nehir sisteminin deniz seviyesinden yüksek olmayan alanlarında, haliç, delta ve kıyı bölgesindeki sedimanın kalite ve miktarı, bulunduğu havzadaki proseslere bağlıdır. Bu nedenle, bu alanların işleyişi ve üzerindeki etkileri, havza-kıyı sürekli ortamının bir parçası olarak değerlendirilmelidir (SedNet, 2004b).

Uzun zamandan beri bilim adamları, bir nehir havzası ortamında işleyen hidrolojik ve jeomorfolojik prosesler tarafından büyük bir kısmı kontrol edilen su ve

sediman hareketlerini tanımlamaktadırlar. Nehir havzasının şekli ve karakteristiği su ve sediman akış doğrultusunu kontrol eder. Yönetim açısından bakıldığında, nehir havzası, su ve sediman yönetim adresine en uygun ve anlamlı ölçeği de sunar (SedNet, 2004a).

Sediman yönetiminin ilk birimi olarak nehir havzası dikkate alındığında, havza içerisindeki çeşitli çevrelerin tanımlanması gerekir. Bu çevreleri içeren örnekleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Kara (örneğin, toprak);
- Irmak kanalları;
- Göller ve Rezervuarlar;
- Taşkın yatakları (sel-platoları);
- Haliçler ve limanlar;
- Kıyı bölge

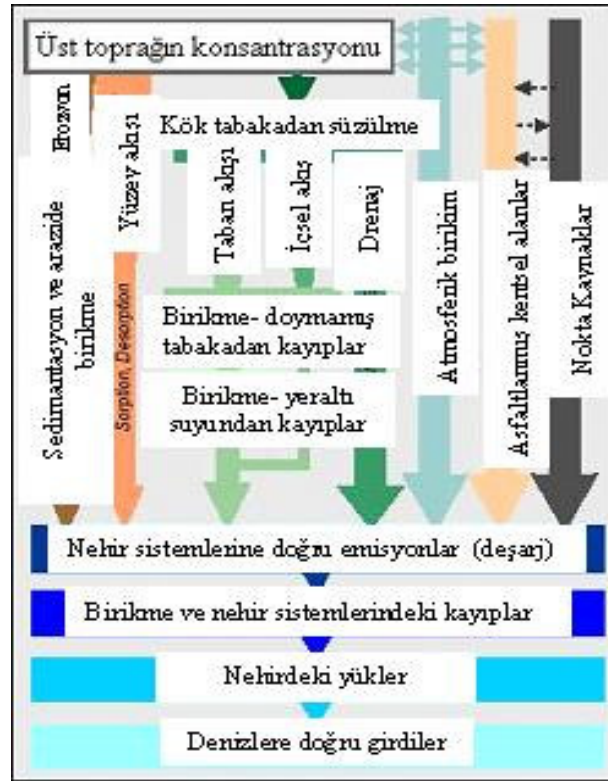
Bu bağlamda, tipik olarak nehir havzasının yüzey alanının %80'inden fazlası karadır ve %20'sinden azı yüzey suyudur (örneğin, ırmaklar, göller, rezervuarlar v.b.) ayrıca bunun su ve sediman yönetimi için önemli önermelere sahip olduğu açıktır.

Bugüne kadar, bir nehir havzasındaki pek çok çevre, göreceli izolasyon içinde yönetilmektedir. Ancak bu çevreler, diğer çevreler üzerinde olası etkilere sahip olabilecek bir değişim gibi birbirlerine bağlıdır. Böylelikle, nehir havzası ölçeğinde etkili sediman yönetimi için, su ve sediman akışları açısından bunlar arasındaki karşılıklı bağlantıları kurmak ve mevcut çevreleri tanımlamak gereklidir. Sediman yönetimi amacıyla nehir havzasının kavramsal olarak haritalandırılmasında önemli bir bileşen, sediman ve ilgili kontaminatların ana kaynaklarını ve nehir havzasındaki taşınımlarını kontrol eden prosesleri tanımlamaktır.

Sediman ve ilgili kontaminant kaynakları iki genel formdan birisine dayanabilir:

- Noktasal kaynaklar,
- Noktasal olmayan (ya da dağınık) kaynaklar.

Bunlara ek olarak, tanımlama ve yönetim hakkında kaynakların herhangi biri tarafından ortaya çıkarılan özel problemler de sayılabilir. Sediman ve kirlilik nokta kaynakları, sıklıkla kolayca tanımlanabilen tek bir yerden doğan kaynaklardır. Üstelik, bu tür kaynaklar kolaylıkla kontrol edilebilir ve izlenebilir. Noktasal olmayan sediman ve kontaminant kaynakları geniş bir alandan doğan kaynaklardır ve tanımlama, özellikle de kontrolün bir sonucu olarak, sediman yönetiminde çok daha fazla zorluk çıkarırlar. Bununla birlikte, sediman ve kontaminantların nokta kaynaklarının kontrol edilmesinde belirli yüksek seviyeli başarı, noktasal olmayan kaynaklarının ise tanımlama ve kontrol için daha fazla çaba gerektirdiği kabul edilmektedir. Şekil 2.2’de nehre taşınan sediman ve kontaminantların izlediği ana yollar tanımlanırken, Tablo 2.1’de sedimanlarla sıklıkla bağlantılı kontaminantların bazı ana türleri ve kaynakları listelenmektedir. Nehir havzası dahilinde ana çevreleri, sediman ve kontaminantların kaynaklarını, bunların hareketini kontrol eden prosesleri ve izledikleri yolları tanımladıktan sonra kavramsal bir nehir havza modeli oluşturmak mümkündür (SedNet, 2004a; Apitz ve White, 2003; Vink ve diğ., 1999).



Şekil 2.2. Nokta ve Yayılmış Haldeki Sediman ve Kontaminantların İzlediği Yollar (Vink ve diğ., 1999)

Tablo 2.1: Nehir Havzaları için Sediman ve Sedimana İlişik Kontaminantların Kaynaklarına Örnekler (SedNet, 2004a).

Materyal	Kaynaklar
Sediman (organik ve inorganik)	Kırsal, tarımsal ve ağaçlandırılmış arazi, kanal kenar erozyonundan, kentsel yol süprüntüleri, atmosferik birikim, gelgit kaynaklı (sel ve denizin çekilmesi süresince) kıyı alanlardan girdiler.
Metaller (Ag, Cd, Cu, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn, As)	Jeoloji, maden, endüstri, asit drenajları, kanalizasyon sularının arıtımı, kentsel atık deşarjları
Besi maddeleri (P, N)	Tarım ve kentsel atık deşarjları, atıksu ve kanalizasyon sularının arıtımı
Organik bileşikler (pestisidler, herbisidler, hidrokarbonlar)	Tarım, endüstri, kanalizasyon, deponi, kentsel atık deşarjları
Antibiyotikler	Atıksuların arıtım çalışmaları, endüstri, tarım
Radyonüklidler (^{137}Cs , ^{129}I , ^{239}Pu , ^{230}Th , ^{99}Tc)	Nükleer güç endüstrisi, askeri, jeoloji, ikincil kaynak olarak tarım.

4.2. Erozyon ve Taşınım

Doğal erozyon genel olarak, nehirlerdeki sedimanın hakim kaynağıdır. Ancak, yüzyıllar öncesinden başlayan arazi kullanımındaki değişimler, pek çok erozyon prosesinin oranını artırmaktadır. Artan toprak erozyonu, nehirlerle sediman birikiminde bir artışa ve tarım toprağının sürdürülebilir kullanımında kaygı duyulmasına neden olmaktadır. Aslında, artan erozyon, yeryüzeyinin küreselleşme ile ortaya çıkan en önemli değişimlerinden olan ormanların tahrip edilmesi, tarımsal aktivite, şehirleşme ve diğer karasal kullanımlar nedeniyledir. Pek çok aşırı durumda, toprak erozyonu, kara bozunmalarının diğer formlarının da etkisiyle, bazı verimli arazilerin çölleşmesine yol açmıştır (Oldeman ve diğ., 1991; EEA, 1998).

4.2.1. Nehir Sisteminde Taşınım

Toprak parçaları hareketlenip taşındıktan hemen sonra, dağ etekleri ve yokuş kenarlarında depolanabilirler. Nehir akış yönünün yukarı kısımlarından mekanik erozyon sonucu oluşan kaba materyallerin (> 2 mm) büyük bir kısmı, aşırı seller ve dağ su hazneleri dışındaki kaynaklarından daha uzak mesafelere taşınamazlar. Ana

kanala gerçek dağıtımdan önce bir gecikme zamanı olduğu gibi, toprak yığınlarından aşınan miktarlarda da bir fark vardır. Nehir yatağının yarık kanallarında ikinci derecede büyük bir nehir sediman kaynağı olabilir. Bununla birlikte, nehir sistemlerinde alüvyonlu kalıntıların yanal erozyonundan biriken materyalin sürekli yeniden taşınımı vardır.

Sediman taşınımı, nehir sisteminin su deşarjlarına bağlıdır. Ancak, belirli bir nehir havza boyutu için taşınan sediman miktarında geçici ve sık rastlanan geniş bir fark vardır. Sıklıkla sediman taşınımı darbelerinde oluşur. Bu etki, günler veya haftalık periyotlar süresince taşınan yıllık sediman akışının % 50-90 olduğu daha küçük havzalar (500 km²'ye kadar) için oldukça belirgindir ve daha geniş havzalarda (100.000 km²'yi aşan) yine oluşur fakat çok daha az belirgindir. Dolayısıyla, küçük havzalar ya da daha geniş havzaların su bünyelerine akan küçük kolları, geniş havzalardan oluşan toplam sediman akışıyla karşılaştırılan sediman akışının oluşturduğu darbelere göre daha çok ikinci derecedir. Bu özellik, kontaminantların taşınımında dikkate alınmalıdır (SedNet, 2004b).

Sediman taşınımına ilişkin pek çok çevresel ve hidrolik problemler vardır. Karasal akışlarla birlikte yokuşlardan katı erozyonu, nehirlerdeki yatak yükü ve çözünmüş yük, liman ve rezervuarlardaki siltleşme, katı materyallerin hareketini içeren ve mühendislik açısından önemli problemlerdir. Ayrıca, açıkça belirtilmelidir ki, doğal akışların her analizi, örneğin açık kanal akışı, sediman taşınımının önemli detaylarını içermelidir. Hız dağılımı ve makaslama gerilmesi gibi akış parametrelerinin türetilmesinde kullanılan sınır şartlarında bir etkiye sahip, yatak boyunca sediman materyalinin hareketliliği dolayısıyla gerçek akışlarda bu durumun gerekliliği yoktur (Hillel, R., (Ed.), 2001).

4.2.2. Haliç ve Kıyı Çevrelerde Taşınım

Nehir sınırındaki sedimanın çoğu haliç bölgesinde biriktirilir ve sadece ince sediman yükünün nispeten küçük bir kısmı, akıntıyla birlikte son olarak yerleştikleri açık denize ulaşır. Kıyıda akıntıların az ya da hiç olmadığı ve gelgit oranının sınırlı

olduğu alanlarda (Akdeniz ve Baltık gibi) haliç ve deltalarındaki sedimanın çoğu nehir kaynaklıdır.

Geniş gelgit görülen haliçlerde sedimanların bu dengesi tersine döner ve nehre ait materyal aktarımı çok azdır. Fakat, öte yandan kıyısız ve deniz yatağı erozyonu kökenli net bir materyal tutulması vardır. Denizel çevrelerden gelen bu net sediman yükü, gemi taşımacılığında kullanılan su yollarının sürekli akışına izin vermek amacıyla büyük tarama aktiviteleri sonucunda ortaya çıkar. Bu haliçler, nehirsal ya da denizel proseslerin kontrolüne dayandırılarak üç bölüme ayrılabilir. Nehir veya daha üst bölgelerde nehirsal sediman hakimdir. Deniz seferleri gayesiyle uzaklaştırılan sediman miktarlarının düşük seviyelerde olmalarına rağmen havzadaki deşarj kaynaklarında olduğu gibi kontaminasyonları nispeten daha yüksektir. Halicin orta kısmı, nehirsal ve denizel sedimanların (kontamine olmamış) karışımıyla oluşan bir birikim alanıdır. Bu alandaki denizel sedimanın nehirsal sedimana oranı nehrin deşarj karakteristiklerine bağlıdır. Bu nedenle, halicin bu kısmındaki sedimanların kalitesi mevsimsel olarak değişim gösterebilir. Düşük deşarj (yazın olduğu gibi) periyotları süresince, daha yüksek deşarjlı nehirsal sedimanlar haliç içerisine doğru taşınır ve bundan dolayı haliç ortasındaki kontaminasyon artış gösterir. Buna rağmen, bu bölgede daha düşük kontaminant yüklü denizel sedimanlar hakimdir. Pek çok taramanın yapıldığı dış bölge, denizden taşınan çoğunlukla temiz sedimanları barındırır. Kontaminasyon kategorilerindeki materyal taranan haliç bölgesel sınıfı, karışan denizel (nispeten temiz) ve nehirsal (kontamine olmuş) sedimanların bu doğal prosesini yansıtır (SedNet, 2004b; Syvitski ve diğ., 2004).

4.2.3. Sediman Transferinde Baraj Etkileri

Doğal su akışına set çekme (baraj), pratik bir gereklilik olmasının yanında tarım, endüstri ve kentsel gelişime büyük faydalar sağlamaktadır. Barajlar –Dünya Komisyonu Raporu (2000), büyük barajların inşaatı yoluyla ekosistemlerin insan müdahalesi sonucu değişime uğradığını açıkça belirtmektedir. Barajlar, havza içi transferler ve sulama için su çekilmesi, Dünya nehirlerinin %60'ın üzerindeki bir bölümünü oluşturmakta ve nehirlerden deniz kıyılarına doğru sediman yükünü değiştirmektedirler. Bu rezervuarlar, suyun bekleme süresi iki ayı aştığı zaman, nehre

taşınan sedimanın % 90'ından daha fazlasının depolanabildiği insan yapımı sediman kapanlarıdır. Küresel su ve sediman akışları üzerine barajın neden olduğu etkilere yönelik günümüzde kantitatif tahminler yapılmaktadır. Küresel olarak, akan suyun % 40'ından daha fazlasının önünü kesen ve bu deşarjın yaklaşık % 70'ini muhafaza eden büyük rezervuarların sedimanı tutsak etme etkinliği % 50'den daha fazladır. Deniz kıyısına olan sediman akışının yaklaşık % 25 ila 30'unun (yılda 4-5 Gt) barajlar ardında birikim gösterdiği tahmin edilir. Pozitif çevresel etkilerinden birisi, sedimanlara bağlanmış kontaminantların tutsaklanması ve böylelikle akıntı yönündeki alanların korunmasıdır (World Comm. on Dams, 2000).

Bununla birlikte, baraj teşkili, hidrolojik ve morfolojik yönden nehrin akış yönündeki kesimlerini etkiler. Sedimandan yoksun bu sular yeni bir dengeye ulaşıncaya kadar nehir yatağı, içine doğru alçalan nehirlere sebep olurlar. Sediman stoğundaki bu alçalma ayrıca, kıyı bölgelerde kıyı morfolojisini etkileyen birikimden erozyona doğru bir değişime de neden olur. Sel platoları ve sulak alanlar gibi kaynaklar benzer şekilde etkilenirler (SedNet, 2004b).

4.2.4. Depolanan Sedimanlar ve Ekolojik Fonksiyonu

Sulak alanlarda, sel platolarında, deltalarda, hatta göl ve rezervuarların dip kısımlarında sediman depolanmaya başladığı zaman, önemli ekolojik, sosyal ve ekonomik değere sahip olur. Deniz seferlerine elverişli su yolları ve limanlarda depolanan sediman gemi taşımacılığında ciddi etkilere sahip olabildiği gibi taranmasını da gerektirebilir.

Su havzası-deniz kıyısı sisteminde çok az ya da çok fazla sediman bulunması, sedimanın sahip olduğu fonksiyonları etkiler (Martin, 2002). Tablo 2.2, sediman taşınımındaki olası değişimlerin etkilerini ve sediman fonksiyonları üzerine incelemeyi vermektedir.

Tablo 2.2. Bir Kaynak Olarak Sedimanın İncelenmesi (Martin, 2002)

Çok fazla sediman	Çok az sediman	Kaynak olarak sediman
▪ Kanalların tıkanması ▪ Irmakların taşması ▪ Kayalıkların kaplanması ▪ Bulanıklık	Sahillerin aşınması Nehir kenarlarının aşınması Sulakalanların kaybı Nehir profilinin bozulması	İnşaat materyali Sahiller için kum Sulakalanlar için besin Tarım toprağı zenginleştirme

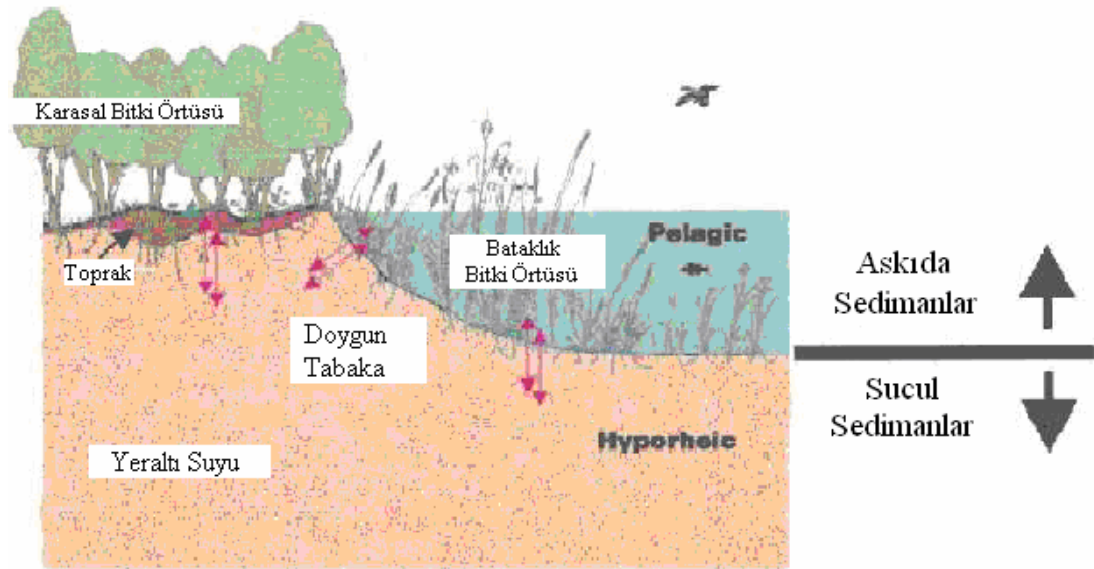
Göller, akarsular, yüzey suları ve sulakalanlardaki dip sedimanlar, muazzam bir biyota çeşitliliğine ev sahipliği yaparlar. Küresel biyo-çeşitlilik, 100.000’den daha fazla bentik omurgasız tür, 10.000 alg türü ve 20.000’den daha fazla protozoa ve bakteri türünün tahmini yönündedir. Sucul sedimanlardaki biyo-çeşitlilik özellikle daha küçük biyota için zayıf olarak bilinir. Sedimanın en derin kısımlarında yaşadıklarından ve mikroskopik özellikte olduklarından bu grubun örneklenmesi zordur. Tatlı su sediman biyotasının tür zenginliği, sulakalanlar (yerel olarak 1500’ün üzerinde omurgasız tür), göller ve akarsular (yerel olarak yaklaşık 80-1000 tür) ve yeraltı suları (yerel olarak 0-150 tür) oldukça değişkendir. Yerel çeşitlilik zamanla da değişim gösterir örneğin, sel dönemi boyunca akarsulardaki düşük çeşitlilik ve çeşitliliğin tüm yıl boyu yüksek seviyelerde seyretmesi gibi (Palmer ve diğ, 2000).

Şekil 2.3, sediman üstündeki ve sucul sedimanların dikkate alındığı habitat türlerinin konumunu gösterir. Sediman biyotası, yaşamlarının bazı evrelerinde sucul sediman içerisinde, üzerinde ya da yakın ortaklık kurarak yaşayan organizmalar olarak tanımlanabilir. ‘içerisinde ve ‘üstünde’ arasındaki bu dağılım açık değildir, özellikle su kolonunun daha az temiz ve zamanla değişebilirliği arasında farkın olduğu nehirler ve yüksek-enerjili akarsularda böyledir.

Sediman biyotası için türlere özel bilgilerin genellikle azlığından dolayı, sucul sediman organizmaları ve sediman üstünde yaşayan organizmalar arasındaki

etkileşimleri incelemek amacıyla fonksiyonel bir grup yaklaşımı geliştirmek yararlı olur. Pek çok sucul sediman türü, tatlı su ekosistemlerinde önemli fonksiyonel roller üstlenebilmektedir. Sediman biyotası sadece küresel öneme sahip biyo-jeo-kimyasal dönüşümlere aracılık etmez bunun yanında, organik materyallerin ayrışması (su bünyelerine genellikle aşırı miktarda organik atık karışır), sedimana-bağlı kontaminantları içeren materyallerin tutulması ve yer değiştirmesi ile birincil üretim ve tatlı suların korunması için de gereklidir.

Sedimanda barınan organizmaların tür kompozisyonu ve dağılımı pek çok faktör tarafından etkilenir. Önemli faktörler: suyun debisi, sedimantasyon oranı ve suyun oksijen içeriği (azaltılmış akış, arttırılmış sedimantasyon ve düşük oksijen içeriği çeşitliliği azaltabilir), ortamda sucul bitkilerin bulunması (bitkiler tür zenginliğini ve bolluğunu artırabilir. Bunun yanında, bitki döküntülerinin su girdisi miktarı ve kalitesi, (örneğin, bentik yaşam için besin kaynağı), derin deniz avcıları (örneğin, yırtıcı omurgasızlar ve dip yoluyla beslenen balıklar), planktonik alg ve su kolonundaki oksijen ve besi maddelerinin akışını değiştiren biyo-turbasyon gibi faktörlerdir (SedNet, 2004b; AQEM 2002).



Şekil 2.3. Askıda Sediman ve Sucul Sediman Habitatlarının Konumu (Pelagic = su kolonu tabakası, Hyporheic = doymuş sediman tabakası) (Palmer ve diğ., 2000)

Nehirler, toprak erozyonu, toprak kayması vb. ile başlayan en sonunda deniz kıyısına doğru transferi sağlayan “sediman taşıyıcı kemerler” gibi rol oynar (Morisawa, 1985). Nehir sistemi sedimentasyonu, sel-platosuna akan suyun geçici fakat uzun vadeli askıda katı madde kaybetmesine yol açar. Nehir havzasındaki (akış yukarı) madencilik, kentleşme, endüstrileşme ve arazi kullanımındaki değişimler, nehir kanallarına aktarılan sedimanların kalite ve miktarını kuvvetlice etkiler. Nehir genişliği boyunca sediman hammadde miktarı, nehir koridorundaki akış şartları (suyun toplanıp kalması) ve sediman yükünün bir fonksiyonudur.

Körfezler ve haliçlerde sirkülasyon olayı, besi maddelerinin bu tür su ortamlarında birikimine neden olur. Besi maddelerinden beslenerek büyüyen algler, yüzey akımıyla denize doğru taşınırlar ve sonuçta çökerek mineralleşirler. Mineralleşen maddeler daha sonra ters akıntılar veya daha yoğun deniz suyu ile kıyılara doğru taşınırlar. Bunun sonucunda, körfez ve haliçlerin özellikle dip tabaka sularında yoğun besi maddesi birikimiyle karşılaşılır (Uslu ve Türkman, 1987).

Tüm iç sular, körfez ve denizel sedimanlarda bakteri ve mantarların çok yönlü işlevleri sürmektedir. İşlevler özellikle sedimanların en genç olan üst tabakalarında, ayrışabilir organik madde bulunmasından dolayı çok canlı bir şekilde olmaktadır. Bakteriler az da olsa derinliklere doğrudan etki edebilmektedirler. Bakterilerin işlevleri ile sedimanın organik madde içeriği devamlı azalmaktadır. Önce kolay ayrışabilir maddeler azalmakta ve geriye zor ayrışabilirler kalmaktadır (Lignin-Humus kompleksleri). Ötrofik suların besin maddesince zengin sedimanlarında kuvvetli mikrobiyal oksijen tüketiminden dolayı anaerobik bölge ve adacıklar oluşmaktadır. Burada fermentasyon ve denitrifikasyon olayları oluşmaktadır. Sülfatın indirgenmesi sırasında açığa çıkan H_2S ortamdaki demiri FeS 'e dönüştürmekte ve kötü kokan siyah demir-sülfür çamurunun oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle atıksuyun yükü altında bulunan körfezlerde limanlarda ve göller de açıkça görülmektedir. Bu tür dip çamurların, suyun kendini yenileyebilmesi dolayısıyla kalitesinin korunabilmesi için devamlı olarak ortamdan alınması (taranması) gerekmektedir. H_2 , CH_4 , N_2 , ve CO_2 oluşumları ile sedimanların yapıları devamlı olarak değişmektedir (web.deu.edu.tr/erdin/pubs/mikro/).

Nehrin ana kanalında sedimanın toplanıp kalması genellikle sınırlıdır ve taşkın olayları oldukça önemlidir ve sıklıkla sel-platoları üzerindeki sedimantasyon nedeniyle yıllık sediman taşınımının azalmasına yol açar. Sel-platosunun topoğrafyası ve taşkınının genişliğine bağlı olarak, depolanan sedimanların tane boyutu sıralaması oluşur. Enlemesine giderek artan bir şekilde çamurlu sularda ve daha alçakta yer alan bataklıklarda ve ana nehir kanalından çok daha büyük mesafelerde ince taneli madde birikir. Uzunlamasına, daha ince partiküller nehrin akış yönünde en uzak kesimlerine doğru taşınır. Dikey olarak, sel-platoları üzerinde yer alan kademeli profiller, ilk olarak depolanan daha kaba çakılların üzerini örten ince materyalli birbiri ardına süregelen taşkın olaylarının göstergesidir (SedNet, 2004b; Middelkoop, 1997).

4.3. Sediman Kalitesi Belirleme ve İzleme Yöntemleri

Sediman tabakasının çevresel tehlike boyutunun belirlenmesi ve sediman kalitesi için standart veya kalite kriterlerinin oluşturulması; sedimanda bulunan türlerle, maddelerin bu türler üzerindeki toksisitesi ve kimyasal analizlerle, kirletici konsantrasyonlarının belirlenerek karşılaştırma yapılmasıyla belirlenebilir (Pedersen ve Bjornested, 1998).

Sediman kalitesinin korunması, ulusal suların biyolojik entegrasyonunun sağlanması, sucul yaşamın, vahşi yaşamın ve insan sağlığının korunmasında önemli bir bölüm oluşturur (USEPA, 2001). Göllerin, nehirlerin, sulak alanların ve kıyı suların dip sedimanlarında, kontaminantların toksik konsantrasyonları, çevresel bozunumunun devamında kirlilik potansiyeli oluşturur hatta su kolonundaki kirletici seviyelerini ve su kalite kriter değerlerini zorlar. Birçok kimyasal bileşik ve bileşiklerin karışımı, çok geniş alanda kullanımlarıyla ve doğadaki dayanıklılıklarıyla, sedimanda birikerek ekosistemi olumsuz yönde etkiler (USEPA, 1992).

Koylarda ve körfezlerde sedimanlar; endüstriyel ve tarımsal deşarjlarla, evsel atıksu arıtma tesislerinden boşaltımlarla, noktasal ve noktasal olmayan kaynakların deşarjları sonucu sıklıkla kirlenmektedir. Sedimanların kirleticilere maruz

kalmasıyla, üzerinde yaşayan bentik omurgasızların varlığı, çeşitliliği ve sağlık üzerine etkileri risk oluşturabilir. Yüksek tropik seviyelerde hayvanlarla, kirleticileri yiyen balıklar biyoakümülatif kirleticilere maruz kalabilir. Karasal, denizel ekosistemleri ve insan sağlığının korunması için sediman kalite çalışmalarındaki amaçların geliştirilmesi gereklidir (CEPA, 2003).

4.3.1. Sediman Kalite İzleme Metotları

Sediman kalitesi birçok farklı yaklaşımlar kullanarak izlenebilir;

1. Bentik topluluğun sağlığı,
2. Sediman toksisitesi,
3. Sedimanda bulunan bileşiklerin biyo-akümülyasyonu,
4. Toksisiteyi tanımlayan değerlendirmeler,
5. Sediman kimyası,
6. Gelişmiş sediman kalite izleme metotları.

Mevcut sediman kalite yönetiminin temelini oluşturan sediman kalite izleme yöntemleri teorik, arazi ve laboratuvar temellerine dayalıdır. Sediman kalite izlemede yukarıda verilen altı yaklaşımın avantaj ve dezavantajları Tablo 2.3’de sunulmuştur (McCauley ve diğ., 2000).

Tablo 2.3. Sediman Kalite İzleme Metodlarının Avantajları ve Sınırları
(McCauley ve diğ., 2000)

Sediman Kalite İzleme Metodu	Avantajlar	Dezavantajlar / Sınırlar
Sediman Kimyası	- Kimyasal konsantrasyondaki mevcut veriyi sağlar - Kolay veri toplanır.	- Sucul organizmalara etkisini ölçemez - Etkilerin nedenlerini ayırtıramaz - Kontaminantların karışımını izleyemez - Biyo-bulunurluğu fazlasıyla belirler.

Tablo 2.3. (Devamı)

Bentik Topluluk Sağlığı	- Sucul organizmaların etkisini ölçer - Kontaminant karışım etkilerini izler - Yere özel etkileri ölçer - Ekolojik gerçekliği var.	- Etkilerin nedenlerini belirlemez - Metodlarda uzlaşma yoktur - Sonuçları yorumlamak zordur ve özel bileşikler için kullanılır - Değişkenlerinin kontrolü yoktur.
Sediman Toksisite Testleri	- Sucul organizmaların etkisini ölçer. - Kontaminant karışım etkilerini izler - Standardize metodlar vardır. - Teorisi iyi anlaşılmıştır. - Değişkenleri kontrol eder. - Yüksek tekrarlanabilirlik.	- Toksisite nedenleri belirlenemez. - Sedimanın fiziksel karakterinden dolayı hatalar olabilir. - Ekolojik gerçekliği noksan - Yersel ve zamansal eksen sınırlı - Hesaplanabilir değil.
Biyo-akümülyasyon Testleri	- Biyo-konsantre bileşik karışımların izlenmesi - İlgili özel maddelere yönelir.	- Sucul organizmaların akut ve kronik etkilerini ölçemez - Toksisite nedenlerini ölçemez - Metodlar standardize değildir.
Toksisite Belirleme Yaklaşımları	- Direk olarak, sucul organizma etkilerini ölçer - Toksisitenin nedenlerini belirler - Karışımların toksisitesini izler veya izlemez.	- Metodlar iyi gelişmemiştir - Teorisi iyi anlaşılmamıştır - Bentik olmayan organizmalara uygulanır.
Sediman Kalite Denemesi	- Sedimanın sucul organizmaya etkisini ölçer - Kontaminantların karışımlarını izler. - Çevresel önemi tanımlar - Tekrarlanabilir	- Yaklaşımlar arası uzlaşma olmadığından, bu da sonuçları yorumlamayı zorlaştırır. - Etkilerin nedenleri tam olarak belirlenemez. - Bir bölgeden alınan kimyasal özel çalışma sonuçları başka bir alana uygulanamaz.

Literatürde sediman tabakasındaki; kirlilik düzeyinin belirlenmesi için arazi parametreleri, ana ve yapısal parametreler, boşluksuyu parametreleri, ağır metaller, organik kirleticiler ve ekotoksikolojik testler olarak, farklı parametreler izlenmektedir (Tablo 2.4). Yüzey veya kolon örnekleyici aletleriyle alınan sediman örnekleri santrifüjlenerek, su kısmı ayrılır. Sediman boşluk suyu olarak adlandırılan bu sıvıda, pH, iletkenlik, nütrient analizi ve çeşitli toksisite testleri yapılabilir (Pederson ve Bjornestad, 1998). Sediman örnekleri, öncelikli olarak yaş ve kuru sediman analizleri için ayrılır. Yaş sedimanlarda % su miktarı, % organik madde, % porozite, pH, mekaniksel ve mineralojik analizler yapılabilir. Kurutulmuş (susuzlaştırılmış) sediman örneklerinde ise ekstrakte işleminden sonra pestisit ve poliklorürlü bifeniller (Polycychlorinated Biphenyls, PCB) ayrıca, sindirme işleminden sonra ağır metal, azot ve fosfor gibi çeşitli kimyasal analizler yapılabilir (USEPA, 2000).

Tablo 2.4. Sediman Araştırma Programının Testleri ve Parametreleri
(Pedersan ve Bjornestad., 1998)

Grup	Parametre/Test
Arazi Parametreleri	Sediman yapısı, Redoks Potansiyeli, pH, sıcaklık
Ana ve Yapısal Parametreler	Partikül büyüklüğü (2000>...20< μ m), Fe, Mn, Al, Ca, Mg, S, su içeriği, organik madde, toplam organik karbon (TOK)
Boşluk Suyu Parametreleri	İletkenlik, NH ₄ , NO ₃ , o-PO ₄ , Çözülmüş organik karbon (ÇOK), UV ₂₅₄
Ağır Metaller (fraksiyon<20μm)	
Metaller I	Hg, Cd, Ni, Cr, Sn, As
Metaller II	Pb, Cu, Zn

Tablo 2.4. (Devamı)

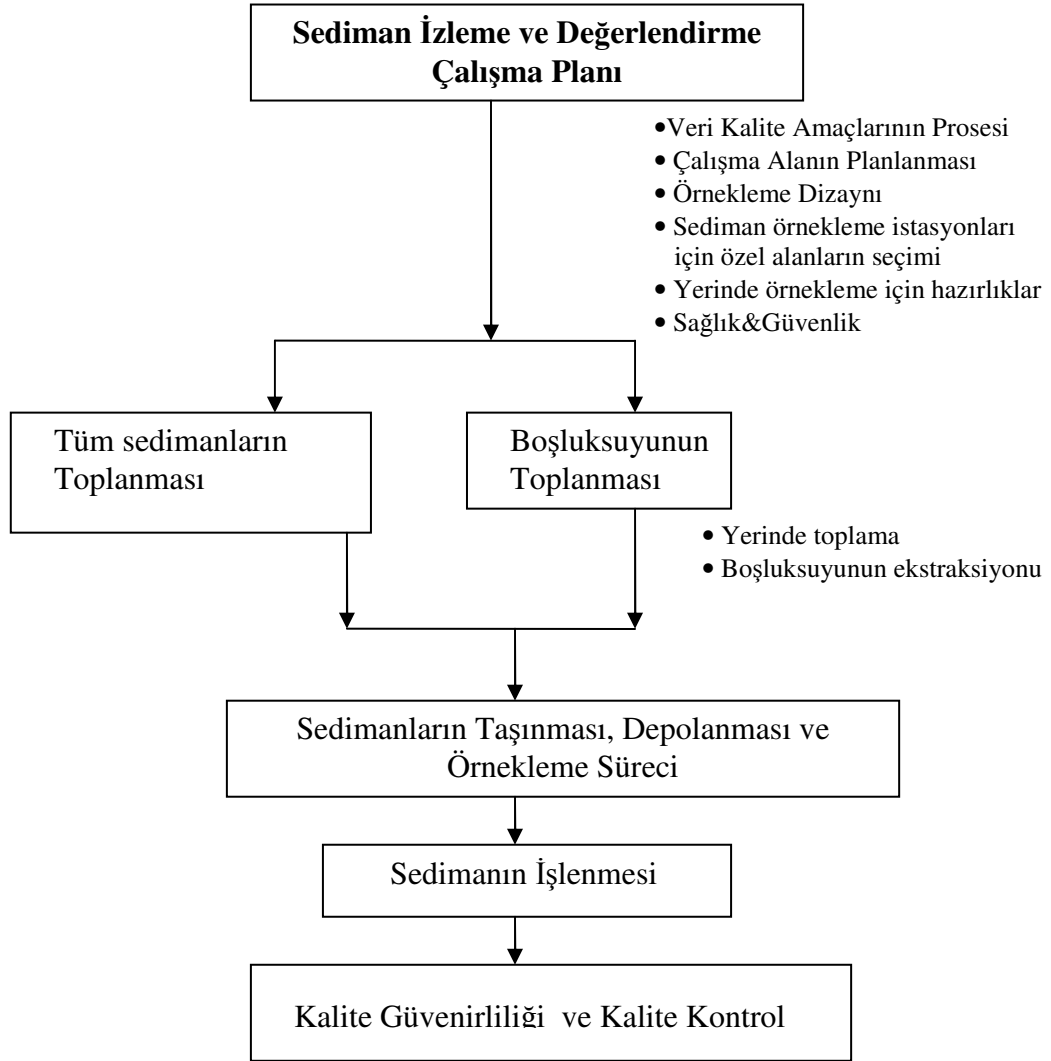
Organik kirleticiler (fraksiyon<2000µm)	
Organikler I	DDT (DDD, DDE), HCH(α-,γ-), Klorobenzenler (Tetra-, Penta-, Hexa), PCDD/F, n-bütilitin bileşikler
Organikler II	AOX, mineral yağlar, 16 PAHs (EPA 610) 7 PCBs (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)
Ekotoksikolojik testler	
Boşluk suyu testleri	Daphnia magna akut test, Scenedesmus chlorophyll fluorescence test, Photobacterium phosphoreum- luminescent bakteri test
Tüm sediman testleri	10 s Chironomus riparius test Caenorhabditis elegans ile 72 s yaşam- testi (Nematoda)

Sediman izleme ve değerlendirme çalışmalarının planları, proje amaçlarının en iyi şekilde toplanarak dikkatlice hazırlanmasıyla gerçekleşir. Genel örnekleme programı düşünüldüğünde; kimyasal veya toksikolojik analizler için ortak olan, yerinde ve laboratuardaki olanakları, güvenlik, örnekleme ekipmanı, örnek taşıma, depolama yöntemi ve işleme süreçleridir. Şekil 2.4'de genel sediman izleme ve belirleme çalışma planı görülmektedir (USEPA, 2001).

Tüm çevresel verileri toplamadan önce, proje amaçlarının bir araya getirilmesi için (özel ölçülen parametreler vs.) ihtiyaç duyulan verilerin kalitesi ve çeşidinin belirlenmesi, verilerin toplanarak bir temel üzerinde karar verilmesi çok önemlidir.

Bir örnek alma programı geliştirilmeden önce, analizler, test sayıları ve özellikleri belirlenmeli ve örnek başına gerekli olan sediman hacmi hesaplanmalıdır. Her fizikokimyasal ve biyolojik test, belli bir miktar sediman gerektirir. Kimyasal analizler için bu miktar, ölçüm sınır değerlerine ve ekstraksiyon etkinliklerine

bağlıdır; biyolojik testlerde ise test organizmalarına ve test metodlarına dayanır. Tipik sediman hacmi gereksinimleri Tablo 2.5’de özetlenmiştir.



Şekil 2.4. Sedimanların ve Boşluk Suyunun Toplanması, Depolanması ve Taşınmasını Gösteren Akış Şeması (USEPA, 2001)

Bunların yanında; daha genel bir seri rutin parametre; daha çok bu projelerden toplanan kimyasal, biyolojik ve toksikolojik verilerin değerlendirilmesinde kullanılmak için analiz edilir. Tablo 2.6’da genellikle rutin ölçülen bu parametreleri ve onların sedimen kalite çalışmalarındaki kullanım alanlarını özetlenmektedir (USEPA, 2001).

Tablo 2.5. Çeşitli Analizlerde Her Örnek İçin Gerekli Tipik Sediman Hacimleri (USEPA, 2001).

SEDİMAN ANALİZLERİ	MİNİMUM NUMUNE HACMİ
İnorganik kimyasallar	90 mL
Petrol kaynaklı olmayan organik kimyasallar	230 mL
Diğer kimyasal parametreler (Örneğin; TOK, nem içeriği)	300 mL
Parçacık boyutu	230 mL
Petrol kaynaklı hidrokarbonlar ¹	250-1000 mL
Akut ve kronik tüm sediman toksisite testleri	1-2 L
Bioakümüasyon testleri ²	15 L
Makro-omurgasız bentik değerlendirmeleri	8-16 L
Boşluk suyu ekstraksiyonu	2 L
Yıkama-ayırma işlemi	1 L

¹ Sadece yağ ve gres analizlerinde max. hacim (1000mL) gereklidir; diğerlerinde 250 ml. yeterli

² Tüm sediman testinde (örneğin bir tür analizinde) örnek başına 8 tekrar farzederek gerekli olan miktar ve test hacimleri.

Tablo 2.6. Standart Sediman Değişkenleri ve Bunların Sediman Araştırmalarındaki Kullanımı (USEPA, 2001).

Standart Sediman Değişkeni	Kullanım
Toplam organik karbon (TOK)	İyonize olmayan organik bileşik konsantrasyonlarının normalizasyonu Biyolojik testler için uygun referans sedimanlarının tespit edilmesi
Uçucu asit sülfid	Anoksik sedimanlardaki divalent metal konsantrasyonlarının normalizasyonu
Sediman tane boyutu	Biyolojik testler için uygun referans sedimanların tespit edilmesi Sediman toksisite test verileri ile bentik makro-canlıların değişim verilerinin ilişkilendirilmesi Sediman taşınımının değerlendirilmesi İyileştirme alternatiflerinin değerlendirilmesi
Toplam katılar	Kuru ağırlık bazında kimyasal konsantrasyonlarının ifade edilmesi

Tablo 2.6. (Devamı)

Amonyak	Sediman toksisite test verilerinin değerlendirmesi
Toplam sülfit	Sediman toksisite test verilerinin değerlendirmesi

Örnekleme noktalarının doğru yer seçimi için, hem genel sediman kalite belirlenmesi amaçlanan geniş kapsamlı izleme çalışmalarında, hem de daha küçük sınırlı çalışmalarda, örneğin sedimanı iyileştirme (remediasyon) ihtiyacının belirlenmesinde, yere-özel bir çok faktör etkilidir. Eğer kademeli veya özel çalışma için rastgele örnekleme dizaynı seçilirse, kontaminasyon rejimini belirlemek için sediman birikim ve erozyon alanlarından noktaların seçimi önemlidir. Örnekleme planı geliştirilirken yere-özel örnek istasyonları için dikkat edilecek pratik noktalar Tablo 2.7’de sunulmaktadır (USEPA, 2001).

Tablo 2.7. Örnekleme Planı Geliştirirken Yere-Özel Örnek İstasyonları için Pratik Noktalar (Mudroch ve Macknight, 1994)

AKTİVİTE	GÖRÜŞ
Sediman kontaminasyonunun oluşabileceği alanların belirlenmesi	<i>Hidrolojik bilgi</i> : Akışın miktarı ve kalitesi, toplam çözünmüş katı girdisinin birikim potansiyeli, sızıntı örnekleri.
Erozyon ve birikim alanlarının belirlenmesi	<i>Barimetrik haritalar ve hidrografik şemalar</i> : Su derinliği, erozyon, taşınım ve birikim tabakaları, kalınlık,dağılım ve sediman türü, akıntılarının hız ve yönü, sedimantasyon oranları. <i>Meteorolojik koşullar</i> : Hakim rüzgarlar, sıcaklık, yağış, solar radyasyon, vb mevsimsel değişimler, gel-gitler, bulanıklık, derinliği, doğal ve antropojenik yüklemelerdeki mevsimsel değişimler.

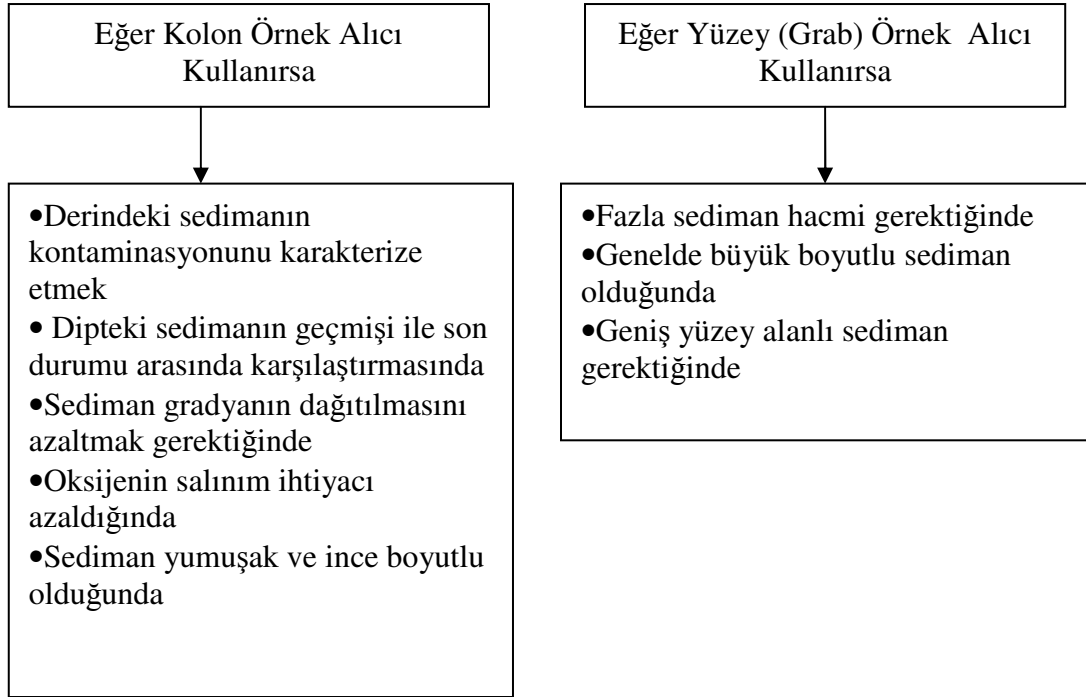
Tablo 2.7. (Devamı)

Potansiyel kontaminasyon kaynaklarının belirlenmesi	<i>Şehir Merkezi Yerleşiminde Antropojenik Noktalar</i> : Arazi kullanımının tarihsel değişimi, endüstrilerin türü, yoğunluğu ve boyutları, atık deşarj alanlarının yerleri, atıksu arıtım tesislerinin yerleri, taşkın suyu ve bileşik kanalizasyon akış fazlasının deşarj yerleri, arıtılmış atıksuların miktarı, kalitesi ve deşarj yerleri daha önceki izleme, değerlendirme yada jeokimyasal incelemeler, tarama ve açık deniz tarama materyalinin deşarj yerlerinin noktaları, Geçmişteki atık boşaltım yerleri.
Kontaminantların biyo-çeşitliliğini etkileyen faktörler	<i>Jeokimyasal Noktalar</i> : Toprak/sediman kimyası sediman üzerindeki suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri.
Numunelerin tanımlanabilirliğinin belirlenmesi	<i>Karakterize edilen birikimin olası tabakalanması</i> : Karakterize edilen alan, karakterize edilen hacim, karakterize edilen derinlik.

4.3.2. Sediman Örneklerinin Toplanması

Çoğu sediman toplayan cihazlar izole edilerek tasarlanır. Sedimanın yüzeyi altındaki derinliklerden alınan örneklerin kirlenmemesine ve örneğin doğru alınmasına dikkat edilerek örnekleme yapılır. Sedimanın yapısı bozulabildiğinden, kimyasal ve biyolojik olarak değişebildiğinden, ölçüm için alınan sediman örneklerinin toplanmasında, sedimanın doğruluğunu koruması çok önemlidir (Arıman, 2004).

Özel alanda veya amaçlarına göre izlenmesi gereken teçhizat Şekil 2.5’de tavsiye edildiği gibidir. Burada tavsiye edilen örnek alıcılardan, substrat türü ve akış durumuna göre kullanılabilecek modellerinin uygulama koşullarıyla birlikte gösterimleri Tablo 2.8’de verilmektedir.

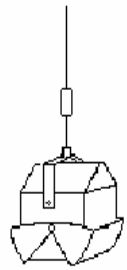
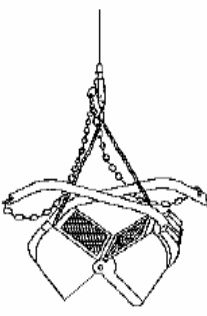
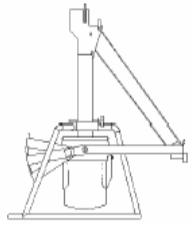


Şekil 2.5. Kolon-Yüzey Örnekleme Cihazlarının Tasarlanan Tipleri (USEPA, 2001)

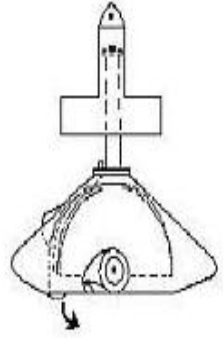
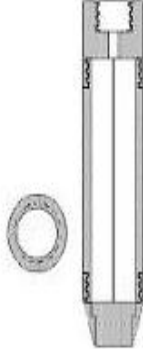
4.3.2.1. Sediman Örnekleme Çeşitleri

Sediman örnek alıcılar 3 tipe ayrılır: yüzey (Grab) örnek alıcı, kolon (Core) örnek alıcı ve tarama örnek alıcısıdır. Yüzey örnek alıcısı, sediman karakteristiklerinin yatay dağılımının belirlenmesi için yüzey sedimanlarından tipik olarak kullanılır. Kolon örnek alıcısı; tam sediman kolonunu karakterize etmesi için veya sediman karakteristiklerinin dikey dağılımının belirlenmesinde, sediman profillerinin toplanması için veya iri sediman birikimleri için kullanılır. Tarama örnek alıcısı, ilk olarak bentik bölgedeki canlıların toplanması için kullanılır. Örnek alıcı, büyük sediman kayıplarına, boşluksuyu ve sedimanların parçalanmasına sebep olabilir. Bu nedenlerle, sadece yüzey ve kolon örnek alıcılar, sedimanın fizikokimyasal veya toksik değerlendirmeleri için tavsiye edilir (USEPA, 2001).

Tablo 2.8. Sediman Örneklerinin Toplanmasında Kullanılabilecek Örnek Alıcıların Uygulama Koşulları ve Şematik Gösterimleri (OHIO-EPA, 2001)

TÜR	MODEL	AKIM	SUBSTRAT TÜRÜ	AÇIKLAMA	GÖSTERİM
GRAB	SPOON SCOOP	Sıfır- yavaş	Tümü	- Sadece, nispeten durgun ve sığ sularda kullanılır. - Nispeten daha az örneğin dağılımı - Basit ve pahalı değil - İnce taneciklerin su kolonu ile kaplanması halinde yıkanması hataya yol açabilir.	
GRAB	ECKMAN (BİRGE)	Sıfır- çok yavaş	Kil ve Silt	- Nispeten durgun sularda kullanılır. - Ağaç dalları ve çakıl taşları, aletin (çene) kapanmasını engelleyebilir. - Üstün çene biçimi ve kesimi - Nispeten daha az örneğin dağılımı - Sürekliliği zayıftır, akıntıyla birlikte yüzme meyilli olduğundan hafif ağırlıklara izin verir. Bazı durumlarda hatalı çökeltiye neden olur. 0,02 m² örnekleme alanı - Örnek ile ağırlığı 10 kg'dır.	
GRAB	PETİTE PONAR PEDERSON	Sıfır - çok yavaş	Kil- ince çakıl	- Nispeten durgun/kuytu (korunmuş) sularda ihtiyaç duyulur. - Sürekliliği iyidir. - Zayıf çene biçimi ve kesimi nedeniyle örneğin dağılımı (bozulması) - Ekstra ağırlık kullanılması halinde daha az hata - Ekman'dan daha kullanışsız, bir vinç gereklidir. 0,1 - 0,2 m² örnekleme alanı - Örnek ile ağırlığı 30-50 kg'dır.	
KOLON (CORE)	BOX	Sıfır - Ortalama	Kil- kum	- Kullanmak zordur. - Geniş örnek boyutu - Vinçli bot/mavna gerektirir. - Dikdörtgen biçimli kutu	

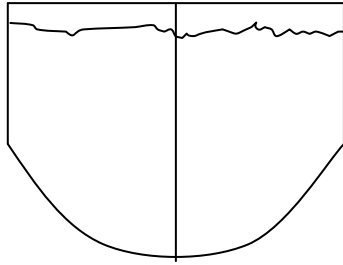
Tablo 2.8. (Devamı)

TÜR	MODEL	AKIM	SUBSTRAT TÜRÜ	AÇIKLAMA	GÖSTERİM
GRAB	SHİPEK	Sıfır- Güçlü	Kil -Çakıl	• Vinçli bot/mavna gerektirir. Mini Shipek, elle (manuel) kullanılabilir. • Yüksek bir yerden atma, süreklilik, yıkanma ve filtreleme açısından en uygunlarındandır. • Mükemmel çene kesimi ve biçimi. Çok temiz kesme işlevi. • 0,04 m² örnekleme alanı • Örnek ile ağırlığı 60-70 kg. (Mini Shipek, örnek ile ağırlığı 20-30 kg.)	
KOLON (CORE)	MANUEL	Sıfır- Güçlü	Kil- Kum. Kumlu örnekler için ekler gereklidir.	• Sığ sular da kullanım için tavsiye edilir. • El ya da tornavida (çekiç) yardımıyla yerleştirilir. • Çok derin sular da uzatma kolları kullanılabilir.	
KOLON (CORE)	KOLON TÜPLERİ	Sıfır- Ortalama	Kil- Kum. Kumlu örnekler için ekler gereklidir.	• Hızlı ve kolay • Nispeten bozulmamış örnek • Küçük örnek hacmi • Örneklerin bazen baskıya maruz kalması	
KOLON (CORE)	SPLİT SPOON	Sıfır- Ortalama	Kil- Kum. Kumlu örnekler için ekler gereklidir.	• Sığ sular da kullanım için tavsiye edilir. • El ya da tornavida (çekiç) yardımıyla yerleştirilir. • Dikey profil kalıntılar sağlam (bozulmamış) ve görünebilir. • Nokta dizaynı örneğin sıkışma ihtimalini azaltabilir. • Kaya parçaları toplamayı güçleştirebilir. • Ekipman ağırdır.	

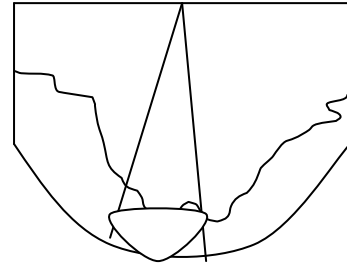
Tablo 2.8. (Devamı)

TÜR	MODEL	AKIM	SUBSTRAT TÜRÜ	AÇIKLAMA	GÖSTERİM
KOLON (CORE)	GRAVİTY	Sıfır -Ortalama	Silt - Kıl	• İrmaklar için tavsiye edilir. • 10 m'ye kadar olan derinliklerde	
KOLON (CORE)	PHLEGER	Sıfır -Ortalama	Silt	• Yumuşak sedimanlarda kısa kolon örnekler için uygundur. • Hızlı ve kolay • Nispeten dağılmamış örnek • Küçük örnek hacmi • Bazı durumlarda örnekler sıkıştırılabilir.	
KOLON (CORE)	KB CORE	Sıfır -Ortalama	Kıl - Kum Kumlu örnekler için ekler gereklidir.	• Hızlı ve Kolay • Nispeten dağılmamış örnek • Küçük örnek hacmi • Bazı durumlarda örnekler sıkıştırılabilir.	
YERİNDE (İN-SİTU)	SOİ (SOD)	Sıfır -Ortalama	Kıl - Çakıl	• Sediman oksijen ihtiyacını belirlemek için kullanılır. • Sediman örneği toplamak için kullanılmaz.	

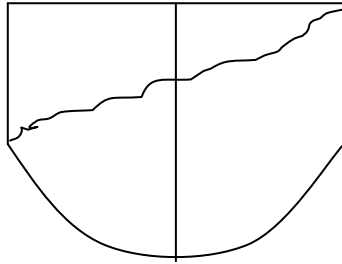
Yüzey veya kolon örnek alıcılarla doğru toplanan sedimanlar, fizikokimyasal, biyolojik veya toksikolojik testler için kullanılabilir. Örnek alıcılar, yeterli derinlikten ve dik kesitten alınırsa kabul edilebilir. Sediman örnekleri güvenli bir şekilde alındıktan sonra araştırmalar yapılabilir. Tüm örnekler, örnek alıcılarının belirlenen yöntemleriyle toplanmıyorsa, alandan toplanan örnekler kabul edilmeyebilir. Kabul edilmeyen sediman örnekleri, örnekleme istasyonlarından sonra alınanlarda etkili olmayarak, atılabilir. Kabul edilebilir veya edilemeyen örnekler Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



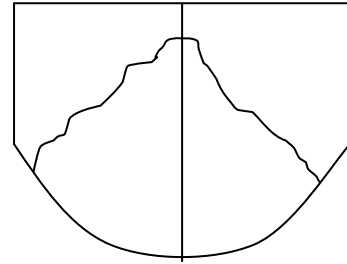
Eğer minimum penetrasyon içeriyorsa ve fazla su varsa kabul edilebilir



Kabul edilmeyen (yıkanmış)



Kabul edilmeyen (eksik örnek ile eğilmiş)



Kabul edilmeyen (yıkanmış)

Şekil 2.6: Kabul Edilebilir veya Kabul Edilemeyen Yüzey Örneklerinin Gösterimi (USEPA, 2001)

4.3.3. Sedimanın Taşınması, Depolanması ve Örneklemeye Süreci

Sediman örneklerinin, fiziksel, kimyasal veya biyolojik karakteristiklerindeki değişiklik veya örneklerin tanımlanan kirleticilerle konsantrasyonu ve biyolojik uygunluğunda değişiklik olabilen sediman örneklerine taşıma, depolama işlemleri uygulanmaktadır (Arıman, 2004).

Taşıma ve depolama metotları, boşluksuyu ve sediman örneklerinin kimyasal kalitesini ve yapısını koruyarak tasarlanmalıdır. Yüzey örnek alıcılarla toplanan sedimanlar, depolama tanklarına konulmayabilir, konteynırlara örnek alıcılardan transfer edilir. Konteynırlar, alanda geçici olarak depolanır veya depolanmak için hemen laboratuara taşınır. Eğer kolon veya alt sediman örnekleri parçalanmazsa dik bir şekilde depolanabilir.

Depolama şartları, örnek alındıktan sonra mümkün olduğu kadar hızlı olmalıdır. Bazı parametrelerin analizi için, alınan örnek dondurucu kaplarda veya buz içerisinde korunarak laboratuara getirilmelidir. Örneğin, bazı metal ve organik kimyasalların analizinde, geçici olarak depolanarak taşınır ve kuru olarak dondurularak muhafaza edilir. Dondurma işlemi, su içeriğine bağlı olarak sediman hacmini değiştirir. Ayrıca, sedimanın yapısı sürekli değiştiğinden sedimandaki kirleticilerin biyolojik uygunluğu da değişir.

En çok örnek alımı uygulamalarında, istasyonlar arasındaki alanlarda su ile ekipmanların yıkanması gerekir. Ancak, çoğu istasyonlarda ağır kirlilik olduğunda, ekipmanları su ile yıkama etkili olmayabilir. Aslında istasyonlar arasında örneklem materyallerinin yıkanması gerekebilir. Bu aygıtlar; spatula, kepçe ve diğer ekipmanları içermektedir. Alandaki örnekler için ASTM (2000a) tarafından tavsiye edilen yaklaşımlar: 1) sabunlu su ile yıkama, 2) temiz saf su ile durulama 3) aseton veya etanol ile durulama 4) alandaki su ile durulama.

Genel olarak, sedimanlar ve boşluksuları, içeriği bilinmeyen kimyasallar içeriyorsa, yüksek yoğunluklu polietilen plastik ve politetrafloroetilen (PTFE ve Teflon) kaplarda saklanmalıdır. Organik kirletici analizleri için alınan örnekler

kahverengi borosilikat cam kaplarda saklanır. Eğer uçucu bileşikler analiz edilecekse, kaplardan depolama ve analiz esnasında uçucu gaz kaçışını minimize etmek gerekir. Eğer örnekler fotoreaktif bileşiklerce örneğin PAH kontamine ise, kahverengi cam kaplar veya alüminyum folye kaplı şişelerde saklanarak ışık girdisi azaltılır. Plastik veya asitle yıkanmış cam kaplar ise ağır metal analizleri için alınan örnekleri saklamada kullanılır (USEPA, 2001). Bekletme süresi için limit, sedimanın türüne ve kirlenici karakteristiğine bağlıdır. Tavsiye edilen, sedimanların karanlıkta 4 °C’de saklanması gerektiğidir. Sediman kalite parametrelerinin analizinde kullanılan örneklerin alınacağı uygun örnekleme kapları, müsaade edilen bekleme süreleri ve saklama koşulları ise Tablo 2.9’da verilmektedir.

Tablo 2.9: Genel Sediman Türleri için Tavsiye Edilen Örnek Alma Kapları, Bekletme Süreleri ve Depolama Koşulları (ASTM, 2000a).

Kontaminant	Saklama Kabı	Bekletme Süresi	Depolama Şartı
Amonyak	P, G	28 gün	R ; F
Sülfat	P , G	28 gün	R ; F
Sülfid	P , G	28 gün	R veya NaOH ; pH>9
Yağ ve Gres	G	28 gün	HCl, pH<2
Civa (Hg)	P ,G	6 hafta	H ₂ SO ₄ , pH<2, R
Metaller (Cr veya Hg hariç)	P ,G	6 ay	HNO ₃ , pH<2, F
Ekstrakte-edilebilen organikler Organoklorlu pestisitler, PAHs, klorlu hidrokarbonlar)	G, PTFE	7 gün (ekstraksiyona kadar) 30 gün (ekstraksiyon sonrası)	R ; F
Halokarbonlar ve Aromatikler	G, PTFE	14 gün	R ; F
Pestisitler	G, PTFE	7 gün (ekstraksiyona kadar) 30 gün (ekstr. sonrası)	R ; F
Sediman Toksisitesi (akut ve kronik)	P , PTFE	2 hafta	R, karanlıkta
Biyoakümülyasyon testi	P , PTFE	2 hafta	R, karanlıkta

Bekletme süresi varolan kirlenicilerin türü ve özelliğine bağlı olarak uzun olabilir.

P- Plastik, PTFE – Polytetrafluoroethylene ; R – Soğutucu , F – Dondurucu

4.4. Fiziko-Kimyasal Sediman Karakterizasyonu

Genellikle laboratuvar ortamında organik ve inorganik kirleticiler için kimyasal analiz ve toksisite testleriyle birlikte sedimanların belirli fiziko-kimyasal karakteristiklerinin belirlenmesi istenir ya da gereklidir. Bu karakterizasyon, sedimanda kirletici varlığının bir göstergesi olduğu bilinen bazı parametrelerin ölçülmesini içerir (ASTM 2000b). Yüksek kimyasal konsantrasyonları, biyolojik mevcudiyetini değerlendirmede tek başına ele alınmamalıdır (USEPA, 1998). Genel olarak ölçülen parametreler aşağıdadır:

1. pH (gözenek suyunda),
2. Amonyak (gözenek suyunda),
3. Toplam organik karbon ve/veya toplam organik madde,
4. Tane boyutu dağılımı (örneğin, yüzde kum, silt, kil),
5. Yüzde su içeriği,
6. Tuzluluk ve sertlik (gözenek suyunda),
7. İletkenlik (gözenek suyunda).

Deneysel optimizasyon ya da çalışmanın amacına bağlı olarak, daha kapsamlı karakterizasyon gerekebilir. Çalışmanın işleyişine yardımcı olabilecek birkaç ek karakteristik, verilerin yorumlanması ya da Kalite Doğruluğu (QA: Quality Accuracy) / (QC: Quality Control) Kalite Kontrol (örneğin, sediman bütünlüğü, yapay üretim, en uygun ekstraksiyon ve test yöntemleri) şunları içerir; Sediman BOİ'si, sediman KOİ'si, SOİ, katyon değişim kapasitesi, Redoks (Eh) ya da oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, toplam inorganik karbon, toplam uçucu katılar, uçucu asit- sülfidler, eş zamanlı ekstrakte olan metaller, metaller, sentetik organik bileşikler (pestisit, PCB'ler, PAH'lar ve TCDD-dioksin), yağ ve gres, petrol hidrokarbonları, gözenek suyunda çözünmüş organik karbon. Pek çok sediman fiziko-kimyasal karakteristiklerinin ölçümünde, tavsiye edilen yöntemeye dayalı detaylar için literatüre başvurulmalı, katı ve sıvılar için orijinal olarak geliştirilmiş analitik teknikler kullanılarak ölçüm yapılmalıdır (USEPA, 1998).

4.4.1. pH

Sediman pH'sı, sülfidler, amonyak, siyanit gibi pek çok kimyasal, pH etkisi altında iyonize olan tüm metaller için denge ve değişimlerini kontrol eden en önemli faktörlerin başında gelir. Metallerin (Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn) kendine özgü ayrımları ve biyolojik olarak kullanılabilirliklerinin pH tarafından etkilendiği de bilinmektedir (Schubauer-Berigan ve Ankley ve diğ., 1991; Ho ve diğ., 1999).

Genel olarak pH, bir potansiyometre, bir cam elektrot, bir referans elektrot ve bir sıcaklık dengeleme aletinden oluşan pH-metre kullanılarak ölçülür. Elektrotlar suya daldırıldığında bu çevrim tamamlanır. Sıvı ile doldurulmuş referans elektrotlara göre jel ile doldurulmuş referans elektrotlar genelde daha az koruma gerektirir. Son çıkan cihazlar, otomatik olarak hesap yapan ve derecesini gösteren mikroişlemcilerle sahiptir.

Plumb (1981) ve Gonzalez (1995), bir pH probu ve metresi kullanarak sedimanda pH ölçümü için bir metot tanımlamışlardır. pH probu sedimana daldırılmış ve en az 5 dakikalık bir dengeye ulaşma zamanından sonra doğrudan pH ölçümü yapılmıştır. Sediman gözenek suyunda ya da 1+1 oranında sediman su karışımında pH'nın doğrudan ölçümleri için elektrotlar kullanılabilir (Jackson, 1958). Sedimanda daha geniş penetrasyona izin veren 'mızrak tipi' elektrotlar kullanılarak da doğrudan sediman pH ölçümleri yapılabilir (USEPA, 2001).

4.4.2. Tane Boyutu Dağılımı

Tane boyutu, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerin her ikisinden de etkilendiğinden sedimanların fiziksel karakteristiklerini belirlemede kullanılır. Laboratuvar toksisite testinde yada biyolojik topluluklardaki bazı değişimlerin hesabında (USEPA, 1998) ve kimyasal konsantrasyonların normalize edilmesinde kullanılabilir (USEPA, 2000; Hoss ve diğ., 1999). Genel olarak, tane boyutu dağılımlarını karakterize etmede yararlı olduğu düşünülen en geniş bölümler, çakıl,

kum, silt ve kil yüzdelileridir. Bununla birlikte, bu boyut kesirlerinden her biri, ilave boyut karakteristikleri belirlenebilsin diye daha ileri alt bölümlere ayrılabilir (PSEP, 1996).

Su tarafından taşınan katılar, tuz gibi (özellikle moleküler-boyutlu parçacıklar) çözünmüş materyallerden küçük kaya parçaları ve çakıllara kadar çok çeşitli boyutlardadır. (Çökelemeyen ve bir mikrondan daha küçük boyutlara sahip askıda katılar olarak tanımlanan kolloidal materyallerin, çözünmüş materyal gibi davranabilen katı parçacıklar olarak taşındığı varsayılmaktadır.) Temel olarak, katı parçacıklar yaklaşık birkaç mikrondan (killer) birkaç milimetreye (iri kum taneleri) kadar değişen bir karakteristik boyuta sahiptir. Doğal akışlar vasıtasıyla taşınan normal tane boyutlarının listesi Tablo 2.10'da verilmektedir.

Tablo 2.10. Sedimanda Tane Boyutları (Hillel, R., (Ed.), 2001)

Taşınan Tane Türü	Yaklaşık Boyut Sınıfı
Killer, Alg	1-10 μm
Siltler	10-100 μm
Kum	100- 1000 μm
Çakıl, küçük kaya parçaları	$\geq 1000 \mu\text{m}$

Tane boyutu tayinleri, organik materyalleri içerebilir veya içermeyebilir. Şayet, analizden önce organik materyal uzaklaştırılırsa, “*gerçek*” (örneğin, esasen inorganik) tane boyutu dağılımı belirlenir. Eğer analiz organik materyali içeriyorsa, “*görünen*” (örneğin, organik + inorganik) tane boyutu dağılımı belirlenir. Gerçek ve görünen dağılımlar farklı olabilir; farklı metotlarla analiz edilen örnekler arasında detaylı karşılaştırma yapmak şüphe uyandırır. Bu nedenle, çalışmalar ile örnekler arasında karşılaştırma yapılmak istenirse, sediman tane boyutu tutarlı metotlar kullanılarak ölçülmelidir (PSEP, 1996).

Sediman tane boyutu çok sayıda farklı metot kullanılarak ölçülebilir. En iyi metot, örneğin partikül özelliklerine bağlı olanıdır. Tane boyutu dağılımı, sıklıkla, sediman örneğinin ıslak elenmesi, hidrometre metodu, pipet metodu, çökeltme teknikleri ve x-ışını absorpsiyonundan herhangi biri yardımıyla belirlenir. Pipet metodu, hidrometre metoduna göre daha üstün olabilmektedir.

Sediman tane boyutu dağılımı ölçümü için tavsiye edilen metotlar, PSEP (1996) ve USEPA (1995) tarafından geliştirilen metotlardır. Yüzde çakıl, kum, silt ve kil, homojenize edilmiş sediman örneğinden alınan 100 gr'lık minimum bir sediman örnek boyutu kullanılarak 'görünen' dağılım olarak belirlenir. Hidrojen peroksit kullanılarak yapılacak bir oksidasyon ile analizden önce organik madde uzaklaştırılabilir.

Islak elemeyi takiben kuru eleme yapılarak (mekanik karıştırma) kaba tane boyutu grupları ikiye ayrılır. Silt-kil oranı, iki farklı tane boyutu oranının diferansiyel çökeltme oranlarına bağlı olarak, pipet tekniği yardımıyla alt bölümlere ayrılabilir. Tüm kesirler sabit bir ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Soğutulan örnekler desikatörde saklanır ve tartılır.

İnce kesirli doğru tane boyutlarının belirlenebilmesi için Coulter sayacı metodu işletilebilir (McCave ve Jarvis, 1973; Vanderpleog, 1981). Bu metot, görünür küresel çaplı tanelerin kesrini verir. Diğer bir potansiyel metot (çok ince kesirli tane boyutu dağılımını belirlemek için) elektron mikroskopisi kullanılmasıdır (Leppard ve diğ., 1988). Çok ince materyallerin toplama teknikleri daha geniş koloidal yapıların birikimi ile sonuçlanabilir. Genelde, tane çökeltme metotları sediman boyutlandırma metotlarına tercih edilir.

4.4.3. Yüzde Su (Nem İçeriği)

Su içeriği, genellikle tüm sediman ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilen sediman neminin ölçümüdür. Toksisiteyi etkilediği ve sediman kalite araştırmalarında yardımcı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Sediman nem içeriği, 50 ile 105 °C'de (sabit ağırlığa getirilen) etüvde kurutmayı takiben, sedimanın yaş ve

kuru ağırlığı arasındaki fark olarak ölçülür. Yüzde su, ıslak ağırlıktan kuru ağırlığa maddelerin sediman konsantrasyonlarını çevirmede kullanılır. Nem içeriği belirleme metotları Plumb (1981) ile Vecchi ve diğ. (1999) tarafından tanımlanmıştır.

4.4.4. Gözenek Suyunun Tuzluluğu (Denizel Sedimanlarda)

Tuzluluk, belirli bir çözelti kütlesinde çözünmüş tuz kütlesinin bir ölçüsüdür. Gerçek ya da mutlak tuzluluğu belirlemek için en güvenilir metot tamamıyla kimyasal analiz yoluyla olanıdır. Ancak, bu zaman kaybına ve pahalıya mal olur. Bu nedenle, dolaylı metotlar çok daha uygundur. Dolaylı metotlar, iletkenlik, yoğunluk, titreşim hızı, kırınım indeksini içerir. Tuzluluk ve dolaylı ölçümler arasındaki deneysel ilişki hesaplandıktan sonra tuzluluk elde edilir.

İletkenlik ölçümleri oldukça büyük duyarlılığa sahiptir, fakat, yalnızca iyonik çözünürlüklere dayanır (APHA, 1995). Yoğunluk ölçümleri ise tüm çözünürlüklere bağımlıdır. APHA(1995), hassas ve kolaylıkla işletilebilmesi nedeniyle elektriksel iletkenlik metodunu, ayrıca, titreşim akış densitometresinin kullanıldığı yoğunluk metodunu da tavsiye eder. Tuzluluk refraktometresi, deniz suyu gibi çözeltilerdeki tuzluluk yoğunluğunun seri okumaları için kullanılabilir. Bu refraktometreler, kolay okur, korozyona uğramaz ve oldukça hafiftir.

4.4.5. Gözenek Suyunun İletkenliği (Tatlı su sedimanlarında)

İletkenlik, sulu bir çözeltinin elektrik akımı taşıma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Bu kabiliyet, çözeltideki iyonların varlığına, iyonların konsantrasyonuna, bu iyonların hareketliliğine, değerine ve sıcaklığa bağımlıdır. Organik bileşiklerin oluşturduğu çözeltiler genel olarak zayıf iletkenlik gösterirken, inorganik bileşiklerin çözeltileri genelde iyi iletkenlerdir. İletkenlik, Ca^{+2} , K^{+} , Na^{+} , ve Mg^{+2} kloritleri ve sülfidleri ile zenginleştirilebilir.

Su aracılığıyla geçebilen elektrik akımının derecesini ölçmek için iletkenlik ölçerler kullanılabilir. Bu ölçüm birimi, $1 \text{ mS/m} = 1 \text{ milisiemens/metre}$ veya $1 \mu\text{S/cm}$

= 1 mikrosiemens/santimetredir. Bu değer sudaki iyonların miktarını gösterir. Kalsiyum ve magnezyum sertliğinin ölçümü için yapılan geleneksel kimyasal testler sırasında, diğer iyonların (örneğin, sodyum) yaratacağı etki nedeniyle hataya düşülür. İletkenlik ölçerler, iyonik gücün çok daha iyi ölçülmesini sağlar.

4.4.6. Sedimanlarda Redoks Potansiyeli (Eh)

Redoks (Eh), sedimanların yükseltgenme-indirgenme (oksidasyon-redüksiyon) potansiyelinin bir ölçümüdür. Eh ölçümleri, sediman oksidasyonunun boyutunu belirlemek ve metal formlarının değişimini değerlendirmek için özellikle önem taşır. Yaklaşık olarak – 100 milivoltun altındaki Eh değerleri biyolojik olarak önemli sülfid konsantrasyonlarının göstergesidir. Bazı iz metaller sülfidli çözünemez kompleks bileşik formuna geçer. Bu metal-sülfid kompleksleri metalleri biyolojik olarak kullanılamaz bir formda metalleri kendisine bağlar. Genel olarak, serbest iyonik metallerin daha büyük toksisite potansiyeline sahip olduğunun düşünülmesi nedeniyle, pH ve Eh gibi bağlanma dinamiklerini kontrol eden şartların anlaşılması önemlidir (USEPA, 2001).

Redoks (Eh)'nin bir milivolt okuyucu ile potansiyometrik ölçümleri, standart bir hidrojen elektrotuna göre bir platinyum elektrot vasıtasıyla yapılabilir (Plumb, 1981). APHA (1995), kırılğan ve kullanışlı olmadığından standart hidrojen elektrotunu tavsiye etmez. Onun yerine, gümüş-gümüş-klorür ya da kalomel referans elektrotunun kullanılmasını, bunun yanında, sedimanlar için platin elektrottan ziyade grafit bir elektrotu önerir. Redoks (Eh) bir kez dengeye ulaştığı anda, platin ya da grafit elektrot ve referans elektrot arasındaki fark sistemin redoks potansiyeline eşit olur. Sedimanlarda, özellikle denizel sedimanlarda, Redoks (Eh)'nin doğru ölçümü ve yorumlanmasına ilişkin olarak bir çok sorun vardır. Bu nedenle, uygun ekipman ve tekniklerin kullanılmasında yüksek ölçüde dikkat gereklidir. Farklı çevresel koşullar altında, elektrotun daldırılması süresince sediman örneklerinin dağılması nedeniyle doğru olmayan ölçümleri içeren, elektrodun ölçümlerin yeniden alınmasındaki zayıflığı gibi problemlerden bazıları Whitfield (1969) ve Mudroch ve Azcue (1995) tarafından tanımlanmıştır (USEPA, 2001).

4.5. Akarsu Ortamında Çözünmüş Oksijen Değişimi ve Sediman Oksijen İhtiyacının Önemi

Sağlıklı bir akarsuda biyodinamik bir çevrim olduğu ve bunun sonucu bitki ve hayvan yaşamıyla ilgili olarak ekolojik bir denge bulunduğu bilinen bir gerçektir. Evsel ve endüstriyel kirlenme bu dengenin değişmesine neden olur. Bir akarsuda kirlilik nedeniyle ortaya çıkan biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve çözünmüş oksijen eksikliği, aşağıda verilen birçok faktöre bağlıdır. İncelenen akarsu kesiminin özelliklerine göre, bu faktörlerin önemi ve öncelik sıraları değişebilir.

a) Biyokimyasal oksijen ihtiyacını etkileyen faktörler:

- Evsel ve endüstriyel atık suların noktasal deşarjları;
- Akarsuda yaşayan hayvansal ve bitkisel organizmaların metabolik ve yaşam kalıntıları;
- Akarsu taban çamurunun (dip sediman tabakası) yeniden askıda hale geçmesi;
- Akarsu beslenme havzasından gelen alansal kirlilik;
- Yeraltısuyu beslenmesiyle akarsuya karışan biyolojik olarak ayrışabilen organik maddeler;
- Biyokimyasal ayrışma;
- Çökelme (sedimentasyon);
- Uçucu maddelerin su yüzeyinden kaybı (CO_2 , NH_3 gibi);
- Yüzeylerde meydana gelen adsorbsiyon (örneğin, suda askıda halde bulunan kil taneciklerinin adsorbsiyonu).

b) Çözünmüş oksijen konsantrasyonunu etkileyen faktörler:

- Su yüzeyindeki havalanma;
- Akarsulardaki düşü yatakları ve bağlamalardaki havalandırma;
- Makrofitler ve fitoplanktonların asimilasyonu;
- Sudaki biyokimyasal ayrışma için oksijen tüketimi;

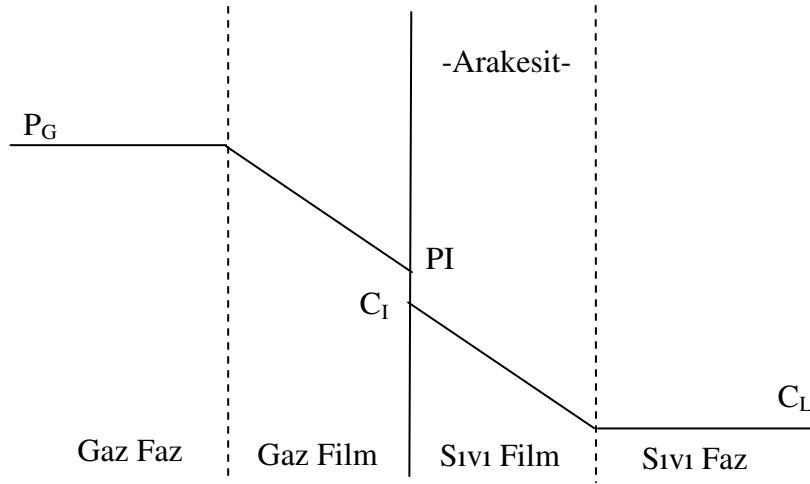
- Dip sediman tabakasında biyokimyasal ayrışma için tüketilen oksijen (SOİ);
- Hayvansal ve bitkisel organizmaların solunumu.

Bir akarsu için kurulacak olan oksijen bilançosu modellerinde, yukarıda belirtilen faktörlerin biyokimyasal oksijen ihtiyacında veya çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında oluşturacakları değişimlerin herhangi biri ana değişken olarak seçilebilir (Uslu ve Türkman, 1987).

Mikroorganizmaların metabolik süreçlerinde yer alan çözünmüş, koloidal veya askıdaki organik maddeler ve azot bileşiklerinin biyokimyasal ayrışımı akarsudaki oksijen bilançosunda en önemli tüketim unsurunu oluşturur. Bu ayrışım, aynı zamanda, doğal arıtma açısından da akarsu kalitesini belirleyici temel etkindir. Kirlilik yüküne maruz kalmamış akarsularda ototrof süreçler sonucunda üretilen organik madde ile aerob heterotrof organizmaların tüketimi arasında doğal bir denge bulunur. Akarsuya dışarıdan biyolojik olarak ayrışabilecek nitelikteki organik maddelerin veya azot ve fosfor bileşiklerinin (ikincil kirlenme) çeşitli türdeki atıklarla verilmesi bu hassas dengeyi önemli ölçüde değiştirebilir. Bu değişim sonucunda akarsuda belirli bir miktar çözünmüş oksijen kalırsa, yeni bir denge oluşabilir. Oksijen tüketiminin oksijen kazanımından daha fazla olduğu durumlarda ise, akarsudaki biyolojik süreçler tamamen nitelik değiştirirler. Bunun sonucu olarak tüm aerobik yaşam durur ve akarsuda istenmeyen anaerobik çürüme süreçleri egemen olmaya başlar.

Akarsuya kullanılmış sularla birlikte giren organik kirleticilerin ayrışmaları sırasında ortamdaki çözünmüş oksijen kullanılırken, bir taraftan da atmosferden oksijen kazanılır. Belirli bir kirletici yükünün su yatağındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonuna tesiri matematiksel olarak ifade edilebilir ve belirli bir anda belirli bir akarsu parçası için oksijen dengesi (mikroorganizmaların sarfettiği oksijen ile atmosferden temin edilen oksijen arasında) yazılabilir (Karpuzcu, 1994).

Gaz transferini açıklayan birçok matematiksel model olmasına rağmen, 1923 yılında Whitman ve Lewis tarafından geliştirilen ve iki film teorisi olarak bilinen modelin gerçekte gaz transferini en iyi tanımlayan model olduğu kabul edilir ve gaz transferi teorisi bu modeli esas alır. İki film teorisi, kütle transferinin gerçekleştiği gaz ve sıvı fazları arasında biri gaz ve diğeri de sıvı olmak üzere iki çok ince film tabakası olduğunu öngörür. Bu iki film tabakası, fazlar arasındaki kütle transferine karşı belirli bir oranda direnç gösterir. Çözünürlüğü düşük gazlar için bu direnç gazın sıvı faza geçmesine karşı uygulanır. Yüksek çözünürlüklü gazlar için ise direnç gazın sıvı fazdan gaz fazına geçmesine karşıdır. İki film teorisi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. İki Film Kavramı (Duran ve Demirer, 1997)

İki film modeline göre sıvı faz ve gaz fazları arasında gaz transferi sadece moleküler yayılım mekanizması yoluyla olur. Fick’in moleküler yayılım kanununa göre iki faz arasındaki transfer oranı fazların arakesit alanı ve fazlar arasındaki konsantrasyon gradyanı ile doğru orantılıdır. Matematiksel olarak ifade edilirse;

$$\frac{dC}{dt} = K_L \frac{A}{V} (C_i - C) \quad (2.1)$$

Burada;

dC/dt : Gaz transfer oranı (mg/l.sn)

- K_L : Bir katsayı (cm/sn)
 A : Fazların arakesit alanı (cm²)
 V : Arakesitin suda kapladığı hacim (cm³)
 C_t : t anında gazın sıvı fazdaki konsantrasyonu (mg/l)
 C_s : Gazın sıvı içerisindeki doygunluk (denge) konsantrasyonu (mg/l)

Eşitlik 2.1’de geçen A ve V ’nin fiziksel olarak belirlenmesi olanaksızdır. Bu nedenle (A/V) ifadesi K_L ile birleştirilir ve kütle transfer katsayısı olarak bilinen K_{La} ile ifade edilir. Böylece;

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} (C_t - C_s) \quad (2.2)$$

Burada;

K_{La} : Kütle transfer katsayısı (l/sn)

C_s , bir gazın sıvı ortamındaki doygunluk ya da denge konsantrasyonunu ifade etmektedir. Bir gazın herhangi bir sıvı ortamındaki doygunluk konsantrasyonu ortamın sıcaklığına ve gazın sıvı ortama komşu olan gaz fazdaki kısmi basıncına bağlıdır ve Henry Kanunu yardımıyla belirlenir. Henry kanunu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$p x P_T = H x c \quad (2.3)$$

Burada;

- p : Gazın havadaki mol oranı (mol/mol)
 P_T : Toplam basınç (atm)
 H : Henry sabiti (atm)
 c : Denge halinde çözülmüş gazın sudaki mol oranı (mol/mol)

$$c = \frac{\text{mol..gaz}}{\text{mol.gaz} + \text{mol..su}}$$

Eşitlik 2.3'te geçen ($p \times P_T$) ifadesi kısmi basınçtır. Yine aynı eşitlikte geçen (c) ise, birimi (mol/mol)'den (mg/L)'ye dönüştürüldüğünde, doymunluk konsantrasyonu C_s 'dir. Henry Kanunu çok çeşitli şekillerde ve çok farklı birimlerle ifade edilebilir. Henry sabiti sıcaklığa bağlı olarak değişir (Oksijen (O_2) için 20 °C'de; $H= 43000$ atm, $\Delta H= 1,450$ (kal/mol), $J= 7,11$). Çeşitli sıcaklıklar için Henry sabiti aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir (Duran ve Demirer, 1997).

$$\log H = \frac{-\Delta H}{R_c T} + J \quad (2.4)$$

Burada;

H : Henry sabiti (atm)

ΔH : 1 mol gazın buharlaşması için çözelti tarafından soğrulması gereken ısı (kal/mol)

R_c : Gaz sabiti (1,987 kal/mol)

T : Kelvin cinsinden ısı (°K)

J : Ampirik bir sabit

4.5.1. Akarsuların Atmosferden Oksijen Kazanması

Yan dereler ve yer yüzeyinden akan yağmur suları ile yer altından gelen sular, bol miktarda ihtiva ettiği çözünmüş oksijeni, esas nehir kısmına taşıyarak onun oksijen kaynaklarından biri olurlar. Fakat bir nehirde asıl oksijen kaynağı, sularının doğal yoldan havalanması sayesinde atmosferden sağlanan oksijen ile, su bitkileri ve alglerin fotosentez yoluyla sağladıkları oksijendir. Atmosferden sağlanan oksijen miktarı, çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile, doymunluk konsantrasyonu arasındaki farkla orantılıdır. Fotosentez yoluyla sağlanan oksijen miktarı, alg sayısının ve alglere ulaşan güneş ışığı miktarının bir fonksiyonudur.

Akarsuların doğal arıtma süreçlerini konu alan ilk matematiksel model yaklaşım, 1925'te Streeter ve Phelps tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, akarsudaki biyolojik ayrışma için birinci dereceden bir kinetik reaksiyon önermişlerdir.

Kurdıkları modelde, biyokimyasal olaylar sonucunda suda tüketilen oksijeni sadece k_1 (biyokimyasal reaksiyon hız sabiti), ortamdaki oksijen kazanımını ise sadece k_2 (oksijen kazanma hız sabiti) parametreleriyle ifade ederek, diğer tüm faktörlerin etkilerini ihmal etmişlerdir.

$$dL(t) / dt = -k_1 L(t) \quad (2.5)$$

Burada,

L = t zamanındaki organik madde konsantrasyonu (g BOİ/m³) ,

k_1 = reaksiyon hız sabiti (gün⁻¹) ,

t = zaman (gün) belirtmektedir.

Streeter ve Phelps (1925), bu ilk yaklaşımlarında, reaksiyon hız sabitinin sadece sıcaklığa bağımlı bir doğa sabiti olduğunu düşünmüşlerdir. Ancak daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, bu sabitin akarsudan akarsuya ve hatta bir akarsuyun, çeşitli kesimleri arasında bile büyük değişimler gösterebileceğini ortaya koymuştur. Literatürde verilen sonuçlar, laboratuarda ölçülen hız sabiti, k_1 için 0,035 ile 3,00 (gün⁻¹), doğal arıtımda ölçülen hız sabiti, k_r için ise 0,028 ile 3,00 (gün⁻¹) aralıklarında değerler bulunabileceğini göstermektedir.

Bu farklılıkların nedenleri üzerinde yapılan araştırmalar reaksiyon hız sabitinin sabit bir sıcaklıkta, çeşitli faktörler tarafından etkilendiğini ortaya koymuştur. Bunların başlıcaları, akarsudaki türbülans, başlangıçtaki bakteri konsantrasyonu ve atık sulardaki ayrışabilir organik madde bileşimidir. Diğer yandan, reaksiyon hız sabitinin laboratuarda bulunan değerleri ile doğada yapılan ölçümleri sonucunda elde edilen değerleri arasında da büyük farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Bu farklılığa en önemli neden olarak, askıdaki organik maddenin akarsu tabanına çökerek ortamdan uzaklaşması veya tabanda çökelmiş durumda bulunan organik maddenin yeniden harekete geçerek askı yüküne katılması gösterilmektedir. Söz konusu hız sabitlerinin farkı literatürde $k_3 = k_r - k_1$ olarak tanımlanmaktadır. Yapılan daha ayrıntılı çalışmalar, akarsuda çökme, bazı uçucu organik bileşiklerin su yüzeyinden uzaklaşması, adsorbsiyon, flokleşme, akarsu tabanındaki biyolojik büyüme ve yan kollar etkisiyle seyrelme olaylarının k_3 sabitini büyütücü yönde etki yaptıklarını

göstermektedir. Tabanda birikmiş ayrışabilen organik maddenin yeniden harekete geçmesi, akarsu kıyılarından BOİ girdisi ve boyuna dispersiyonun ise bu sabiti küçülttüğünü ortaya koymuştur.

Bir akarsudaki ÇO konsantrasyonu, doyumluk değerinin altında ise, akarsu doyumluk değerine ulaşmaya kadar oksijen kazanır. Oksijen konsantrasyonunun doyumluk değerinden yüksek olduğu süper-doyumluk durumlarında ise su doyumluk değerine ulaşmaya kadar oksijen kaybeder. Oksijen eksikliği, doyumluk konsantrasyonu ile suda çözünmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonunun farkı olarak tanımlanır. Oksijen tüketimi söz konusu olmadığı zaman, sudaki oksijen eksikliğin zaman içindeki değişimi birinci dereceden bir kinetik bağıntıyla ifade edilebilir (Uslu ve Türkman, 1987).

$$\frac{dc(t)}{dt} = k_2 (c_s - c(t)) = k_2 D(t) \quad (2.6)$$

Burada;

k_2 = Atmosferden oksijen kazanma sabiti, gün^{-1} (e tabanına göre)

C_s = ÇO'nun suda doyum halde bulunduğu zamanki konsantrasyonu, mg/l

C = Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/l

D = t zamanında sudaki oksijen eksikliği (mg/l)

Denklem (2.5)'in $t = 0$ için $L(0) = L_0$ başlangıç koşuluyla çözümü,

$$L = L_0 e^{-k_1 t} \quad (2.7)$$

olarak bulunur. Bu son eşitlikte;

L_0 : başlangıçtaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı (gBOİ/m^3) olmaktadır.

k_2 katsayısı (oksijen kazanma hız sabiti), akarsuyun karakteristikleri yardımıyla bulunabileceği gibi, bazı ampirik formüller ile de tahmin edilebilmektedir. Doğal akarsular için O'Conner ve Dobbins tarafından geliştirilen genelleştirilmiş bir bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$k_2 = \frac{294 (D_L U)^{1/2}}{H^{3/2}} \quad (2.8)$$

Burada;

D_L = Oksijenin moleküler difüzyon katsayısı, m²/gün

U = Ortalama akarsu hızı, m/sn

H = Akımın ortalama derinliği, m

Moleküler difüzyon katsayısının sıcaklıkla değişmesi aşağıdaki yaklaşık ifade ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{L_T} = (1,760)(10^{-4})1,037^{T-20} \quad (2.9)$$

Burada;

D_{L_T} = T °C için oksijenin moleküler difüzyon katsayısı, m²/gün

$(1,760)(10^{-4})$ = Oksijenin 20 °C deki moleküler difüzyon katsayısı, m²/gün

T = Sıcaklık, °C

Akarsulardaki oksijen sarfı ile atmosferden oksijen kazanma olayı beraberce etki ederek ortamdaki oksijen konsantrasyonunun değişimini meydana getirirler. Aynı anda meydana gelen bu iki olay bir denklemde birleştirilerek oksijen eksikliği cinsinden ifade edilirse;

$$\frac{dD(t)}{dt} = k_1 L(t) - k_2 D(t) \quad (2.10)$$

2.10 denkleminde L yerine 2.7 denklemindeki değeri yazılıp entegre edilirse:

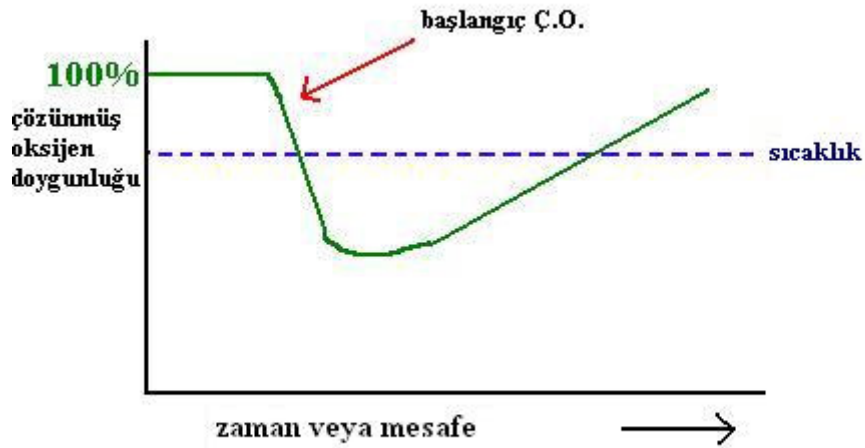
$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 \cdot e^{-k_2 t} \quad (2.11)$$

denklemini elde edilir.

Burada,

D_0 : kirleticinin boşaltıldığı noktada, kirleticinin karışımından önce nehir suyundaki çözünmüş oksijen eksikliğini göstermektedir.

Deşarj noktasından hemen sonraki noktalarda olduğu gibi, oksijen sarfı büyük olursa, çözülmüş oksijen konsantrasyonu düşer (Şekil 2.8). Bu sırada atmosferden temin edilen oksijen miktarı ihtiyacı karşılayamamaktadır. Ayrışma sürdükçe oksijen sarf hızı azalmakta, buna karşın oksijen eksikliği fazla olduğundan oksijen kazanma hızı artmaktadır. Böylece sudaki çözülmüş oksijen miktarı artarak tekrar doygunluk değerine ulaşmaktadır (Karpuzcu, 1994).



Şekil 2.8. Nehir Boyunca Çözülmüş Oksijen Konsantrasyonundaki Değişim
(<http://www.esf.edu/efb/schulz/Limnology/dissolvedgas.html>)

4.5.2. Sediman Oksijen İhtiyacı

Nehirlerdeki su kalitesi, nehir yatağında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerden kuvvetlice etkilenir. Omurgasız populasyon dinamikleri, *Periphyton* gelişimi, sediman üzerine kirleticilerin adsorbsiyonu ve bentik topluluklar tarafından oksijen tüketimini içeren farklı nehir hallerinin çalışılması durumunda, sediman-su etkileşimlerinin iyi anlaşılması önemlidir (Rutherford ve diğ., 1993).

Balık ve diğer sucul organizmaların sağlığı açısından önemli olan çözünmüş oksijenin olası kaynakları, havalanma (atmosferden geçiş) ve fotosentetik üretimi içerir. Potansiyel olarak önemli çözünmüş oksijen azalma süreçleri, su sütunu biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), sediman oksijen ihtiyacı (SOİ), amonyum nitrifikasyonu ve yosun topluluklarının solunumunu içerir (Wang, 1980; Walker and Snodgrass, 1986).

Organik materyalin atık çamur formu olan çökelmiş haldeki atık bileşenleri bentik oksijen ihtiyacına katkıda bulunur. Ancak, önemli miktarda katı deşarjı alamayan ırmaklar ve haliçler yine de kayda değer oksijen tüketim oranlarına ulaşabilir. Bu durum, doğal akışlar yoluyla su içerisine deşarj edilen zararlılardan, doğal olarak oluşan sedimanların kendine çektiği sucul bitkiler, hayvanlar ve çözünebilir organik maddeler tarafından beslenen bir bentik ekosistem nedeniyledir (Truax ve diğ., 1995).

Bir nehir veya gölün sediman/su ara yüzeyinde bir taraftan diğer tarafa difüzyonel kütle transferi, örneğin oksijen, sülfat alımı veya fosfor salınımı, su kolonundaki bir maddenin kütle dengesini kontrol edebilir ve/veya ekosistemi etkileyebilir. Su kolonundan sediman içerisine çözünmüş oksijen (ÇO) geçişi ve sedimandan suya fosfor salınımı iki önemli prosestir, ve pek çok göl ve rezervuardaki su kalitesini etkiler (Higashino ve Stefan, 2005, Wetzel, 1983).

Bentik kalıntıların doğal suların oksijen içeriği üzerine potansiyel olarak önemli etki sahibi olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Belirli bölgelerdeki bentik kalıntılar, nehrin belirli bir kısmındaki toplam oksijen tüketiminin yaklaşık % 50'sinden sorumlu olabilir. Bu tükenme, pek çok araştırmacının bentik oksijen ihtiyacı adı altında tanımlamasına rağmen genellikle 'Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)' olarak gösterilmektedir. Literatürde, bu parametre üzerine araştırmacılar tarafından yapılmış tanımlamalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

SOİ, iki ayrı procesten doğan oksijen ihtiyaını içeren bir terimdir; (1) sedimanda yaşayan tüm organizmaların solunumu, (2) iki değerlikli demir, manganez ve sülfit gibi sedimanda bulunan indirgenmiş maddelerin kimyasal oksidasyonu (Bowman ve Delfino,1980).

Sediman oksijen ihtiyaı, sediman/su arayüzeyinin hemen altında ya da üzerinde oluşan tüm oksijen tüketim proseslerinin bir bileşenidir. Dip sediman yüzeyindeki SOİ'nin büyük çoğunluğu, organik maddelerin biyolojik olarak parçalanması işlemine yürütürken bentik mikroorganizmaların yaptıkları solunum ve bakteriyel yoldan meydana getirilen amonyum nitrifikasyonu nedeniyle oluşur. Alt tabakanın birkaç cm yukarısındaki SOİ, genel olarak demir, mangan ve sülfit gibi türlerin kimyasal oksidasyonu yoluyla baskın olarak ortaya çıkar (Wang, 1980; Walker and Snodgrass, 1986).

SOİ, birbiriyle alakalı pek çok biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşur. SOİ'ye katkıda bulunan öncelikli faktör, iki nehir havzası arasındaki sette organik maddelerin birikimi, sonradan ayrışmaları ve su kolonunda alg büyümesidir. Bu organik madde, sediman-su ara yüzeyinde yada yakınındaki oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları yoluyla ayrışır. Bu reaksiyonlar abiyotik olabilir fakat çoğunlukla mikrobiyal organizmalar tarafından desteklenir. SOİ oranı, sediman tabakası yüzeyi civarında yer alan organik maddenin türü (biyolojik olarak parçalanabilirliği) ve miktarına bağlıdır. Buna ek olarak SOİ, sediman-su ara yüzeyine doğru taşınan nr nitelikteki indirgenmiş organik madde oranına ve su kolonundan sedimana taşınan O oranına da bağlı olabilir (Whittemore, 1986).

SOİ, akarsu, göl veya bir rezervuar gibi doğal su bünyelerinin çözünmüş oksijen dengesinin bir bileşenidir. Diğer bileşenler, biyokimyasal oksijen ihtiyaı (BOİ), su yüzeyinden oksijen değişimi (havalanma), fotosentez, bitki ve hayvanların solunumu ve kimyasal yükseltgenme indirgenme prosesleridir. Akış yoluyla yatay adveksiyon ve dispersiyon da ele alınabilir. Çözünmüş oksijen modelleri, EPA tarafından nehirler için geliştirilen QUAL-2E modeli gibi, bu değişim proseslerinin algoritmalarını kapsar (Higashino ve diğ., 2004).

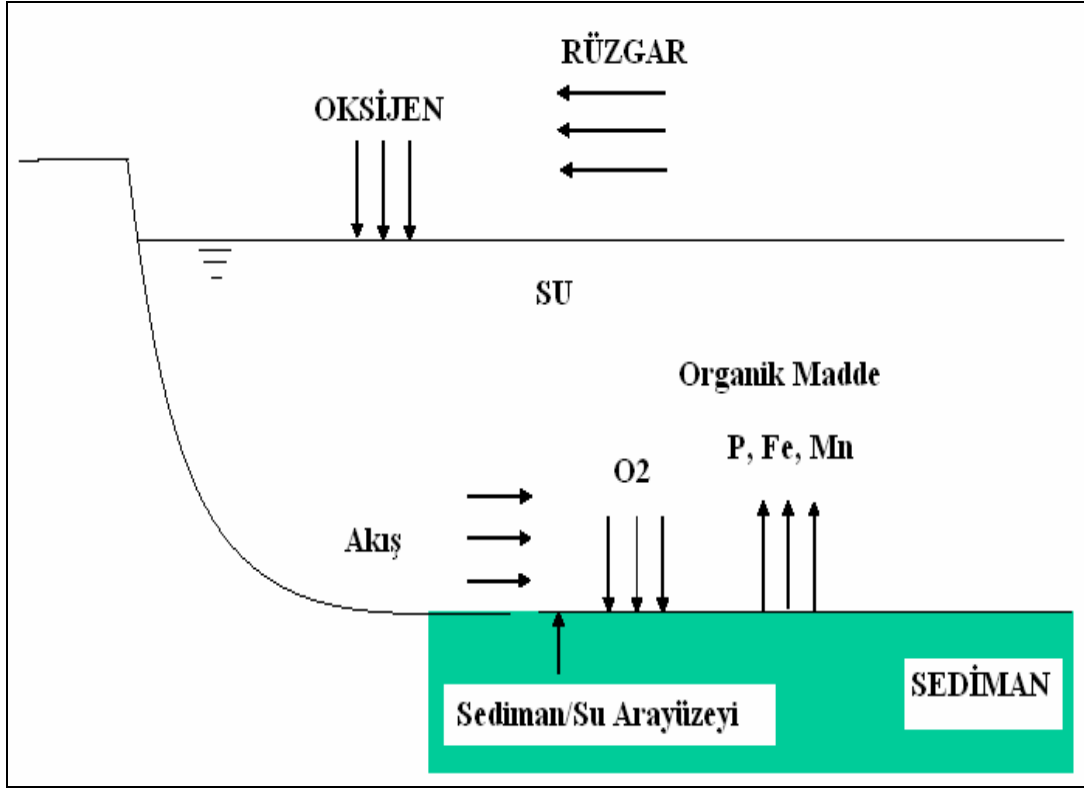
Bir su bünyesinin sayısal olarak modellenmesiyle ilgili girişimlerde, çözünmüş oksijen tüketim oranı, suyun bentik ekosistemi dolayısıyla genel olarak sediman (bentik) oksijen ihtiyacı olarak belirlenir ($\text{gO}_2/\text{m}^2\cdot\text{gün}$). Deneyimler bu parametrenin çözünmüş oksijen için son derece önemli bir azalma olduğunu göstermektedir. Bentik oksijen kullanımını riske atan etkileri ihmal eden su kalite modelleyicileri, nehir ve akarsulardaki su kalite tahminlerinde hataya düşerler. Bu nedenle, SOİ, su bünyeleri için çözünmüş oksijen tahminleri yapılırken önemli bir azalma olarak düşünölmeye başlanmıştır (Truax ve diğ., 1995). Sığ nehirlerdeki bentik metabolizma sucul metabolizmadan fazlasıyla baskındır (Wurhmann, 1972) ve nehir - çözünmüş oksijen modelleri, “sediman oksijen ihtiyacı”nın tahmini üzerine giderek artan bir şekilde odaklanmaktadır (Hatcher, 1986).

Sediman, herhangi biriyle nitelendirebilen; (1) su kolonundaki çözünebilir organik maddeler yoluyla desteklenen bir bentik ekosistem, (2) sucul bitki ve hayvanlardan kaynaklı doğal olarak oluşan sedimanlar ve (3) doğal akışlar nedeniyle su bünyesine deşarj edilen aşınmış jeolojik materyaller vb. yükler dolayısıyla önemli seviyelerde oksijen alım oranları sergiler. Çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının tahmin edilmesi için sayısal modelleme gerekli olduğunda, bentik ekosistem tarafından tüketilen bu çözünmüş oksijen oranı $\text{g O}_2/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ biriminde sediman (bentik) oksijen ihtiyacı (SOİ) olarak tanımlanır (USEPA, 2001).

SOİ, bir su bünyesinin dip kısmında, sediman üzerinde yada içeriğinde kimyasal ve biyolojik oksijen tüketim oranı olarak tanımlanmaktadır (Veenstra ve Nolen, 1991). Sedimandaki oksijen ihtiyacı kaynakları, sediman içerisinde yer alan biyolojik ve kimyasal olarak okside edilebilen organik ve inorganik molekülleri kapsar. Bu moleküllerin kaynakları ise, akarsu kıyılarından gelen kalıntılar, noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan akarsuya karışan kirleticiler ve akarsu biyotasından gelen biyotik kalıntılardır (Matlock ve diğ., 2003).

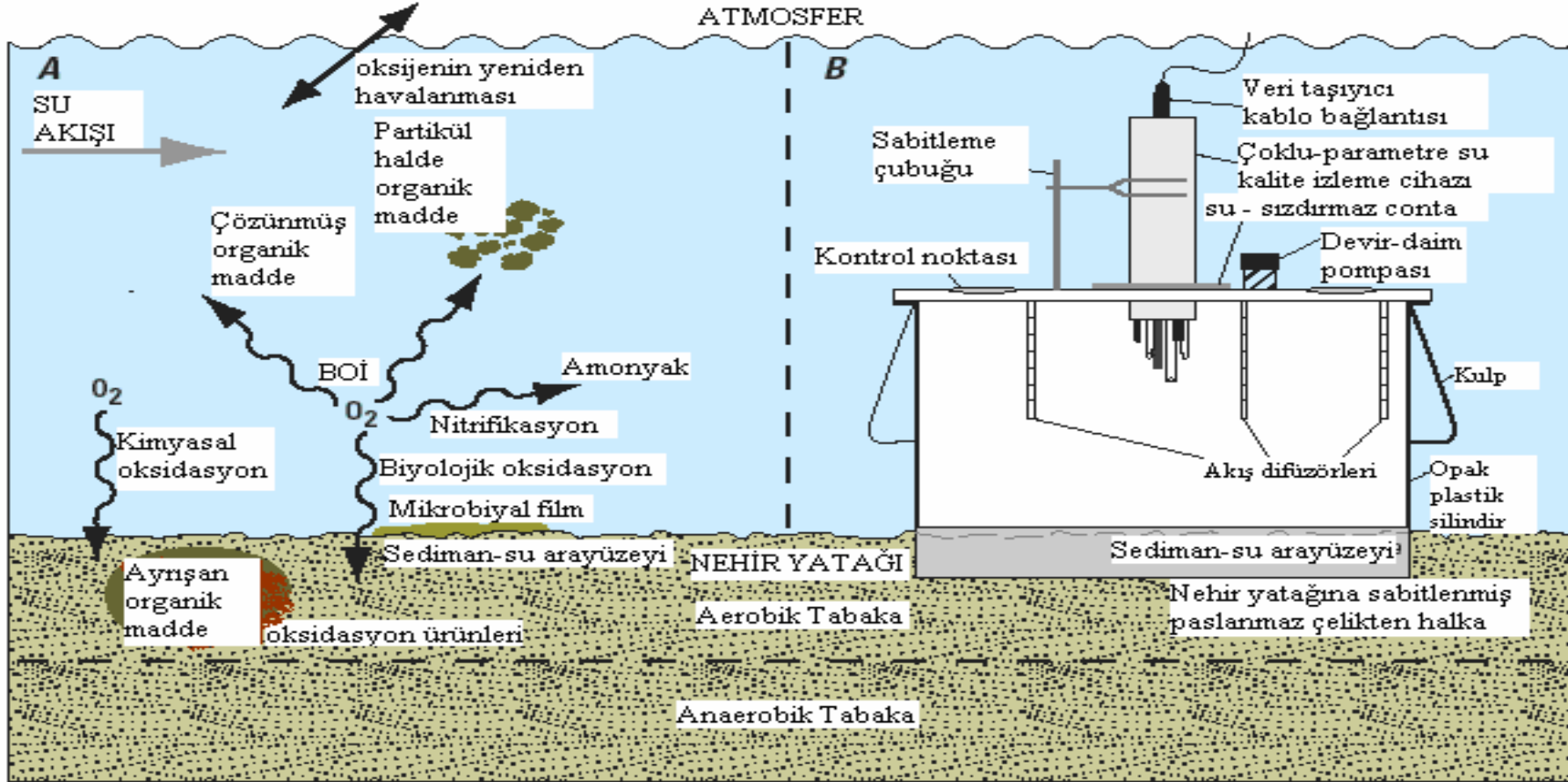
Akarsular ve göllerde çözünmüş oksijen seviyelerini belirlemede SOİ etkin bir faktördür; göllerde, sediman/su ara yüzeyi genellikle yüksek oksijen ihtiyacı sergilerken, nehirlerde de sediman tabakası çözünmüş oksijen konsantrasyonunu önemli miktarlarda etkileyebilmektedir. Tipik olarak, yüksek kum içeriği ile çok az organik madde içeren sedimanlarda çok düşük SOİ oranları ($0,5-1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün } 20^\circ\text{C'de}$) gözlemlenirken, ortalama miktarda organik madde içeren siltli sedimanlarda SOİ oranları ($1-3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün } 20^\circ\text{C'de}$) oluşmakta, bununla birlikte fazla miktarda organik madde ile kirlenmiş alanlarda çok yüksek SOİ oranları bulunabilmektedir. Düşük su yenileyebilme oranlarına sahip su kütlelerinde, çözünmüş oksijen ihtiyacının geniş bir kısmını orta yada yüksek SOİ oranları karşılamaktadır. (Wang, 1980; Rounds ve Doyle, 1997).

SOİ, sedimanın kendi kompozisyonu ile ilişkilidir; organik yönden oldukça zengin sedimanlar genel olarak yüksek SOİ'ye sahiptirler. SOİ modelleri, sedimanların içerisindeki mikrobiyal aktiviteler ve oksidasyon reaksiyonları üzerine odaklanmaktadır. Sedimanların kompozisyonuna, kimyasal ve biyolojik kinetiklerine ek olarak, sedimanlardan suya ÇO temini ciddi boyutlarda "Sarfedilen Gerçek SOİ"yi azaltır. Sediman yüzeyi üzerindeki akış, sediman/su arayüzeyi civarındaki çözünmüş madde konsantrasyon profilinin, sediman yatağı üzerinde akan su ile değişmesi nedeniyle sediman/su arayüzeyinde ÇO, sülfat ya da fosfor gibi dikey yönde difüze olan çözünmüş madde akışlarını etkileyebilir. Deneysel çalışmalar, SOİ'nin, sediman yüzeyi üzerindeki su akış hızına bağlı olduğunu açıkça göstermektedir. Sediman/su arayüzeyi üzerindeki akış, rüzgar veya iç ve dış akışların etkisiyle karşılaşabilir (Şekil 2.9). Sediman yatağı üzerindeki bu akış türbülanslı veya laminardır (Higashino ve Stefan, 2005).



Şekil 2.9. Bir Akarsu/Göl Sediman/Su Arayüzeyinde Difüzyonel Kütle Transferinin Şematik Gösterimi (Higashino ve Stefan, 2005)

SOİ, bazı nehirlerde tipik olarak düşük akış sezonu süresince herhangi bir prosesden daha fazla ÇO kullanan önemli bir ÇO tüketicisi olabilmektedir. Şekil 2.10 (A)'da görüldüğü gibi çözünmüş oksijen, sucul organizmalar, su kolonundaki kimyasal reaksiyonlar ve sedimandaki organik materyallerin ayrışması yoluyla tüketilir. Özellikle, sıcak yaz ayları boyunca (düşük-akış periyodu) sucul organizmaların sağlığını tehlikeye atabilecek derecede ÇO konsantrasyonunun düşmesine neden olan atmosferden ya da fotosentez yoluyla yeniden stoklanması oksijen tüketimi aşırı bir hıza ulaşabilir. Buna karşın, bir nehirdeki periyodik düşük ÇO seviyelerine yol açan proseslerin anlaşılması için nehirdeki SOİ oranlarının miktarı ve ölçümündeki hatalar önemlidir (Doyle ve Rounds, 2003).



Şekil 2.10. SOİ Prosesleri (A) ve Nehir Yatağına Yerleştirilen SOİ Çemberinin Kesitsel Görünümü (B)
(Doyle ve Rounds, 2003).

4.5.3. Sediman Oksijen İhtiyacını Etkileyen Faktörler

Literatürde, sediman tarafından tüketilen oksijeni etkileyen çeşitli faktörler çok iyi bir şekilde kaydedilmiştir. Pek çok çalışmaya rağmen yine de, SOİ üzerine bu faktörlerin etkileri hakkında önemli tartışmalar halen mevcuttur. Bu faktörlerin bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- **Çamur Derinliği :** Fair ve diğ., (1941) tarafından yapılan ilk çalışma, çamur derinliğinin SOİ'yi etkilediğini göstermiştir. Daha sonra araştırmacılar, genel olarak belirli sınırlar içinde SOİ'nin çamur derinliğinden bağımsız olduğunu rapor etmişlerdir (McKeown ve diğ., 1968; Fillos ve Molof, 1972; Edwards ve Rolley, 1965; Pamatmat ve diğ., 1973; Martin ve Bella, 1971; McDonnell ve Hall, 1969).
- **Oksijen Konsantrasyonu :** Pek çok araştırmacı, SOİ'nin yaklaşık 3-8 mg/l ÇO aralığında, yüzeyi kaplayan sudaki ÇO konsantrasyonundan bağımsız olduğunu kabul etmiştir (McKeown ve diğ., 1968; Edwards ve Rolley, 1965; Pamatmat ve diğ., 1973; Martin ve Bella, 1971; Knowles ve diğ., 1962).
- **Sedimanın Yeniden Tutunması:** Özellikle, bu faktör üzerine yorum yapan tüm araştırmacılar, sedimanın yeniden tutunmasıyla SOİ'nin arttığını gözlemlemişlerdir (Butts, 1974; Martin ve Bella, 1971; Baumgartner ve Palotas, 1970). James (1974), su hızının artmasıyla oksijen tüketiminde doğrusal bir artış olduğunu bulmuştur. Daha yüksek hızlarla birlikte artış oranı üstel olmaya başlar. Bu etki, yüzey alanının artmasına yol açan sedimanın yeniden tutunmasının artması neticesidir.
- **Fotosentetik Aktivite:** Çoğu araştırmacı, fotosentez ve solunumun SOİ üzerinde potansiyel bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin, Lucas ve Thomas (1972), bentik alglerin nüfuz eden ışık arttığı zaman gün boyunca SOİ'yi dengeleyebildiğini rapor etmişlerdir. Hatta, ölçülen SOİ'nin bir

kısının ortamda yaşayan alglerin solunumu neticesinde oluştuğunu belirtmişlerdir.

- **Omurgasız Aktivitesi:** Edwards ve Rolley (1965), McDonnell ve Hall (1969) ile Teal ve Kanwisher (1961), omurgasız solunumunun SOİ'yi önemli derecede arttırdığını bulmuşlardır.
- **Tuzluluk:** Baumgartner ve Palotas (1970) belirgin bir artıştan söz etmezken Hanes ve White (1968) açık bir şekilde artan tuzlulukla birlikte SOİ'deki artışı gözlemlemişlerdir.
- **pH:** McKeown ve diğ., (1968) çamur pH'sının nötral pH değerine ayarlanmasıyla SOİ'de önemli bir değişim olduğunu bulmuşlardır. Diğer araştırmacılar, benzer bulguları açıkça belirtmemişlerdir.
- **Kimyasal Oksijen İhtiyacı:** Biyolojik solunum ve KOİ arasındaki etkileşimi göz önünde tutmadan SOİ'yi hesaplamak zordur. Smith ve ark. (1972), Hargrave (1972), Martin ve Bella (1971), Teal ve Kanwisher (1961), Neame (1975), Sonzogni ve diğ., (1977), Brewer ve diğ., (1977), Pamatmat (1971) ve Wang (1979) inhibitörsüz sistemlerde toplam oksijen ihtiyacı ölçülürken biyolojik olmayan (kimyasal) oksijen ihtiyacını ölçmek amacıyla bakteriyel inhibitörler kullanmışlardır.
- **Sıcaklık:** Literatürde SOİ üzerine sıcaklığın etkisi iyi bir şekilde kaydedilmiştir. Sıcaklıktaki artışlar, daha yüksek SOİ oranları meydana getiren bakteriyel solunumun artan oranıyla sonuçlanır.

SOİ oranları, laboratuvar ortamında veya yerinde (*in situ*) ölçülebilir. Laboratuvar metodu, dip sedimanın toplanması ve bunu takiben kontrol altındaki laboratuvar çevresinde SOİ ölçümünü içerir. Bu metodun bazı destekçileri, laboratuvar ölçümlerini, tekrar deney olanağını kolaylaştırması, sıcaklık değişimi, besi maddesi ve metal salınması gibi dikkate alınabilecek ilave faktörlere izin vermesi nedeniyle

tercih ederler (Longaker ve Poppe, 1986). Bu metodun öncelikli dezavantajlarından biri, laboratuvar deneylerinin sedimanın dağılıp karışmasıyla sonuçlandığı su bünyesinden dip sedimanın taşınmasıdır. Oksijen ihtiyacının yüksekliği, tersinir olmayan bu bozucu etki tarafından değiştirilebilir (Whittemore, 1986). Yerinde ölçüm metodu ise, su bünyesinden doğrudan yerinde verilerin toplanmasını içerir. Her iki metodun avantajları ve dezavantajları olmasına rağmen yerinde ölçüm tekniği, dip sediman tabakalarının ve ilgili biyolojik toplulukların dağılıp karışmasını minimize etmesi sebebiyle SOİ ölçümü için en iyi yaklaşım olarak görünmektedir. Yerinde ölçüm metodu, SOİ ölçümü için çok doğru yöntem olabilirken ölçümün sonuçlanması için önemli bir zaman zarfı, özel ekipman ve arazi ekibi için eğitim gerektirir (Doyle ve Rounds, 2003; Hatcher, 1986).



Şekil 2.11. Sediman Oksijen İhtiyacının Yerinde Ölçümü için Yapılan Örnek Bir Çalışma (Doyle ve Rounds, 2003)

‘Yerinde’ ve ‘Laboratuvar’da oksijen tüketiminin belirlenmesine yönelik metotları içeren SOİ ölçümü üzerine kurulan bu iki yaklaşım, Truax ve diğ., (1995) tarafından incelenmiştir. Her iki yaklaşım için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Genel olarak, her iki metot için aynı teknikler uygulanmasına rağmen, yerinde ölçüm metotları laboratuvar ölçümlerinden çok daha güvenilir olarak düşünülmektedir.

Belirli bir miktarda sediman, hacmi bilinen su ile birlikte SOİ ölçüm düzeneğine (silindirik, dikdörtgen vb. biçimlerde) yerleştirilir ve zamana karşı oksijen tüketimi ölçülür. SOİ oranı, çevrelenmiş sediman alanına, ölçüm düzeneği içerisindeki suyun hacmine ve tüketim oranına dayanılarak sonradan hesaplanır.

Yerinde SOİ ölçüm metoduna yönelik çalışmalardan biri, Uchirin ve Ahlert (1985) tarafından tanımlanmıştır. Silindirik bir respirometre, kendinden karıştırma mekanizmalı bir çözünmüş oksijen probu ve bir çözünmüş oksijen-metre kullanıldığı araştırmada, toplam ÇO tüketimi üzerine solunumun etkisini belirlemek amacıyla laboratuarda Winkler metodundan yararlanılmasının yanında eş zamanlı olarak ÇO probu/metre kullanılarak çevresel ÇO ölçülmüştür. Respirometre, su bünyesinin dip seviyesinde bir alana yerleştirilmiş ve sonradan SOİ oranının belirlenebilmesi için başlangıç ve 15 dakika aralıklarla ÇO değerleri kaydedilmiştir (USEPA, 2001).

SOİ önemli bir parametre olmasına rağmen değerlendirme yapabilmek için kabul edilmiş bir standart metodu yoktur. Bununla birlikte, literatürde mevcut çeşitli çalışmalar ve laboratuvar ortamında elde edilen verilere dayanarak, standardize edilmiş SOİ ölçümlerine önder olabilecek şekilde geliştirilmiş güvenilir bir yöntem bilimin var olduğu önerilebilmektedir. Literatürde yer alan pek çok SOİ metodu aşağıda değerlendirilmektedir.

4.5.4. Sediman Oksijen İhtiyacı Ölçüm Metotları

SOİ'yi değerlendirmek amacıyla pek çok araştırmacı tarafından kullanılan analitik sistemler ve teknikleri aşağıdaki gibi uygun bir biçimde sınıflandırmak mümkündür;

1. Kesikli (Batch)
2. Sürekli Akış
3. Manometrik
4. Elektrolitik
5. Dehidrojenez Aktivitesi

4.5.4.1. Kesikli Sistem

Bu sistemler, yüzey alanı ve üzerindeki suyun hacmi bilinen sedimanı içeren contalı ölçüm odalarından oluşur. Ölçüm odası içerisindeki bu suyun devir-daimi sağlanarak çözünmüş oksijen eğilimi izlenir. Zamana karşı azalan ÇO sonuçları, her sediman birim alanı oksijen ihtiyacı olarak ifade edilen SOİ'yi hesaplamak için kullanılır.

Kesikli sistemler, hem yerinde hem de laboratuvar ortamında sınıflandırılabilir. Yerinde teknikler, çevresel koşullar altında arazide yapılan direk ölçümlerdir. Tipik olarak, yerinde kullanılan ölçüm odaları, dikine kesilmiş bir kenarla dibe doğru açık ve dışa doğru flanşlarla bağlantılıdır. Bu ölçüm odası, sediman üzerine bırakılır ve sediman içerisine nüfuz etmesi sağlanır. Kesikli sistem ölçüm odaları pek çok şekilde yapılabilmektedir; Kare, dikdörtgen biçiminde, silindirik ve bu biçimlerin her birinin farklı uygulamalarını görmek mümkündür. Bu ölçüm odalarının kapasiteleri 0,1 L'den 125 L'ye kadar değişim gösterebilir. Kesikli sistem ölçüm odaları genellikle, pleksiglas, akrilik plastik, fiberglas ve perspex gibi sentetik materyallerden yapılır. Bazı ölçüm odaları metal ya da camdan imal edilebilir.

Laboratuvar SOİ ölçümleri çoğunlukla sediman kolon örnekleri üzerinden yapılmaktadır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar, Eckman örnekleyici ile aldıkları taranmış örnekleri kullanarak SOİ ölçümlerini yapmaktadırlar (Bowman ve Delfino, 1980; Brewer ve diğ., 1977). Dağılmamış sediman kolon örnekleri çeşitli örnekleme aletleri yardımıyla alınabilmektedir. Bunlar arasında; Jenkins (Hayes ve MacAulay, 1959), Kojak (Edberg ve Hofsten, 1973), K-B (Lasenby, 1975), yerçekimine dayalı fabrikasyon kolon örnekleyiciler (Nolan, 1977; Nolan ve Johnson, 1978; Pamatmat, 1971; Sullivan ve diğ., 1978) ve SCUBA ekipmanı (Neame, 1975) yer almaktadır.

Pek çok ölçüm odası içerisindeki suyun devir-daimi ya bir (içten) karıştırma aleti ya da çözünmüş oksijenin uniform dağılımını sağlayacak (dıştan) bir pompa yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, Lasenby (1975) ve Sonzogni ve diğ., (1977) statik sistemleri kullanan birkaç araştırmacı arasındadır. ÇO ölçümleri, sürekli yada periyodik veya her bir SOİ ölçümünün başında ve sonunda yapılmıştır. Bazı

araştırmacıların Winkler titrasyon tekniğini kullanmasına rağmen ÇO konsantrasyonlarını izlemede ÇO probu daha etkin bir metot olmuştur (APHA, 1995).

4.5.4.2. Sürekli Akış Sistemi

Sürekli akış sistemleri, yüzey alanı bilinen bir sedimanı içeren ve sediman üzerine sürekli olarak iyi-havalandırılmış suyun düzenli akışını sağlayan açık uçlu sistemlerdir (Şekil 2.11). Giriş ve çıkış suyunda ölçülen ÇO konsantrasyonları arasındaki fark SOI'nin hesaplanmasında kullanılır.

Sürekli akış cihazları, sediman üzerine oturtulmuş kesikli reaktörlerle mümkün olmayan uzun dönemli deneysel çalışmalar için kullanılmaktadır. Buna ek olarak, pek çok araştırmacı akan suyun koşullarını en iyi yansıtan tekniğin sürekli akış sistemleri olduğunu savunur (Bradley ve James, 1968; James, 1974; Oldaker ve diğ., 1968; Mueller ve Su, 1972; Fillos ve Molof, 1972; Lee ve diğ., 2000).

4.5.4.3. Manometrik Sistem

Manometrik teknikler, sabit sıcaklık ve hacimde, basınç değişimlerinin izlenmesiyle ölçülebilen gaz miktarındaki değişimleri gözlemlene prensibine dayanır. Sıcaklık, akışkanın hacmi ve gazın şekli değişim göstermeye başladığında ve manometredeki akışkanın yoğunluğu bilindiğinde tüketilen gaz miktarı hesaplanabilir (Umbreit ve diğ., 1964).

4.5.4.4. Elektrolitik Sistem

Elektrolitik oksijen tüketim oranı ölçüm teknikleri, elektrolize dayalı manometrik yöntemle göre işler. Bu sistem sürekli olarak, manometrik yoldan kontrol edilen bir elektroliz reaksiyonu ile sediman tarafından kullanılan oksijenin yerini alır. Sediman alanından toplanan suyun ilave edilmesiyle birlikte sediman örneği elektroliz hücresinin dip kısmında yer alabilir. Hücresinin tepesinde küçük bir

4.5.4.5. Dehidrojenez Aktivitesi Sistemi

Anaerobik bentik metabolizmanın tayini için sedimanda dehidrojenez aktivitesi ölçülebilir. Dehidrojenez aktivitesi metodu doğrudan mikro-kalorimetri yoluyla kalibre edilebilir ve sonuçlar metabolik ısı salınımına dönüştürülür. Bu metabolik ısı salınımının sonradan oksijen tüketimi ile karşılıklı ilişkisi tespit edilir. (Pamatmat ve Bhagwat, 1973). Pek çok araştırmacı tarafından yerinde/laboratuarda SOİ belirlemek amacıyla uyguladıkları sistemlerden bazıları Tablo 2.11’de listelenmektedir.

Tablo 2.11. SOİ Tayini için Araştırmacılar Tarafından Kullanılan Yerinde (Yer) /Laboratuvar (Lab) Sistemleri

Kesikli Sistem Bradley ve James (1968) (Yer/Lab) Brewer ve ark. (1977) (Lab) Butts ve Evans (1977-78) (Yer) Edberg ve Hofsten (1973) (Lab) Hanes ve White (1968) (Lab) Institute of Paper Chemistry (1976) (Yer) James (1974) (Yer/Lab) Lasenby (1975) (Lab) Lucas ve Thomas (1972) (Yer) Martin ve Bela (1971) (Lab) McKeown ve ark. (1968) (Lab) Neame (1975) (Lab) Nolan (1977) (Yer/Lab) Nolan ve Johnson (1978) (Lab) Pamatmat ve diğ. (1973) (Yer/Lab) Smith ve diğ. (1972) (Yer) Sonzogni ve diğ. (1977) (Yer) Sullivan ve ark. (1978) (Yer/Lab) Thomas (1970) (Yer) USEPA (1976) (Yer/Lab) Wang (1980) (Lab) Sommaruga, 1991 (Yer) Doyle ve Rounds, 2003 (Yer) Wood, 2001 (Yer) Matlock ve diğ., 2003 (Yer/Lab)	Sürekli Akış Sistemi Bradley ve James (1968) (Yer) Fillos ve Molof (1972) (Lab) James (1974) (Yer) McKeown ve ark. (1968) (Lab) Mueller ve Su (1972) (Lab) Ogunrombi ve Dobbins (1970) (Lab) Oldaker ve ark. (1968) (Lab) Lee ve diğ., 2000 (Yer)
	Manometrik Sistem Baumgartner ve Palotas (1970) Gardner ve Lee (1965) Liu (1973)
	Elektrolitik Sistem Reynolds ve ark. (1973)
	Dehidrojenez Aktivitesi Sistemi Lenhard ve DuPlooy (1965) Pamatmat ve ark. (1973) (Yer/Lab)

4. MATERYAL VE METOT

Bir sistemin sediman tabakası, yüzey sedimanlarında gerekli jeokimyasal ölçümler yapılırsa ve daha sonra bu ölçümler belirli metotlarla değerlendirilirse, o sistemin çevresel durumunu yansıtır. Gerçekte, sediman-su etkileşimleri çok karışık, yorumlanması oldukça güçtür ve sediman tabakasındaki ve sediman-su arayüzeyindeki çeşitli redoksa bağlı süreçler nedeniyle ayrıntılı olarak açıklanamamaktadır (Bakan ve Balkaş, 1997). Bununla birlikte, sediman ve onun yüzeyini kaplayan su arasında meydana gelen materyal değişimi, su kalite yönetim çalışmalarında ve özellikle besin maddesi akımlarının hesaplanmasında önemlidir. Sediman-su etkileşimleri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerin kompleks bir sonucudur (Lijklema, 1993).

Bu araştırma ile birlikte Kızılırmak'ta, su ve sediman örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri ile bütünleştirilen 'Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)' belirleme çalışmaları ilk kez uygulanmıştır.

4.1. Çalışma Alanı

Kızılırmak, İç Anadolu'da Sivas-Kızılbaş'dan kaynağını almakta, yaklaşık 1.355 km yol kat ederek Samsun'un Bafra ilçesinde Karadeniz'e dökülmektedir. 78.646 km² drenaj alanına sahip olan Kızılırmak ortalama 185 m³/sn akım değerine sahiptir ve Karadeniz'e yılda ortalama 831 milyon m³ su taşımaktadır (Şekil 3.1). 1962-1973 yılları arasında Bafra Çetinkaya köprüsünden alınan 300'den fazla tortu örneğinden elde edilen sonuçlara göre, Kızılırmak'ın ortalama olarak % 26 kum, % 74 kil ve silt taşıdığı, deltanın kuzeyinde bulunan ince kum, kum, silt ve siltli kum aralanmalarından oluşan tipik delta ve deniz kıyısı çökellerinin Kuaternere ait olduğu ve burada zeminden alınan örneklerin % 20-72 silt ve % 28-80 kum ihtiva ettiği tespit edilmiştir (DSİ, 1986).

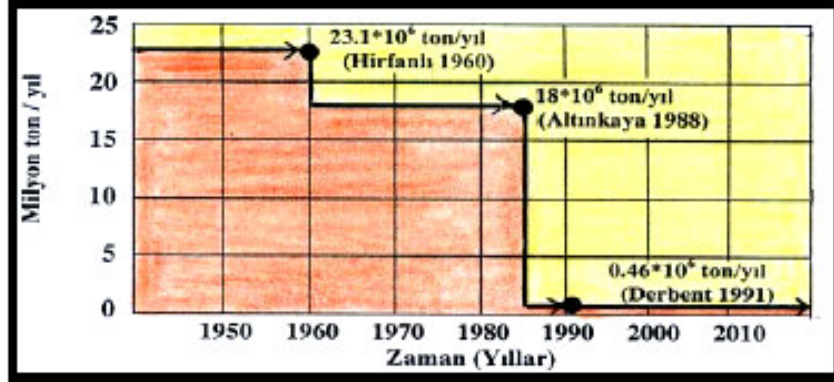


Şekil 3.1. Araştırma Sahasının Bölgesel Haritası ve Uydu Görüntüsü
(Yılmaz C., 2005; URL: <http://dl.google.com/earth/GoogleEarth>).

Kızılırmak nehrinin taşıdığı alüvyonların oluşturduğu Bafra Ovası'nın üzerinde bulunduğu Kızılırmak Deltası (delta alanı: 56000 ha, sulak alanlar: 16110 ha, koordinatlar: 41° 30' Kuzey-36° 05' Doğu), ülkemizin Karadeniz kıyısındaki doğal özelliklerini koruyabilmiş en büyük ve en verimli sulak alanıdır.

Kızılırmak üzerinde kaynağından mansabına doğru bitmiş veya inşa halinde 12 önemli baraj vardır. Bunlar sırasıyla; İmranlı, Yamula, Bayramhacılı, Hirfanlı, Kesikköprü, Kapulukaya, Buğra, Obruk, Dutludere, Boyabat, Altinkaya ve Derbent'dir. Adı geçen bu barajların zamanla devreye girmesi ile Karadeniz'e ulaşan malzeme miktarı % 98 azalmıştır. Bunlar içinde en önemli rolü 1987'de inşaatı tamamlanarak su tutmaya başlayan Altinkaya Barajı oynamıştır. DSİ tarafından yapılan bir araştırmada, Kızılırmak'ın 50 yılda Altinkaya Barajı gölüne getireceği yıllık tortu miktarının yaklaşık (taban süprüntüsü olarak askıdaki tortunun % 20'si de

dahil) 38.6 milyon m³ olacağı hesaplanmıştır (Şekil 3.2). Altinkaya'nın ardından 1991'de Derbent Barajı'nın da tamamlanarak su tutmaya başlaması ile, Karadeniz'e ulaşan alüvyon miktarı giderek azalmış ve deltanın büyümesi durmuştur (Yılmaz C., 2005; Asan ve diğ., 2002).



Şekil 3.2. 1960 Yılından İtibaren Barajların İnşası ile Karadeniz'e Ulaşan Malzeme Akışındaki Azalma Miktarı (Savran S. ve Otay E. N., 2002)

Altinkaya ve Derbent Barajlarının yapılmasından sonra deltaya malzeme taşınmasının durması sebebiyle ova sahilinde önemli boyutta kıyı erozyonu meydana gelmiştir. Erozyonun, doğu-batı istikametinde yer alan kuşaklama kanalını (BDT-1) tehdit etmesi sebebiyle Kızılırmak'ın ağzında iki adet olmak üzere doğuya doğru 9 adet mahmuz inşa edilmiştir. Böylece kıyı erozyonunun önüne geçilmiş, deniz oyuntusu ile kaybedilen arazi tekrar geri kazanılarak kuşaklama kanalı emniyete alınmıştır.

Genel jeolojik yapı ince ve iri taneli kum ağırlıklı olduğu için, ırmağın getirdiği malzemenin bir kısmı da, Bafra şehir merkezi civarında Kızılırmak nehri kıyısında kurulmuş bulunan beton-inşaat şantiyeleri tarafından hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu son durum nehirdeki dengeyi olumsuz yönde etkileyerek gelecekte deniz suyunun nehir yatağına karışmasında etkili olabileceği varsayımını gündeme getirmiştir (Şekil 3.3a-b). 1986'da projesi yapılarak 1991'de inşaatına başlanan Boyabat Barajı'nın yapım çalışmaları devam etmekte olup bu baraj bitiğinde ve su tutmaya başladığında günümüzde 118.3 km² alan kaplayan Altinkaya baraj gölünde birikmekte olan alüvyal malzemenin, Gökırmak üzerinden gelen kısmı hariç, tamamına yakını bu baraj gölünde birikmeye başlayacaktır (Yılmaz C., 2005).



Şekil (Fotoğraf) 3.3a. Kızılırmak Yatağındaki Malzemeyi Kullanan Beton-İnşaat Şantiyelerinden Biri



Şekil (Fotoğraf) 3.3b. Kızılırmak Yatağından İnşaat Materyali Çekilmesi Sonucu Kıyı Erozyonuna Maruz Kalan İstasyon Noktalarından Biri (N4)

Sonbahar ve kış mevsimlerinde düşen yağışlar nedeniyle doymuş duruma gelen toprak yüzeyinde yer yer göllenmeler olmaktadır. Ovada drenaj problemini yaratan temel unsur yağışlardır. Buna ek olarak yamaç suları, akarsu ve dereler, taşkınlar ve sulamalar da drenaj problemini bir oranda artırmaktadır. Yetersiz drenaj verim azalmasına neden olduğu gibi toprakta çoraklık da meydana getirmektedir.

Ovada tuzluluk problemi olan topraklar genellikle 2 m kotu civarı ile bunun altında kalan alanlardadır. Bu kısımlar yılın büyük bir bölümünde yüzeye kadar yükselen ve denize bağlantılı olan yüksek derecede tuz ve sodyum içeren taban suyu ile doymuş halde kalmaktadır.

Kızılırmak deltası barındırdığı sulakalanlar ve verimli toprakları nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Göl, bataklık ve sazlıklardan oluşan sulakalanlara son yıllara kadar pek önem verilmediği gibi kurutulması yönünde çalışmalar yapılmıştır. Ancak sulakalanların da birçok faydalarının olduğunun anlaşılması ve bu alanların korunması yönündeki bilincin gelişmesi sulakalan ekosistemi içeren alanlardaki çalışmaları artırmıştır (Işık ve diğ., 1999).

4.1.1. Örneklem Noktalarının Seçimi

Bu tez çalışması kapsamında, çalışma alanında belirlenen 9 örneklem istasyonundan, 2004-2005 yılları arasında dört mevsim (Ekim 2004, Şubat 2005, Nisan 2005 ve Temmuz 2005) arazi çalışması yapılmıştır. Bölge şartlarının yerinde izlenmesi ve örneklem noktalarının sediman/su kalite değişimlerini en iyi yansıtabilecek şekilde seçilebilmesi amacıyla Temmuz 2004'te bölgeye gidilerek ilk incelemeler yapılmıştır. Bu tarihte örneklem noktalarından yalnızca yüzey suyu örnekleri alınmıştır. Sediman tabakasındaki ve su kütlesindeki değişimi ve taşınımı mevsimlere göre izlemek amacıyla, her örneklem noktasından 4 kez olmak üzere su ve sediman örneklerinin alınması, yerinde zaman kaybetmeden yapılan ölçümleri (sıcaklık, ÇO, pH vb.) takiben örneklerin laboratuvar analizleri için laboratuvar ortamına taşınması ile arazi çalışmaları tamamlanmıştır.

Sediman örnekleri, nehrin genişliğine bağlı olarak nehir enkesitinin genellikle iki noktasından alınmıştır. Su örnekleri ise nehir enkesitinin genellikle 3 noktasından kompozit şeklinde alınmıştır. Büyük debi ve su hızıyla (ortalama 1 m/sn) akan Kızılırmak'tan su ve sediman örnek alma koşullarının zaman zaman güç olması nedeniyle bazı noktalardan kompozit olarak örnek alınamamıştır. Sediman örneklerinin alınmasında kullanılan Birge-Eckman grab sediman örnek alıcısı (Şekil 3.4) ve su örneklerinin alınmasında kullanılan Nansen Şişesinin (Şekil 3.5) belirlenen her noktada aktif olarak kullanılabilmesi için nehir üzerinde yer alan geçit ya da köprü gibi yapılar üzerinden örnekler alınmıştır.



Şekil (Fotoğraf) 3.4. Çalışma Süresince Kullanılan Birge-Eckman Grab Sediman Örnek Alıcısı

Örnekleme noktalarının seçiminde evsel ve endüstriyel yerleşim alanları ve bunların atık boşaltım yerleri, nehre karışan yan kollar ve örneğin o noktadaki sediman ve su niteliğini taşıyor olması göz önüne alınmıştır. Kızılırmak'ta sediman ve su analizleri için seçilen örnekleme noktalarının özellikleri Tablo 3.1'de çalışma alanındaki konumları ise Şekil 3.6'te belirtilmiştir.



Şekil (Fotoğraf) 3.5. Çalışma Süresince Kullanılan Nansen Şişesi (TPN-Su Örnekleyici HYDRO-BIOS KIEL)

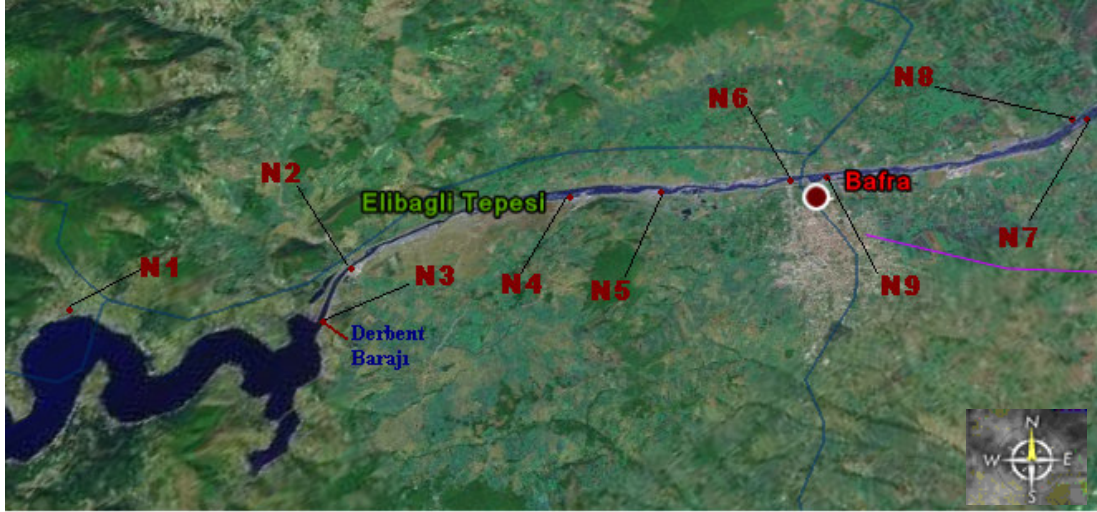
Tablo 3.1. Araştırma Kapsamında Belirlenen Örneklem İstasyonları

Örneklem Noktası	Açıklama
N1	Kolay Beldesi, Derbent Baraj Gölü kıyısı, İlçe merkezinden güneye doğru 21. km'de. Dalgalanma nedeniyle zaman zaman oldukça bulanık.
N2	Derbent Barajından sonraki ilk köprü, Boğazkaya'ya geçiş için kullanılmakta, 11. km'de. Su derinliği nehir yatağının çukurlaştığı bölgede yaklaşık 2,5m, su hızı ortalama 1,2 m/sn.
N3	Derbent Barajı önü, 10. km'de, su hızının yüksek oluşu nedeniyle sediman örnekleri suyun durgunlaştığı bölgeden alınmıştır.

Tablo. 3.1. (Devamı)

N4	Akış yönünde, yoğun şantiye bölgesi, 7. km'de. Örnekler nehrin sadece bir tarafından alınabilmiştir. Sediman örnek alıcısının kullanılmadığı noktalar arasındadır.
N5	Akış yönünde, düzensiz çöp depolama sahasına yakın bölgede. 4. km'de. Çakıl tesislerinin yarattığı gözle görülür bir hurda kirliliği mevcut.
N6	Bafra Çetinkaya Köprüsü. İlçe merkezi 1. km'de. Nehir suyunun havalandırılması amaçlı bir taş-kayalardan oluşturulmuş bir set ve köprü ayaklarına yakın bölgede nehir yatağından ayrılmış kumul bölgeler mevcut.
N7	8 nolu örnekleme noktasının 50 m kadar doğusunda nehir yatağının çukurlaştığı ve daraldığı, su hızının yaklaşık 1,1 m/sn olduğu, sediman örneklerinin alınmasını güçleştiren bataklık sazları ile kaplanmış bir bölgede.
N8	Sulama suyu olarak kullanılmak üzere, nehir yatağından setler çekilerek ayrılmış ve suyun durgunlaştırıldığı, 6 nolu örnekleme noktasının 11 km kuzeyinde sol kol üzerinde.
N9	Bafra Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının nehre verildiği noktadan 20 m ileride, 6 nolu örnekleme noktasından 200 m sağ kol üzerinde.

Su kalitesi için sonuçları değerlendirebilecek ulusal ve/veya uluslararası kriter ve standartlar mevcut olmasına rağmen, sediman kalitesi için henüz standart ve kriter çalışmaları, gelişmiş bazı ülkelerde (Kanada ve Amerika vb.) devam etmekte olup bu tür problemler, mevcut yapılmış veya yapılmakta olan sediman ölçümlerinin yapılması ve verilerinin karşılaştırılıp değerlendirilmesinde güçlük yaratmaktadır.



Şekil 3.6. Kızılırmak Çalışma Alanı Örnekleme İstasyonları

4.2. Yüzey Suyu Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Sediman örnekleri ile eş zamanlı alınan yüzey suyu örnekleri, her örnekleme istasyonunda karışımın en iyi olduğu en az iki noktadan kompozit olarak örneklenmiştir. Örnekleme için çalışmada kullanılan Nansen şişesinin (Şekil 3.5) uygulama koşullarının uygun olmadığı durumlarda, daha önceden sterilize edilmiş olan koyu renkli-cam şişelerle doğrudan örnekleme yapılmıştır. Yerinde ve anlık olarak ölçüm yapabilmeyi mümkün kılan CONSORT C535 model taşınabilir çoklu parametre ölçüm cihazı ile aşağıdaki parametreler her noktada ölçülmüştür: sıcaklık (0...100 °C), pH (0...14 pH, 0.01 pH duyarlılığında), Çözünmüş oksijen (ÇÖ, 0...20 mg/l, % 0...200, 0.05 ppm/ % 0.5 duyarlılığında), redoks potansiyeli (± 1100 mV, 1 mV duyarlılığında), iletkenlik (0...1000 mS/cm) ve tuzluluk (0...200 g/L). Yüzey suyu örnekleri, şişelere, nehir kenarından en az 1 m içeride ağzı açık baş aşağı tutularak suya daldırılıp, yüzeyden yaklaşık 50 cm derinlikte ters çevrilerek doldurulmuş ve hava ile teması kalmayacak şekilde sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra örnekler niteliklerinin bozulmaması için buzluklar içerisinde +4 °C'de saklanarak laboratuara getirilmiştir.

Laboratuara getirilen örneklerde, BOİ₅ (Winkler Titration Metodu ile), KOİ (Dikromat Refluks Metodu ile), Toplam fosfor, AKM, TÇKM, sülfat ve klorür iyonu

tainleri yapılmıştır. Toplam fosfor ve sülfat iyonu spektrofotometrik olarak tayin edilmiş ve kalibrasyon grafikleri EK B’de verilmiştir. Tüm yüzey suyu analizleri Standart Metotlara (APHA, AWWA, 1995) göre yapılmıştır.

4.3. Sediman Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Sediman örnekleyicisi olarak bu araştırmada kullanılan Eckman-Birge grab örnekleme cihazı, ağzı açık şekilde nehir tabanına indirilmiş ve kendi ağırlığı ile tabana değdiği yerde ağzının kapanması sağlanarak yüzeye taşınan cihazdan sediman örneği alınmıştır. Renk ve koku gibi fiziksel özellikleri belirlenerek (Tablo 3.2) plastik torbalara koyulan sediman örnekleri ağızları sıkıca kapalı poliüretan kaplara alınmış ve + 4 °C’de saklanarak en kısa sürede yaş analizleri yapılmak üzere laboratuara götürülmüştür. Sediman örnekleri yaş olarak 1-2 gün içerisinde analiz edilmiştir. Yaş olarak alınan sediman örneklerinin bir kısmı, SOİ belirleme çalışmalarında kullanılmak üzere alüminyum folyo içinde derin dondurucuya konularak saklanmıştır.

Bölüm 2.4’te açıklanan fiziko-kimyasal sediman karakterizasyonu esas alınarak sediman laboratuvar analizleri yürütülmüştür. Yüzey sediman örneklerinde, SOİ ölçümlerinin yanı sıra, pH, redoks potansiyeli, % su içeriği, % organik madde içeriği ve tane boyu analizleri yapılmıştır. Tane boyu dağılımının belirlenebilmesi için sediman örnekleri 103 °C’de 12 saat kurutulduktan sonra, tane boyutlarının sınıflandırılması ve tam olarak ayrılması için işletilen, dik pozisyonda titreşim sağlayan bir laboratuvar- elek sarsma cihazı olan FRITSCH “Analysette 3” SPARTAN Model elek sarsma cihazı ile elenmiştir.

Sediman örneklerinin ilk görünüm özellikleri (renk, katılık vb.) kimyasal durumları hakkında bilgi veren bir gözlemdir (Golterman, 1983). Kırmızımsı kahverengi olan renkler, demir oksidasyonunun göstergesidir. Açık kahverengi-gri renkler sedimanların biraz indirgendiğini, siyah renkler ise sedimanların yüksek organik madde/sülfid içeriğiyle açıklanır. Örneklenen sedimanlarda ilk gözlemler Tablo 3.2’de açıklanmaktadır.

Tablo 3.2. Örnekleme İstasyonlarından Alınan Sedimanların Genel Görünümleri

Örnekleme Noktası	Özellik
N1	Açık kahverengi, kil-kum, sıkı çamur
N2	Açık kahverengi, inşaat kumu niteliğinde
N3	Çok açık kahverengi-sarımtırak, gevşek çamur
N4	Açık kahverengi, iri taneli kum-çakıl
N5	Açık kahverengi, kil, yumuşak çamur
N6	Koyu kahverengi, yer yer siyah, kil, gevşek çamur
N7	Açık kahverengi, yosunlu, kil-kum, balçık kıvamında
N8	Sediman örneği bu noktadan alınamamıştır.
N9	Yer yer siyah, kil-kum, cıvık çamur kıvamında, kokulu

4.3.1. Laboratuvar Ortamında SOİ Belirleme Çalışmaları

SOİ ölçüm metodunun literatürde sürekli çalışmaları devam etmekte olup, SOİ oranlarını tayin etmek amacıyla pek çok metot geliştirilmesine karşın pratikte standart bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışmada, SOİ ölçümleri, laboratuvar koşullarında iki farklı metot ile yapılmıştır.

İlk metot, dip yüzeyinden Eckman-Birge yüzey sediman örnekleyici yardımıyla kazınan sediman örneklerinin, laboratuara getirildiği andan itibaren 6-48 saat süre ile 20 °C’de 300 mL’lik BOİ şişelerinde inkübe edilmesiyle yürütülmüştür (Şekil 3.7-8). SOİ belirleme yöntemi, yaş ağırlığı yaklaşık 50 gr olan sediman örneklerinin BOİ şişelerine alınması, şişelerin dışarıdan hava almayacak biçimde, dikkatlice, örneğe ait havalandırılmış yüzey suyu ile doldurulması ve 1 dakikalık karıştırmayı takiben sedimanın tutunabilmesi için 20 dakika bekleme süresinden sonra çözünmüş oksijen probu vasıtasıyla başlangıç çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ölçülmesini ve daha sonra belirli zaman aralıklarında ölçümlerin tekrarlanmasını içerir (Wang, 1980; Barcelona, 1983; Chau, 2002; Parr ve Mason, 2003; Kınacı ve diğ., 2004).

Örneklerde yürütülen ilk çalışmalarda (Ekim 2004), SOİ'nin belirlenmesinde en iyi zamanın takibi için inkübasyon periyodu (120 saat) uzun tutulmuştur. Inkübasyon süresince, örneklenen her sedimanda ÇO değerleri CONSORT C535 model çoklu-parametre ölçüm cihazının ÇO probu vasıtasıyla, ÇO değerinin 2 mg/L'nin altına düşünceye kadar ölçülmüştür. Örneklerde, ÇO değerleri haricinde SOİ üzerine etkilerinin değerlendirilmesi amaçlı olarak pH ve redoks potansiyeli ölçümleri de yapılmıştır.

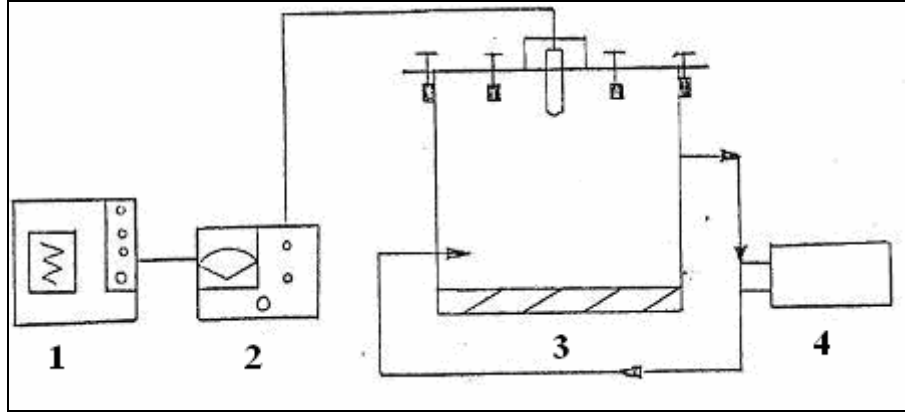


Şekil (Fotoğraf) 3.7. SOİ Tayini için BOİ Şişelerinde İnkübe Edilen Sediman Örnekleri (Nisan 2005 dönemi)

İkinci metot ise, 1973 ten beri USEPA İngiltere Bölgesel Laboratuvarı'nda kullanılmakta olan bir 'Bench' model SOİ ölçüm aygıtının bir benzerinin çalışma kapsamında yeniden tasarlanması ve SOİ ölçümlerinin, sediman üzerindeki suyun sürekli çevrimini sağlayan bir pompa ile bağlantılı bu aygıtla yürütülmesini içerir. Nisan ve Temmuz 2005 sediman örneklerinin oksijen ihtiyacının belirlenmesinde kullanılan SOİ ölçüm düzeneğinin şematik bir gösterimi Şekil 3.9'da ve laboratuvar ortamındaki görünümü Şekil 3.10'de gösterilmektedir.



Şekil (Fotoğraf) 3.8. SOİ Tayini için BOİ Şişelerinde İnkübe Edilen Sediman Örneklerinde Analiz Aşaması



Şekil 3.9. SOİ Ölçüm Düzeneginin Şematik Gösterimi (Nolan ve Johnson, 1979)

(1) Kaydedici (2) Çözünmüş Oksijen Metre (prob) (3) Bench Model Oksijen Tüketim Oranı Ölçüm Düzenegi (4) Kapalı Devre ve Hortum Başlıklı, Değişik Hızlarda Çalışabilen Peristaltik pompa



Şekil (Fotoğraf) 3.10. SOİ Ölçüm Düzeneğinin Laboratuar Ortamında Görünümü

Çalışma kapsamında kullanılan SOİ ölçüm aygıtı, scuba yardımıyla dip sediman üzerine geniş ölçüm aygıtlarının dikkatlice yerleştirilmesini içeren yerinde teknikler ya da bir bot ekipmanının hazır bulunmasını gerektiren diğer teknikler için gerekli zaman ve harcama olmadan laboratuarda SOİ ölçümünü kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. “Bench” tekniğinin avantajı, belirli bir örneğin uzun zaman periyodlarında, farklı parametreler bazında birkaç oran (biyokütle, metaller gibi) ölçümünü yürütebilme kabiliyeti (aynı anda takip edebilme olasılığını sunması), düşük çözünmüş oksijenli çevrelerden alınan örneklerin ölçülebilmesi ve çeşitli substratların kullanılabilmesidir.

Bench model SOİ ölçüm aygıtı, ¼ inch akrilik plastikten yapılmıştır ve 30,5 cm boyutlarında tekbiçimlidir. Üst kısmı daha büyük (33 cm-kare) ve kauçuk bir conta ile sabitlenmiştir. Su sızdırmazlığı, kanat somunlarından ayarı yapılmış bir kilitle sağlanmış ve 2,5 cm kalınlığında akrilik plastik bloklarla ölçüm aygıtının her tarafında iki yere vidalı çubukla bağlantı yapılmıştır.

Çözünmüş oksijen probunu yerleştirmek için üst kapağın merkezine bir delik açılmıştır. Prob yerinde iken, su sızdırmazlığının sağlanması ve hava kaçağının önlenmesi amacıyla 5cm (yükseklik) *10*10 boyutlarında küçük bir hazne delik etrafına inşa edilmiştir. Probu sabitlemek için, hava kaçağına karşı ilave koruma sağlayan, üst bölmenin her iki yanında büyük kauçuk halka çevrelenmiştir. Ölçüm aygıtının karşılıklı kenarlarından her birine birer delik açılmış ve bir 5/8 inch boru vidasını yerleştirmek için vidalanmıştır. İçeri akış (giriş) deliği dipten 7,5 cm ye merkezi olarak yerleştirilmiş ve dışarı akış (çıkış) deliği üstten 7,5 cm ye merkezi olarak yerleştirilmiştir. Bağlantılar, biraz yumuşatılınca kadar %70 metilen klorid ve %30 etilen diklorid karışımında ıslatılmış ve daha sonra basınç altında birleştirilmiştir. Ölçüm aygıtının su sızdırmazlığını ve mukavemetini arttıran, kenarların iç kısmı boyunca bir silikon kauçuk yapıştırıcı sürülmüştür. Sistemin dizaynı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

“Bench” model oksijen tüketimi ölçüm düzeneğinin işletilmesinin temel prensibi, içerisine belirli bir derinlik ve alanı kapsayan çevresel bir sediman örneğinin yerleştirildiği ölçüm düzeneğinde, kontrol altında tutulabilen bir oranda çevrelenmiş su hacminin sürekli devir-daiminin sağlanması ve sudaki oksijen tüketiminin, sediman tarafından oksijenin kullanıldığı tüm proseslerin toplam miktarını veren sediman oksijen ihtiyacını hesaplamak amacıyla belirli zaman periyotları süresince izlenmesidir. Eğer mümkünse, ÇO değerleri sürekli olarak kaydedilmelidir. Sudaki oksijen tüketim oranını önemli derecede etkileyecek kapasite olan solunum ve fotosentezin katkısının belirlenebilmesi için su örnekleri, ışığı geçiren ve geçirmeyen şişelerde inkübe edilebilir (Nolan ve Johnson, 1979).

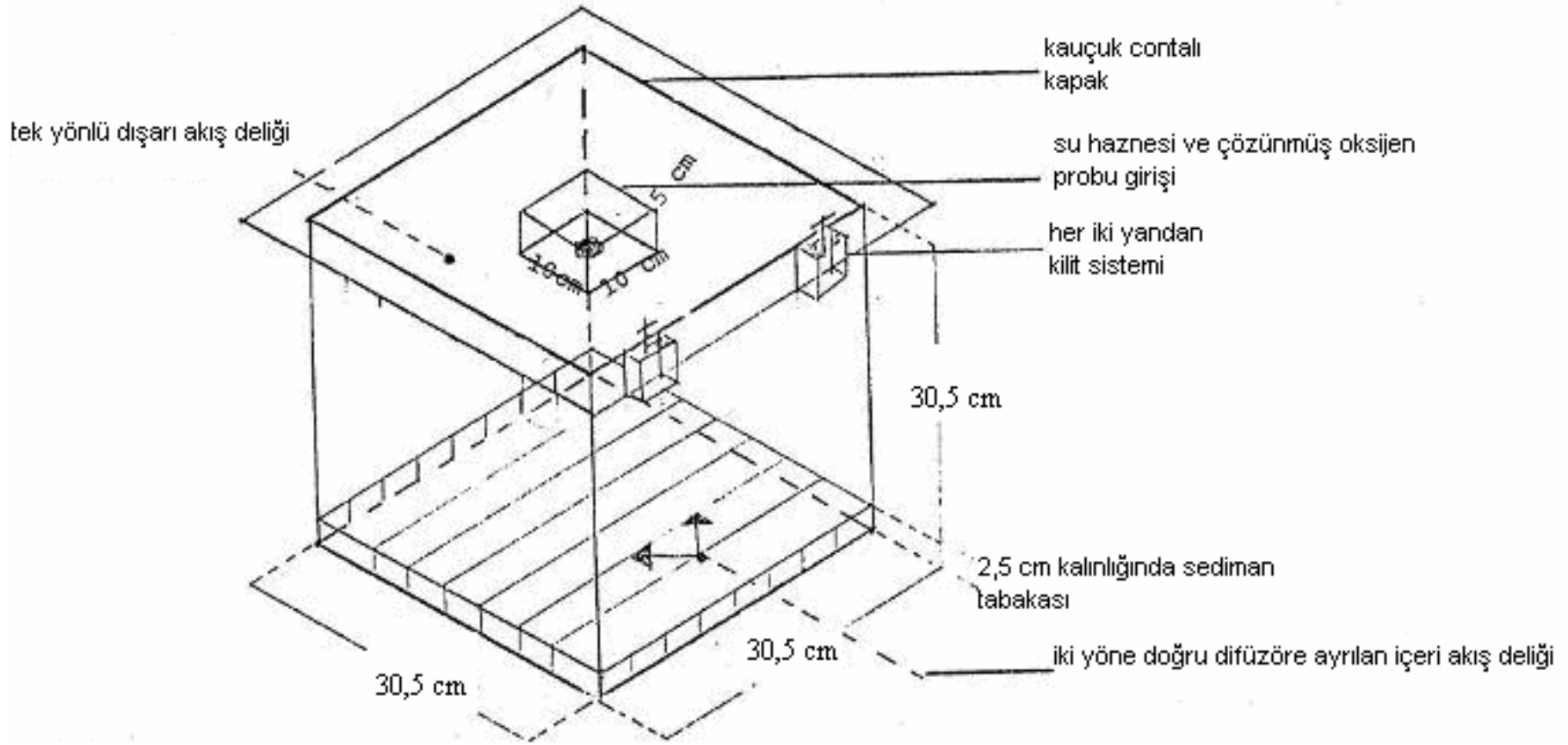
Arazide, grab olarak alınan sediman örnekleri plastik torbalara yüksek hassasiyette ve sedimanın dağılmasını en aza indirecek biçimde laboratuara getirilmiştir. Sedimanlar dikkatlice, her noktada 2,5 cm derinliğinde olacak biçimde yerleştirilmiş ve dinlendirilerek havalandırılmış safsu ya da örnek kaynağından (sedimanın alındığı noktadan) alınan su (ÇO doygunluğu en az % 70) yine dikkatlice sedimanın suyu bulandırmasını engellemek suretiyle düzenek içerisine aktarılmıştır. Örnek kaynağından alınan yüzey suyu miktarları çalışmanın yürütülmesi için yeterli

olmamakla birlikte, SOİ ölçüm düzeneğine alınan her sediman örneği için zaman periyotlarının değişen dilimleri dolayısıyla sediman örnekleri üzerine dinlendirilerek havalandırılmış (gerektiğinde 24 saat akvaryum pompası ile) safsu konulmuştur.

Sedimanı kaplayan suyun düzeneğe aktarılmasında en iyi sonucun alınması için akrilik plastikten düz bir kürek / paslanmaz çelikten bir spatula ile çalışılmıştır. Dağılmanın minimum seviyede tutulması tekrarlanan çalışmalarla kazanılan deneyim ile birlikte başarılmıştır. Düzeneğin çalıştırılmasına başlamadan önce askıda sedimanların çökmesine (yaklaşık 20 dakika) izin verilmiştir.

Düzenekteki sirkülasyon, kapalı devre prensibi ile işletilen değişken hızlı (10 ile 600 rpm) peristaltik bir pompanın (Cole-Parmer C-07524-45 Dijital) sabit bir oranda (100 mL/dak) çalıştırılmasıyla sağlanmıştır. Karışımın tümüyle ve hızlı olabilmesi için giriş bağlantı noktası iki difüzyon ağızlığına ayrılır. Çıkış bağlantı noktası ise tekli olarak tesis edilmiştir. Her iki bağlantı noktasından pompaya bağlantılar, pompaya özel hortum (C-06409-16 TygonLab, kolay değiştirilebilir Masterflex pompa başlığına uyumlu hortum) vasıtasıyla yapılmıştır.

Testler, oda sıcaklığında ya da örneğin alındığı kaynaktan sağlanarak bulunan sabit çevresel sıcaklıklarda yürütülebilmektedir (Nolan ve Johnson, 1979). Bu çalışmada, ölçümler oda sıcaklığında (20±2 °C) gerçekleştirilmiştir. Çözünmüş oksijen, günlük olarak (gerektiğinde daha sık) kalibre edilen bir prob (Consort C535 model taşınabilir, çoklu parametre ölçüm cihazı, ÇO ölçüm aralığı 0...20 mg/L , 0.05 ppm / % 0.5 duyarlılık) vasıtasıyla, oksijen tüketim oranına bağlı olarak genelde 4-48 saatlik zaman periyotları süresince değişen aralıklarla izlenmiştir. SOİ ölçüm düzeneğine alınan sediman üzerinin, sedimanı mümkün olduğunca askıda hale getirmeden sistemin hava almasını engelleyecek biçimde tam dolu olarak saf su ile doldurulmasını takiben kapak bölmesi kilitlenmiştir. Askıdaki sedimanın çökmesi için gereken bekleme süresinin ardından sistemdeki suyun ilk ÇO, pH ve redoks potansiyeli değerleri ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen değerlerinin 2 mg/L'nin altına düştüğü ana kadar ölçümler alınmış ve her bir çıkış suyu örneğinde pH ve redoks potansiyeli her sediman örneği için oksijen probu vasıtasıyla yeniden ölçülmüştür.



Şekil 3.11. SOİ Ölçüm Düzenekinin Dizaynı (Ölçeksiz çizilmiştir.)

Sediman örneklerinin SOİ ölçüm düzeneğinde kalış sürelerinin (24-72 saat) değişim göstermesine bağlı olarak, ölçümü tamamlanan sediman örneği sistemden uzaklaştırılmış ve SOİ ölçüm düzeneği yeni sediman örnekleri için deterjanlı su ile yıkanarak saf sudan geçirilmiştir. Arazi çalışmasının sonunda laboratuara getirilen sedimanların SOİ tayini için derin dondurucuya alınan alt örnekleri, tayin zamanı geldiğinde derin dondurucudan çıkartılarak oda sıcaklığında bir süre dinlendirilmiş ve daha sonra işleme tabi tutulmuştur. Her bir örnek için toplanan veriler, SOİ oranlarının hesaplanması ve değerlendirilebilmesi için düzenli olarak kaydedilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kızılırmak Nehrinin, Derbent Baraj gölünden itibaren deltanın iç kesimlerine kadar uzanan bir bölümünde yürütülen bu çalışmada, örnekleme noktalarından toplanan yüzey suyu/sediman örneklerinden elde edilen, kalite parametrelerine yönelik bulgular bu bölümde açıklanmaktadır. Araştırmanın ana konusu olan “Sediman Oksijen İhtiyacı” belirleme çalışmalarından elde edilen bulgular, yüzey sediman analiz sonuçları bölümünde detaylı olarak ele alınmış ve sonuçların değerlendirilmesi uygulanan yöntemler kapsamında yapılmıştır.

5.1. Kızılırmak Yüzey Suyu Örneklerinin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Arazi çalışmaları sonucunda nehir suyunun sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen derişimi, tuzluluk, iletkenlik, redoks potansiyeli, BOI_5 , KOİ , fosfor, klorür, sülfat, askıda katı madde gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri mevsimsel ölçümler ve/veya hesaplara belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan parametrelerin yıl boyunca gösterdikleri değişimi belirten karakteristikleri Tablo 4.1-4.5’te sunulmuştur. Özelliklerin her birinde yer ve zaman içinde gözlenen değişimler ve bu değişimlerin oluşmasında etkili olan süreçler hakkındaki değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Bir suyun pH değeri logaritmik olarak hidrojen iyonu aktivitesinin ifadesidir. Alıcı ortamların pH değerleri biyolojik olaylara ve sıcaklığa bağlı olarak mevsimsel hatta günlük değişimler gösterebilmektedir. Karbondioksitin aksine suların pH değerleri kış mevsimi boyunca düşük, yaz mevsimi boyunca ise yüksektir (Cole, 1983). Buna göre, çalışma alanı sınırlarında Kızılırmak’tan sediman örneklerine referans olarak alınan yüzey suyu örneklerinde pH değeri 6,80 ile 8,10 arasında değişim göstermekte olup ortalama pH değeri 7,7’dir.

Tablo 4. 1. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Temmuz 2004)

PARAMETRELER	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	Ortalama
Sıcaklık (°C)	21,60	15,40	16,50	16,70	16,00	17,20	15,30	17,40	22,00	17,57
pH	7,80	7,69	7,73	7,20	7,63	6,88	7,79	7,61	7,50	7,54
İletkenlik (mS)	1,72	1,76	1,75	1,75	1,76	1,77	1,76	1,75	1,84	1,76
Tuzluluk (g/L)	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	0,99
Redoks P. (Eh, mV)	-47	-37	-31	-46	-37	-44	-37	-37	-38	-39
ÇO (mgO ₂ /L)	7,20	7,50	7,60	7,50	7,40	7,80	7,60	7,10	7,30	7,44
BOİ (mg/L)	6,00	3,00	4,00	6,00	3,00	5,00	1,00	1,50	- *	3,27
KOİ (mg/L)	32,10	40,05	36,25	48,15	12,60	12,80	24,70	20,90	- *	25,28
Klorür (mg/L)	197,81	211,99	204,90	201,36	194,27	203,48	190,01	192,14	- *	177,33
Sülfat (mg/L)	102,57	100,98	95,21	95,22	102,86	100,84	106,61	103,43	- *	89,75
AKM (mg/L)	40	96	34	138	116	172	66	110	- *	85,78
TÇKM (mg/L)	1160	1180	730	1200	1370	1120	1110	2190	- *	1117,78

(*): Analiz Edilemedi

Tablo 4.2. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Ekim 2004)

PARAMETRELER	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	Ortalama
Sıcaklık (°C)	18,00	18,00	17,00	16,50	17,20	19,30	18,10	17,40	17,40	17,66
pH	7,89	7,86	7,78	7,81	7,84	7,80	8,04	7,95	7,99	7,88
İletkenlik (mS)	1,33	1,34	1,34	1,34	1,32	1,32	1,30	1,30	1,32	1,32
Tuzluluk (g/L)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,6
Redoks P. (Eh, mV)	-45	-40	-39	-44	-39	-41	-38	-40	-39	-40,55
ÇO (mgO ₂ /L)	7,94	7,32	7,27	8,61	8,90	7,56	7,00	6,90	7,13	7,63
BOİ (mg/L)	1,00	0,60	1,00	0,80	0,60	0,80	0,80	0,80	0,20	0,73
KOİ (mg/L)	24,80	20,70	28,10	36,20	44,30	36,90	20,90	16,80	36,10	29,42
Klorür (mg/L)	180,09	183,63	187,89	184,34	181,50	187,18	188,59	177,96	182,21	183,71
Sülfat (mg/L)	104,73	106,17	105,16	105,45	105,02	106,32	106,61	104,30	107,18	105,66
Toplam Fosfor (mg/L)	0,09	0,01	0,17	0,02	0,01	0,10	0,06	0,05	0,15	0,07
AKM (mg/L)	518	54	46	78	50	18	34	10	52	95,56
TÇKM (mg/L)	1015	970	885	920	975	1015	985	1025	965	972,78

Tablo 4.3. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Şubat 2005)

PARAMETRELER	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	Ortalama
Sıcaklık (°C)	8,90	7,40	7,20	6,60	7,60	9,20	10,10	8,90	8,60	8,28
pH	8,19	7,87	7,86	7,96	7,85	7,81	7,99	8,04	7,77	7,93
İletkenlik (mS)	1,06	1,57	1,21	1,19	1,19	1,29	1,19	1,19	1,32	1,25
Tuzluluk (g/L)	0,50	1,10	0,70	0,70	0,70	0,70	0,60	0,70	0,70	0,71
Redoks P. (Eh, mV)	-44	-49	-45	-52	-49	-40	-42	-48	-41	-45,56
ÇO (mgO ₂ /L)	9,80	9,75	10,10	10,30	10,20	10,10	9,10	9,70	9,60	9,85
BOİ (mg/L)	5,00	4,00	5,00	3,50	2,50	6,00	4,00	3,50	6,50	4,44
KOİ (mg/L)	40,32	50,40	53,76	50,40	47,04	33,60	43,68	53,76	23,52	44,05
Klorür (mg/L)	193,74	198,17	193,20	189,66	188,24	186,11	184,70	189,66	201,71	191,69
Sülfat (mg/L)	92,33	89,73	89,01	87,71	90,17	90,02	81,80	87,13	87,42	88,37
Toplam Fosfor (mg/L)	0,11	0,04	0,06	0,08	0,04	0,12	0,08	0,09	0,37	0,11
AKM (mg/L)	166	36	78	92	70	36	38	46	66	69,78
TÇKM (mg/L)	1502	1438	1846	1080	618	1076	1252	1152	1192	1239,56

Tablo 4.4. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Nisan 2005)

PARAMETRELER	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	Ortalama
Sıcaklık (°C)	18,70	15,00	15,60	15,90	14,90	15,60	15,90	19,40	14,00	16,11
pH	8,03	8,05	7,96	8,00	8,00	7,81	8,14	8,77	7,78	8,06
İletkenlik (mS)	0,94	1,21	1,20	1,20	1,19	1,11	1,20	0,95	1,13	1,13
Tuzluluk (g/L)	0,50	0,70	0,70	0,80	0,70	0,70	0,70	0,50	0,70	0,67
Redoks P. (Eh, mV)	-53	-56	-51	-65	-55	-46	-65	-79	-49	-57,67
ÇO (mgO ₂ /L)	9,20	8,00	8,95	9,40	9,95	8,50	9,00	7,90	8,00	8,77
BOİ (mg/L)	9,20	6,80	8,00	2,80	4,80	8,80	8,80	6,00	9,60	7,2
KOİ (mg/L)	19,20	70,40	89,60	73,60	48,00	108,80	67,20	28,80	25,60	59,02
Klorür (mg/L)	159,53	180,80	214,47	187,89	173,71	198,52	166,62	186,11	168,39	181,78
Sülfat (mg/L)	90,53	118,77	100,56	70,65	137,53	119,88	105,58	75,86	80,68	100,01
Toplam Fosfor (mg/L)	0,07	0,06	0,04	0,07	0,06	0,08	0,05	0,05	0,07	0,06
AKM (mg/L)	406	438	294	250	242	450	390	252	216	326,44
TÇKM (mg/L)	572	734	628	568	670	624	660	508	680	627,11

Tablo 4.5. Kızılırmak Yüzey Suyu Fiziko-Kimyasal Karakteristikleri (Temmuz 2005)

PARAMETRELER	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	Ortalama
Sıcaklık (°C)	25,90	19,50	21,50	18,50	21,90	19,60	18,90	19,50	20,80	20,68
pH	8,01	7,74	7,84	7,81	7,83	7,78	7,94	7,98	7,77	7,86
İletkenlik (mS)	1,66	1,72	1,71	1,72	1,72	1,72	1,71	1,73	1,73	1,71
Tuzluluk (g/L)	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89
Redoks P. (Eh, mV)	-56	-56	-52	-42	-54	-46	-51	-53	-49	-51
ÇO (mgO ₂ /L)	7,50	7,50	7,50	7,40	7,40	7,00	7,50	7,77	7,77	7,48
BOİ (mg/L)	3,60	1,60	2,40	3,20	6,00	3,60	5,60	5,60	4,80	4,04
KOİ (mg/L)	39,90	53,20	30,64	66,56	16,64	36,61	53,20	53,20	23,30	41,47
Klorür (mg/L)	219,05	215,51	213,73	222,60	204,87	231,46	213,73	196,01	206,64	213,73
Sülfat (mg/L)	139,32	139,46	139,32	130,08	118,26	114,79	119,27	136,29	105,71	126,94
Toplam Fosfor (mg/L)	0,06	0,02	0,01	0,06	0,03	0,07	0,09	0,08	0,35	0,09
AKM (mg/L)	376	288	266	376	476	302	216	338	286	324,89
TÇKM (mg/L)	1128	1038	1036	980	926	1044	1014	972	1008	1016,22

Çalışma süresince nehir suyu sıcaklığı, mevsim koşulları ve ölçüm yapıldığı zaman dilimlerine göre 6-25 °C arasında değişim göstermiş olup en düşük sıcaklık değeri (6,6 °C) Şubat 2005 ayında, en yüksek sıcaklık değeri (25,9 °C) ise Temmuz 2005 ayında ölçülmüştür. Ölçümler boyunca en düşük sıcaklık değerleri N4 nolu noktada (nehir yatağı derinliğinin yüksek olmasının yanı sıra nehir enkesitinin en dar ve kıyı erozyonunun yoğun olduğu örnekleme istasyonu) gözlemlenmiştir.

Araştırma boyunca, yapılan ölçümlerde nehir suyunun toplam iyon içeriğinin bir göstergesi olan elektriksel iletkenliğin 1,06 ile 1,84 mS arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. En düşük elektriksel iletkenlik değerleri (ortalama 1,24 mS) Şubat 2005'te ölçülürken, en yüksek iletkenlik değerleri (ortalama 1,71 mS) ise Temmuz 2005 döneminde belirlenmiştir. Yaz aylarında nehir suyunun elektriksel iletkenliği diğer aylara göre daha yüksektir. Elektriksel iletkenliğin azalması, göl ve nehir gibi yüzey sularının toplam çözünmüş madde içeriğinin de azalması anlamına gelmektedir. Çözünmüş madde içeriğinin azalmasında en etkili süreç, akarsuyun yan kollardan beslenimi ve özellikle yağış suyunun nehir suyunu seyreltmesidir. Öte yandan, elektriksel iletkenliğin artması da, nehir suyunun içsel karışımı vb. gibi süreçlerin yanı sıra, esas olarak büyük oranda buharlaşmaya bağlı olarak gerçekleşmektedir (Chou ve diğ., 1995).

Nehir suyunun sucul yaşam kalitesi açısından önemli bir parametresi olan çözünmüş oksijenin çözünürlüğü; su sıcaklığı ve iyon içeriği ile ters, atmosferik kısmi basınç ile doğru orantılıdır. Çalışma alanında yüzey nehir suyunda çözünmüş oksijen içeriği genel olarak su sıcaklığı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak, hava sıcaklığının düşük olduğu kış aylarında çözünmüş oksijen içeriğinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılı olduğundan, bu gözlem beklenen bir durumdur. Çalışma alanında yerinde yapılan ölçümlerde belirlenen çözünmüş oksijen değerleri 6,5 mg/L ile 10,3 mg/L arasında değişim gösterirken, en düşük ortalama ÇO değerleri Temmuz 2004-2005 dönemlerinde (7,4 mg/l), en yüksek ortalama ÇO değerlerinin ise Şubat 2005 döneminde kaydedilmiştir. Nehrin genel ortalama ÇO değerinin 8,3 mg/L ile yüksek kaliteli su niteliği sergilediği görülmüştür.

Redoks potansiyeli bir sucul ortamın içerdiği kimyasal bileşen türleri açısından yükseltgeyici, ya da indirgeyici eğilimde olup olmadığının göstergesidir. Günümüz teknolojisi ile bu ölçümün hassas olarak yapılması mümkün olmayıp, ölçülen değerler ancak ortamın indirgen, ya da yükseltgen olup olmadığını göstermektedir. Çalışma alanında nehir suyu sürekli oksijen içermesi nedeniyle, beklendiği gibi yükseltgen (oksitleyici) karakterdedir. Çalışma dönemi boyunca gerçekleştirilen ölçümlerden, yüzey suyu örneklerinde redoks potansiyelinin -50 ile -20 mV arasında değiştiği belirlenmiştir.

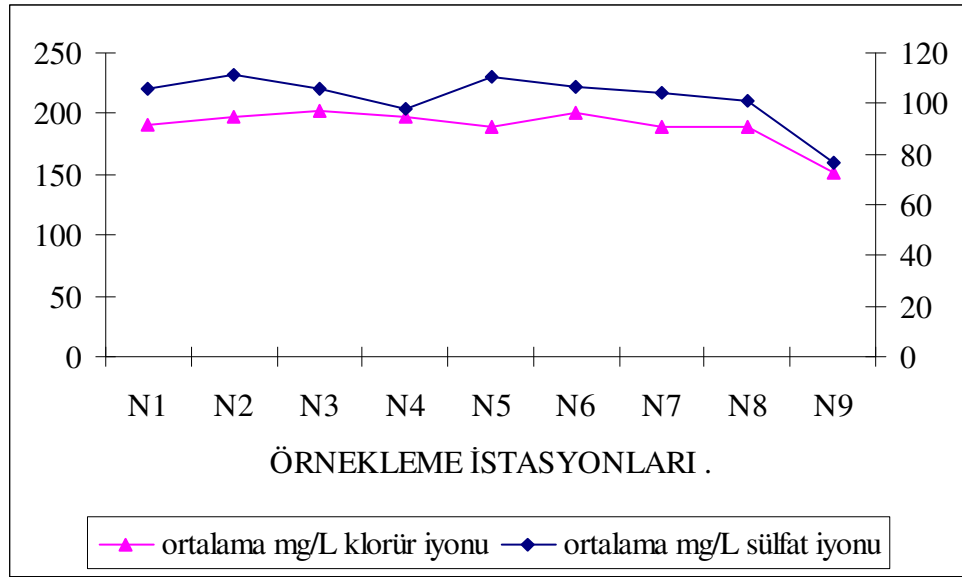
Bölgede tarım ve hayvancılığın yaygın olarak yapılması, nehir etrafında evsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarına katkıda bulunabilecek işletmelerin (beton-inşaat şantiyeleri, kum ocakları vb.) faaliyetleri, Bafra Atıksu Arıtma Tesisinin istenilen verimde çalışmamasından kaynaklı çıkış sularının doğrudan nehre verilmesi, nehir kıyısındaki düzensiz çöp depolama sahasından karışabilecek sızıntı suları, BOİ₅ ve KOİ değerlerindeki artışın nedeni olabilecek potansiyel kaynaklardır. Mevsimsel olarak her noktada ölçülen yüzey suyu BOİ₅ değerlerine bakıldığında, yüzey suyuna karışan organik yükteki artışa paralel olarak mikroorganizma faaliyetlerindeki artış dolayısıyla Nisan 2005 döneminde maksimum ortalama BOİ₅ yüküne (7,2 mg/L) ulaşıldığı, bu durumun aksine nehir suyu debisinin en alt seviyelere indiği Ekim 2004 döneminde ise minimum ortalama BOİ₅ yükünün (0,73 mg/L) ortaya çıktığı görülmektedir. Nehir kıyısında endüstriyel atık girdisinin yoğun olmaması, ortalama KOİ yükünün (minimum 25,28 mg/L iken maksimum 59,02 mg/L) nehir suyu kalitesini aşırı derecede değiştirememesine yol açarken en yüksek KOİ değerlerinin Nisan 2005'te (76,8 mg/L ile N3 nolu noktada) görülmesi de BOİ₅ değerleriyle aralarındaki bağıl ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Bir sistemde fosforun değişik formları ve bu formların miktarları; kentsel ve kırsal kaynaklardan (evsel ve endüstriyel atıklar, zirai drenaj) fosfor girişinin, sistemden fosfor çıkışının (yüzeysel akış ve yeraltı suyu sızıntısı) ve fosfor formları arasında fosforun değişiminin bir fonksiyonudur. pH değerlerindeki artış nedeniyle fosforun yerini hidroksit iyonlarının alması, demir ve alüminyum bileşiklerinin fosforla bağlanma kapasitelerini düşürür (Şenel, 1998; Syers ve diğ., 1973; Hakanson

ve Johnson, 1983). Başka bir ifadeyle, fosforun sedimandan suya doğru olan hareketini arttıracaktır. Kızılırmak yüzey suyu toplam fosfor konsantrasyonlarının, ortalama pH değerlerinin en yüksek olduğu (Şubat ve Nisan 2005) dönemde daha düşük değerlerde (ortalama 0,06 mg/L) olduğu tespit edilmiştir. Şubat 2005 döneminde N9 nolu noktada (Atıksu Arıtma Tesisi deşarj sularının nehre verildiği bölgede) ölçülen toplam fosfor konsantrasyonu (0,365 mg/L), nispeten yüksek fosfor yüküne sahip atıksuların nehir sistemine karışmış olma olasılığından kaynaklı ani bir sıçrama gösterdiğinden genel ortalama dışında tutulmuştur.

Klorür toplam tuz miktarı ile ilgili ve tüm sularda rastlanabilecek bir parametredir. Doğal minerallerden karışabileceği gibi, iç sulara (Kızılırmak'ta olduğu gibi) denizlerden karışabilmektedir. Bununla birlikte klorür insan aktivitelerinden de (evsel, tarım ve endüstriyel kaynaklardan) sulara karışmaktadır. Kızılırmak nehir kıyı erozyonunun yanı sıra, beton – inşaat şantiyelerinin belirli dönemlerdeki faaliyetleri doğrultusunda çekilen hafriyat malzemesi nehir yatağında geniş çaplı oyukların oluşmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı nehrin delta ağzından içeri kesimlere doğru yüksek mineralli deniz suyunun karışması klorür seviyelerinde artışa neden olmaktadır. Yüzey suyu klorür iyonu içeriğine bakıldığında, Temmuz 2004 döneminden (ortalama 177,33 mg/L) bu yana önlenemez bir artışın olduğu (Temmuz 2005'te ortalama klorür iyonu konsantrasyonu 213,73 mg/L) gözlenmiştir.

Sülfat iyonu parametresinin de klorür iyonu konsantrasyonu gibi benzer değişimler sergilediği, en yüksek ortalama sülfat iyonu konsantrasyonunun Temmuz 2005'te 126,94 mg/L, en düşük 88,37 mg/L ile Şubat 2005 döneminde ölçüldüğü belirtilebilir (Şekil 4.1). Yüzey suyu sülfat iyonu konsantrasyonunun genel ortalama değeri 102,15 mg/L ($>200 \text{ mgSO}_4^{-2}/\text{L}$) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Kızılırmak Yüzey Suyu Ortalama Klorür ve Sülfat İyonu Konsantrasyonlarının Değişimi (Ortalama değerler 4 mevsim ölçülen değerlerin ortalamasıdır.)

Askıda katı madde ve toplam çözünmüş katı madde değerlerindeki iniş çıkışlı değişimlere (Temmuz 2004-2005 dönemlerindeki katı madde yüklerinin sergilediği durum gibi) neden olarak, mevsim gereği barajda tutuklanan yüzey suyu seviyesinin arttırılabilmesi amacıyla nehre set çekilmesi ve zaman zaman baraj kapaklarının açılması gösterilebilir. Bu nedenle, ani akışlarla taşınan tortuların kısa süreli çökelmeleri sonucunda, örnekleme noktalarından toplanan sedimanlarda da mevsim koşullarına bağlı farklı özelliklerin (sedimanın fiziksel özelliği, % su içeriği, tane boyu gibi) olduğu söylenebilir. Toplam katı madde tayinlerinden alınan sonuçlara göre, nehrin ortalama AKM 180 mg/L iken ortalama TÇKM yükü ise 995 mg/L ile 500-1500 mg/L arasında olup yüzey suyunun katı madde konsantrasyonu açısından II. Sınıf su kalitesi taşıdığı söylenebilir.

Kıta içi yüzeysel suların kalitelerine göre yapılan sınıflama aşağıda verilmiştir. Buna göre; Sınıf I : yüksek kaliteli su, Sınıf II : az kirlenmiş su, Sınıf III : kirlili su, Sınıf IV : çok kirlenmiş su (EK.A). Bir su kaynağının bu sınıflardan herhangi birine dahil edilebilmesi için bütün parametre değerleri, o sınıf için verilen

parametre değerleriyle uyum halinde bulunmalıdır (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Kıtaçi-Yüzeysel Suların Sınıflandırılması, Çevre Mevzuatı, 2005). Buna göre, dokuz örnekleme istasyonunda su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu genel veri tablosuna göre, Kızılırmak yüzey suyu kalitesi, bazı parametreler açısından (örneğin, çözünmüş oksijen) I. Sınıf su niteliği sergilemesine rağmen II. Sınıf kalitede ve az kirlenmiş su özelliği taşımaktadır.

5.2. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sediman tabakası, sürekli su kütlesiyle temas halinde olduğundan su içinde ayrışan çeşitli çevresel kirleticilerin birikimine ve reaksiyonuna neden olur. Bu yüzden sediman tabakaları su kalitesini belirgin olarak etkiler. Sedimanda yapılacak analizler ile, su kütlesi kirliliği hakkında bir sonuca varılabilir, bu kirliliğin tarihi gelişimi belirlenebilir, hangi kirletici maddelerden ne kadar biriktiği öğrenilebilir. Aynı zamanda, çevresel sedimantoloji çalışmaları, su kalitesi analizlerinden ayrı düşünülemez ve beraber yapılmalı gerekir (Bakan, 2000; Lijklema, 1993). Bu araştırma boyunca Kızılırmak'tan alınan yüzey sediman örneklerinin fiziksel (renk, pH, % su içeriği, % organik madde içeriği) analizleri, materyal metot bölümünde (Bölüm 3.2) anlatılan deney yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

Çevre sedimantolojisinde, sediman dinamiği ve dip yapısı hakkında bilgi veren % su içeriği, genellikle nehir boyunca tipik bir dağılım gösterir. Sığ sularda daha düşüktür ve bu noktalarda genellikle iri taneli materyaller mevcuttur. Derin sularda ise, % su içeriği nispeten daha yüksektir. Bunun yanında, yüzey sediman tabakasından derinlere doğru % su içeriği azalma eğilimindedir ve sedimantasyon oranına, depolanan materyalin kalitesi ve karakteristiğine, yoğunluk derecesine, değişik zamanlardaki türbülansa bağlı olarak da değişim göstermektedir (Hakanson ve diğ., 1983). Su derinliğinin, nehir yatağındaki çukurlaşmalara ve kıyı erozyonuna bağlı olarak değişim gösterdiği ve debinin nispeten yüksek (ortalama 200 m³/sn) olduğu N1 (minimum % 16,40 iken maksimum % 29,42 ve mevsimlik ortalama değeri % 23,23), N4 (minimum % 14,86 iken maksimum % 31,76 ve mevsimlik ortalama değeri % 23,51) ve N9 (minimum % 21,23 iken maksimum % 41,88 ve

mevsimlik ortalama değeri % 32,56) nolu örnekleme istasyonlarında % su içeriği diğer noktalara göre yüksek oranlarda seyretmektedir. Bu durumun aksine, su derinliğinin nispeten az olduğu ve debinin düşük değerlere ($\geq$ ortalama 90 m³/sn) ulaştığı N2 (minimum % 13,91 iken maksimum % 24,52 ve mevsimlik ortalama değeri % 19,92), N3 (minimum % 12,62 iken maksimum % 43,05 ve mevsimlik ortalama değeri % 26,49) ve N6 (minimum % 16,61 iken maksimum % 35,02 ve mevsimlik ortalama değeri % 24,03) gibi noktalarda % su içeriği daha düşük olarak bulunmuştur (Tablo 4.6). Bu duruma neden olarak, bu noktalardan alınan sediman örneklerinin suyun birikim gösterdiği ve durgunlaştığı köprü ayaklarına yakın bölgelerden (N2 ve N6) ya da baraj çıkışında nehrin dallandığı ve sedimantasyona uğradığı noktalardan (N3) alınması gösterilebilir.

Diğer yandan, organik madde miktarı genel olarak, bir su ortamına taşınan organik madde yükünün sediman tabakasında birikmesini gösteren bir parametredir. Bu organik madde yükünün genelde, evsel atıksulardan kaynaklandığı söylenebilir. Organik maddenin sediman derinliği boyunca mineralizasyonu ile organik madde yükü azalmaktadır (Hakanson ve diğ., 1981). Yüzey sediman örneklerinde ölçülen % organik madde miktarı incelendiğinde, genelde % su miktarının yüksek, su derinliğinin; dolayısıyla yüksek debinin ve sediman taşınımının fazla olduğu noktalarda; N1 (ortalama % 4,02), N3 (ortalama % 4,56), N7 (ortalama % 4,42) ve N9 (ortalama % 4,60), daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Tablo 4.7). Bununla birlikte, tüm noktalarda evsel ve/veya tarımsal kirlilik kaynaklı olarak sediman tabakasının belirgin bir organik yükü taşıdığı bir gerçektir. % su miktarı ile % organik madde miktarı arasındaki bu doğru orantının, özellikle N2 (Temmuz 2004'te % su oranı 18,54 iken % organik madde içeriği 1,23) ve N5 (Temmuz 2004'te % su oranı 18,78 iken % organik madde içeriği 2,13) nolu noktalarda açıkça görülmesi, bu noktalardaki su derinliğinin nispeten düşük olmasına karşın su hızının yüksek olmasından dolayı sedimantasyonun az oluşu ile açıklanabilir (Şekil 4.2).

Sediman pH'sı, sediman tabakasının yüzeyindeki kimyasal durum hakkında genel bir bilgi vermektedir. Buna göre, Kızılırmak nehir suyunun ortalama pH değeri 7,7 iken nehir yatağından alınan sediman örneklerinin pH karakteristiği ortalama 8,14 değerindedir (Tablo 4.8).

Tablo 4.6. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde % Su İçeriği Analiz Sonuçları

Örnekleme Noktası	% Su İçeriği				
	Temmuz 2004	Ekim 2004	Şubat 2005	Nisan 2005	Temmuz 2005
N1	20,39	29,42	16,40	25,12	24,83
N2	18,54	24,52	13,91	19,28	18,37
N3	12,62	19,81	18,96	43,05	37,99
N4	31,76	25,91	18,80	14,86	26,21
N5	18,78	- *	11,40	26,44	22,45
N6	17,25	18,92	16,61	35,02	32,33
N7	37,36	33,17	18,56	40,15	39,03
N9	- *	41,88	21,23	32,72	34,41

(*) : Analiz edilememiştir.

Tablo 4.7. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde % Organik Madde İçeriği Analiz Sonuçları

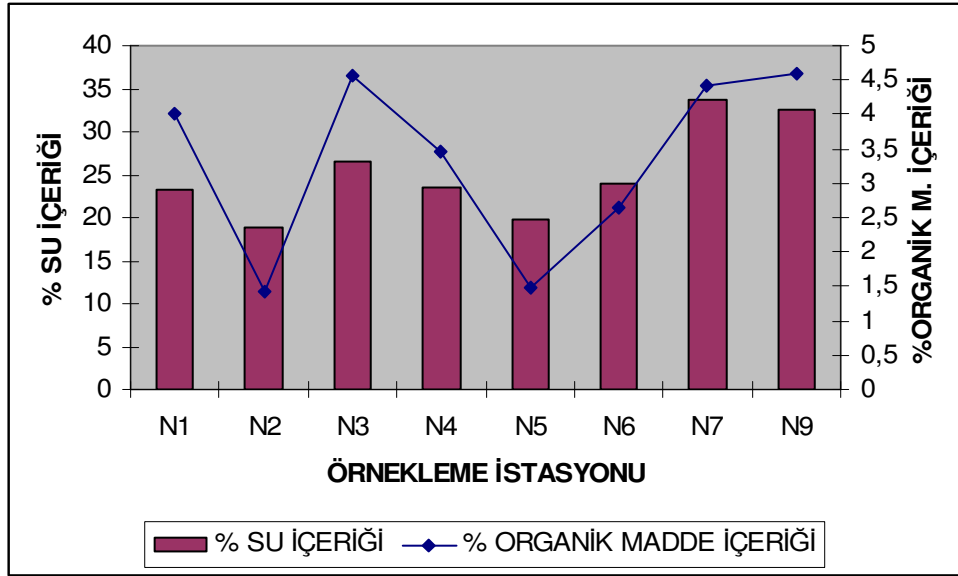
Örnekleme Noktası	% Organik Madde İçeriği				
	Temmuz 2004	Ekim 2004	Şubat 2005	Nisan 2005	Temmuz 2005
N1	3,89	4,36	5,77	2,59	3,48
N2	1,23	2,90	0,90	1,03	1,00
N3	1,03	3,23	4,94	5,70	7,91
N4	5,02	5,21	1,60	1,21	4,23
N5	2,13	- *	0,84	1,74	1,15
N6	1,47	1,39	2,56	4,60	3,21
N7	4,51	4,62	5,32	3,99	3,67
N9	- *	6,44	4,32	4,40	3,22

(*) : Analiz edilememiştir.

Tablo 4.8. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde pH Ölçüm Değerleri

Örnekleme Noktası	pH				
	Temmuz 2004	Ekim 2004	Şubat 2005	Nisan 2005	Temmuz 2005
N1	8,32	8,24	8,19	8,11	8,14
N2	7,88	8,33	7,87	7,36	8,62
N3	8,02	8,18	7,86	8,13	8,22
N4	7,97	8,20	7,96	8,72	8,80
N5	7,98	- *	7,88	8,28	8,27
N6	7,52	8,11	7,81	8,18	8,47
N7	8,22	8,30	8,04	8,20	8,23
N9	- *	8,38	7,88	8,15	8,12

(*) : Analiz edilememiştir.

**Şekil 4.2.** Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde Ortalama % Organik Madde İçeriğinin Ortalama % Su İçeriğine Göre Değişimi

4.2.1 Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde SOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Akarsu, göl ve kıyı sedimanlarında oksijen ihtiyacı, su kalitesi belirlemede anahtar bir konudur. Gerçekte, kıyı çevrelerde (özellikle katmanlı sularda) oksijen eksikliğine yol açan olayların, kıyı sularının kompozisyonunu ciddi boyutlarda etkilediği ve ortamda yaşayan canlı hayatını tehdit ettiği bilinmektedir. Bu bağlamda, bentik oksijen dinamikleri, su tabakalaşması ya da üretime bağlı sediman oksijen ihtiyacı (SOİ) miktarını veya SOİ'nin en uç noktalara ulaşma zamanını kontrol etmede belirleyici bir rol oynar. Bu nedenle, akarsu, göl ve sığ kıyı çevrelerde SOİ'nin sorumlu olduğu prosesleri tanımlamak ve miktarını tayin etmek önemlidir (Rabouille ve Denis, 1995).

SOİ ölçüm metodunun literatürde sürekli çalışmaları devam etmekte olup, SOİ oranlarını tayin etmek amacıyla pek çok metot geliştirilmesine karşın pratikte standart bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışmada, SOİ oranlarının hesaplanması için ÇO ölçümleri, dip yüzeyinden Eckman Birge yüzey sediman örnekleyici yardımıyla kazınan sediman örneklerinin; (1) 2-5 gün süre ile 20 °C'de 300 ml'lik BOİ şişelerinde inkübe edilmesi (SOİ, bu çalışma ile elde edilen verilerden analitik olarak hesaplanmıştır) (2) literatürde geçerliliği olan deneysel çalışmalar için tasarlanmış SOİ ölçüm düzeneğinde (SOİ, bu çalışma ile elde edilen verilerden analitik ve teorik olarak hesaplanmıştır) olmak üzere laboratuvar ortamında iki farklı yöntemle yürütülmüştür.

Yüzey sediman örneklerinde iki aşamalı olarak laboratuvar ortamında yürütülen SOİ belirleme çalışmalarından alınan sonuçlar bu bölümde açıklanmıştır.

4.2.1.3. BOİ Şişelerinde İnkübe Edilen Sediman Örneklerinde SOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

SOİ belirleme çalışmalarının iki farklı laboratuvar denemesiyle gerçekleştirildiği bu araştırma kapsamında; laboratuvar koşullarında yürütülen bu ilk çalışmada,

literatürde benzer çalışmaları yürüten araştırmalar incelenmiş (Wang, 1980; Barcelona, 1983; Chau, 2002; Matlock ve diğ., 2003; Parr ve Mason, 2004; Kınacı ve diğ., 2004) ve SOİ oranlarını hesaplamak için ilk olarak Hanes ve White (1968) tarafından tanımlanan analitik hesaplama metodu kullanılmıştır. Zamana karşı artan ÇO tüketiminin koordinat sistemine aktarılmasıyla bir çözünmüş oksijen tüketim eğrisi oluşturulmuştur. Bu eğrinin doğrusallaştırılması ile hesaplanan eğimi, $\text{g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ sa}^{-1}$ biriminde SOİ'yi vermektedir. Tüm hesaplamalar, 2 ila 8 mg/l çözünmüş oksijen aralığında SOİ oranlarının zamanla doğrusal olarak değiştiği varsayımına dayanmaktadır. 4 mevsim (Ekim 2004, Şubat 2005, Nisan 2005 ve Temmuz 2005) sediman örneklerinden bu yöntemle dayanarak elde edilen sonuçlar ise $\text{g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ biriminde Tablo 4.9'da sunulmuştur.

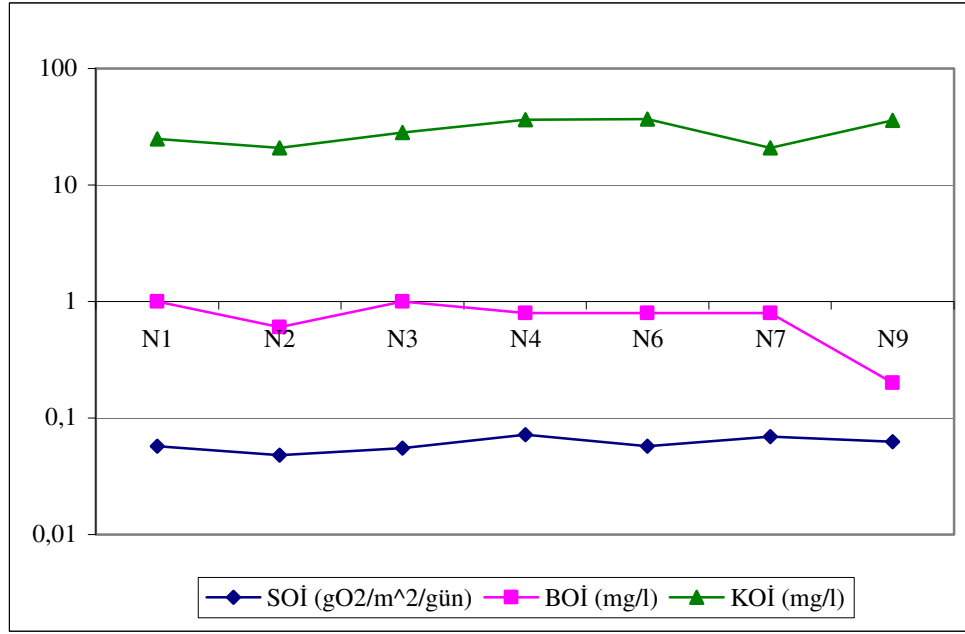
Tablo 4.9. İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçları

Örnekleme Noktası	SOİ ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{gün}$)			
	Ekim 2004	Şubat 2005	Nisan 2005	Temmuz 2005
N1	0,0576	0,1800	0,3600	0,3912
N2	0,0480	0,1344	0,1920	0,2952
N3	0,0552	0,1536	0,3624	0,5256
N4	0,0720	0,1320	0,2592	0,3912
N5	-*	0,0960	0,3336	0,2304
N6	0,0576	0,1440	0,4560	0,3840
N7	0,0696	0,1512	0,5856	0,6264
N9	0,0624	0,1512	0,3456	0,5616
Ortalama (Nehir boyunca)	0,0528	0,1428	0,3618	0,4257

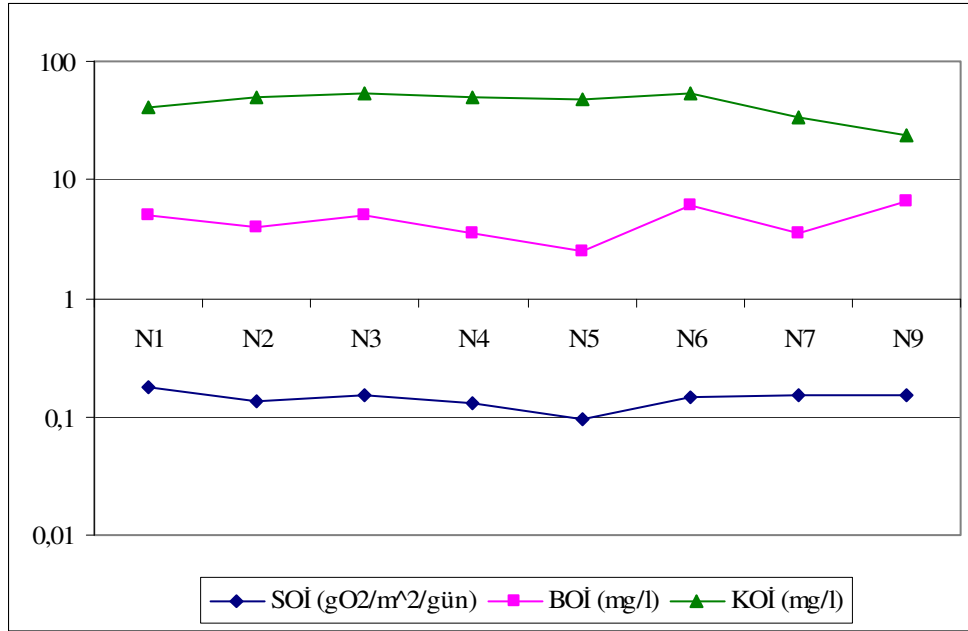
(*) : Analiz edilememiştir.

Bu yöntemin sediman örneklerine uygulanması ile elde edilen maksimum SOİ değerlerine Temmuz 2005 örneklerinde ($0,6264 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ ile N7 nolu noktada), minimum SOİ değerlerine ise Ekim 2004 ($0,048 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ ile N2 nolu noktada) örneklerinde ulaşılmıştır. Her nokta için 4 mevsim ölçülen değerler baz alındığında; SOİ artışının sonbahar ortasından (Ekim 2004) başlayarak yükseldiği ve yaz döneminin başlarında (Temmuz 2005) en uç noktalara ulaştığı söylenebilir. Bu durumu şu şekilde açıklamak mümkündür: havanın ısınmasıyla birlikte yüzey suyu sıcaklık değerlerinin artması dolayısıyla sedimandaki mikrobiyolojik faaliyetlerinin artması ve bunun sonucu olarak biyokimyasal reaksiyonların hızlanması, nehir tabanındaki ÇO derişiminin önemli ölçülerde değişimini beraberinde getirmektedir. Burada ayrıca belirtilmelidir ki; yaz döneminin kendisini göstermesi ile birlikte sıcaklığın daha da artması (özellikle Ağustos ayı) dolayısıyla, akarsu debisinin minimum seviyelere çekilmesi, barajda su tutulmasıyla birlikte akarsuya sediman akışının durması yukarıda bahsedilen durumun aksi yönde değişimini ortaya çıkaracaktır. Her noktanın mevsimsel ortalama değerleri göz önüne alınarak, nehrin mevsimlik ortalama SOİ değerlerinin bu yöntemle göre; Ekim 2004'te $0,0603 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$, Şubat 2005'te $0,1428 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$, Nisan 2005'te $0,3618 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ ve Temmuz 2005'te $0,4257 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ olduğu görülmektedir. Bu bulgulara dayanarak denilebilir ki; nehrin genel ortalama SOİ oranı $0,2477 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ 'dür.

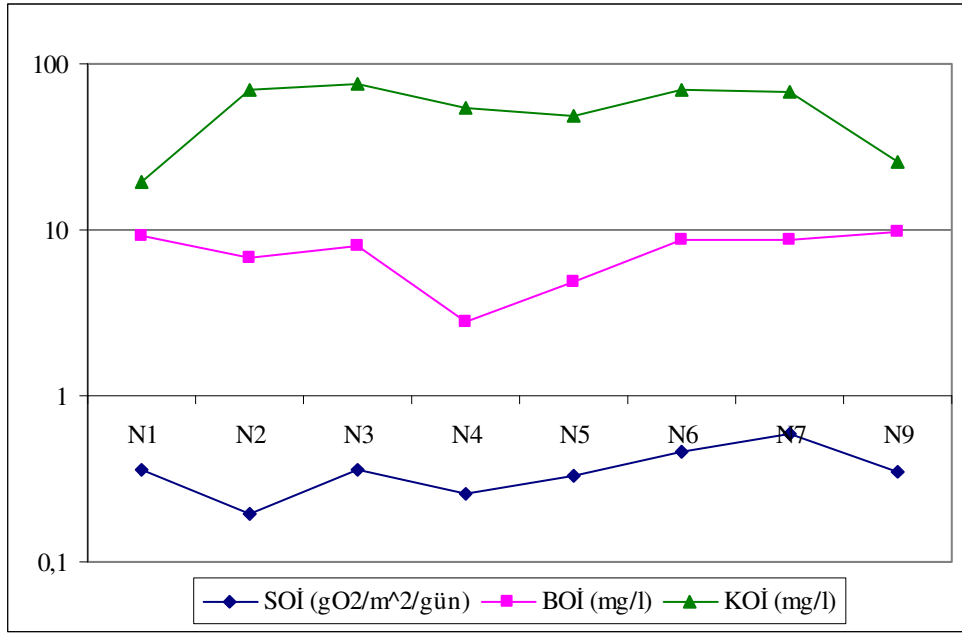
BOİ şişelerinde inkübe edilen sediman örneklerinde ölçülen SOİ değerleri ve sedimanın üzerini kaplayan yüzey suyunda ölçülen BOİ₅ ve KOİ değerlerinin birlikte ele alındığı çizelgeler Şekil 4.3-4.6'da yer almaktadır. Bu çizelgelere göre, SOİ oranları ile yüzey suyu BOİ₅ korelasyonunun (0,52 - 0,72), SOİ – KOİ korelasyon değerlerine (0,14 – 0,33) kıyasla daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Dip sediman tabakasının yüzey suyu ile temas ettiği bölgede aerobik faaliyetlerin sıcaklık artışıyla birlikte artması beraberinde SOİ oranlarını arttırmakta iken aynı şekilde yüzey suyunun BOİ₅ değerlerinin de orantılı olarak arttığı çizelgelere yansımaktadır. Fakat, bu durumun tüm yıl boyunca aynı koşulları sergilemediği dolayısıyla SOİ oranları ile BOİ₅ değerleri arasında her zaman için yüksek korelasyonun beklenmesi doğru olmayacaktır.



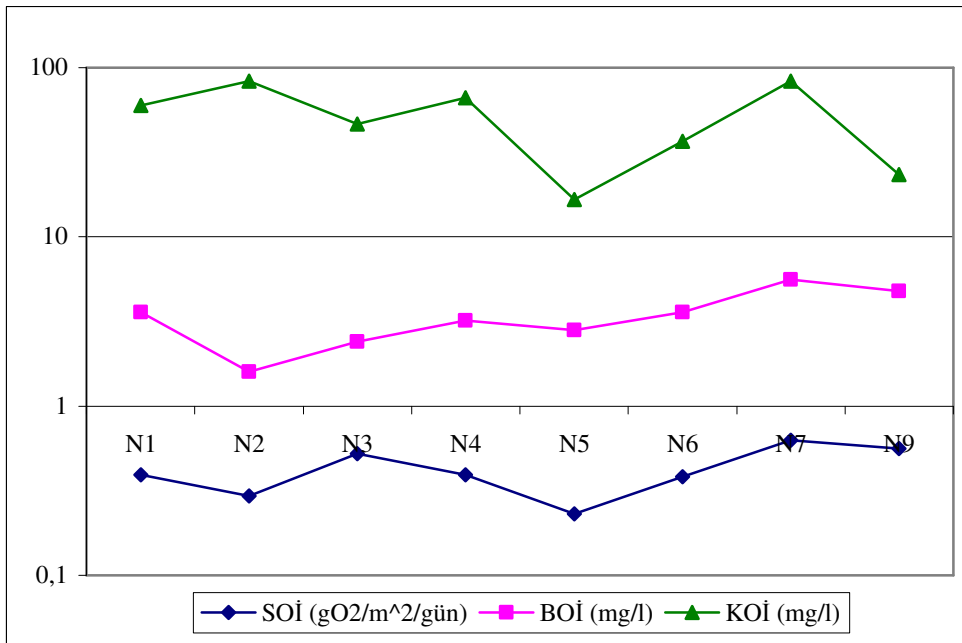
Şekil 4.3. İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ- KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Ekim 2004)



Şekil 4.4. İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ- KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Şubat 2005)



Şekil 4.5. İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ- KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Nisan 2005)



Şekil 4.6. İnkübe Edilen Sedimanlarda Ölçülen SOİ Değerleri ve Yüzey Suyu BOİ- KOİ Değerleriyle Karşılaştırılması (Temmuz 2005)

4.2.1.4. SOİ Düzeneginde Sediman Örneklerinde Ölçülen SOİ Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Araştırma kapsamında yeniden tasarlanan (1973'ten beri USEPA İngiltere Bölgesel Laboratuvarı'nda kullanılmakta olan) "Bench" model SOİ ölçüm düzeneğinde, sediman örneklerinin analiz edilmesiyle ölçülen, çözünmüş oksijendeki değişim, zaman, su hacmi, sediman yüzey alanına bağlı olarak 4.1 nolu eşitlik yardımıyla (teorik olarak) SOİ sonuçları hesaplanmıştır (Nolan ve Johnson, 1979).

$$SOİ(gO_2 / m^2 / gün) = \frac{[(O_i - O_f) - (B_i - B_f)]V}{(SA)(t)} \quad (4.1)$$

Burada,

O_i = ÇO ilk ölçüm değeri mg/L

O_f = ÇO son ölçüm değeri mg/L

B_i = ÇO ilk ölçüm değeri (ışığı geçiren şişede) mg/L

B_f = ÇO son ölçüm değeri (ışığı geçirmeyen şişede) mg/L

V = çevrelenen su hacmi (0,0255 m³)

SA = Sediman Alanı (0,093 m²)

t = zaman/gün

SOİ'nin sonuç tayini için, oksijen tüketimine karşı zamanın grafiğe alınmasıyla SOİ oranının hesaplanmasında kullanılan sabit bir oran elde edilir. İnkübasyon şişelerinde solunum ve üretimden gelecek önemli değişimler söz konusu olduğunda gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Yürütülen araştırma süresince solunum ve üretimden gelebilecek değişimler SOİ sonuç tayininin hesaplanmasında dikkate alınmamıştır. Test edilen sedimanlar arasında doğal çeşitliliğin belirlenebilmesi ve istatistiksel olarak kullanılabilmesi için analizler, sediman örneklerinin durumuna göre en az üç kez tekrar edilmiştir.

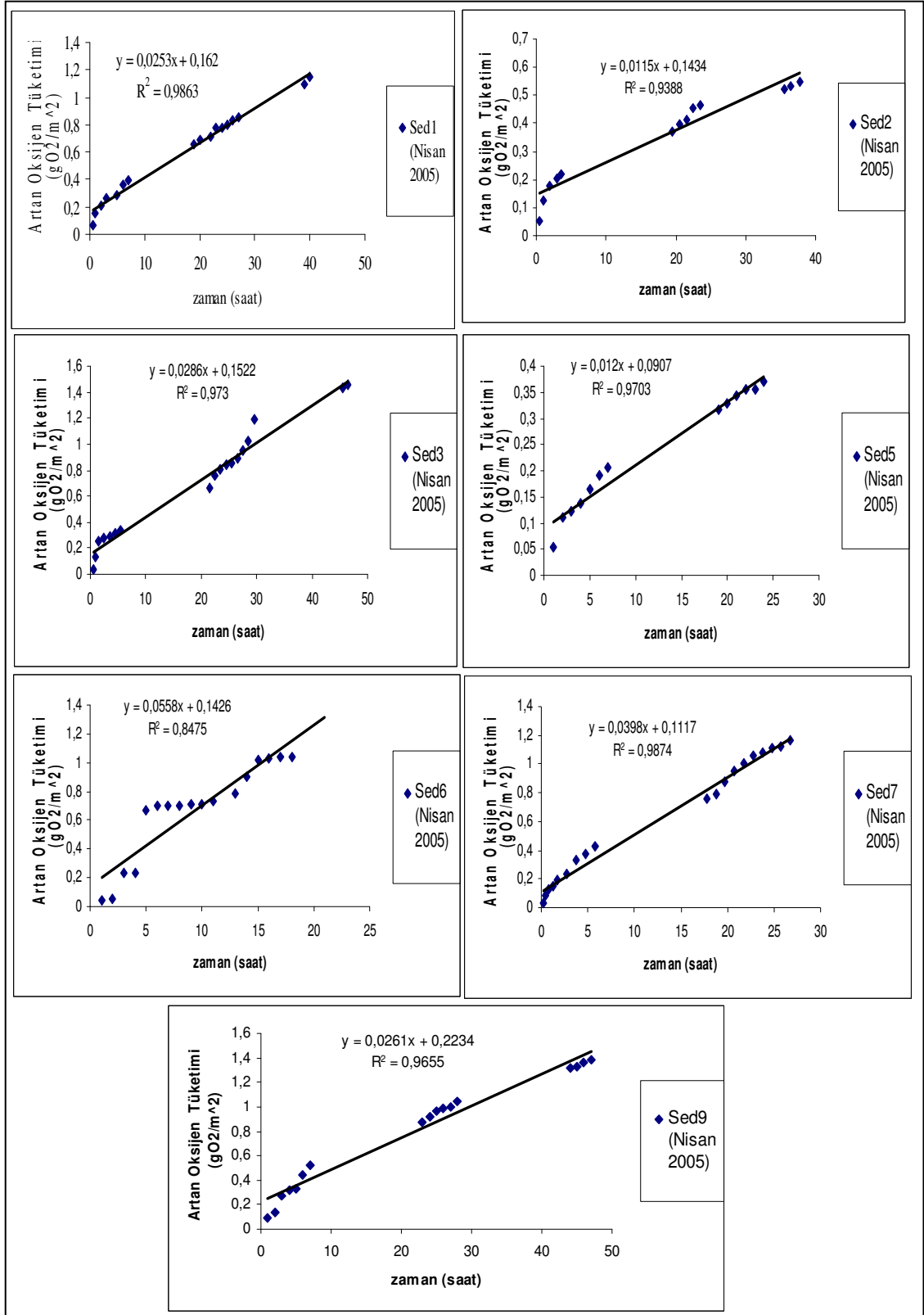
Kullanılan düzenekte SOİ belirleme çalışmaları, düzeneğin hazırlanma tarihinin Nisan 2005 olması dolayısıyla sadece iki mevsim (Nisan 2005 ve Temmuz 2005) olarak gerçekleştirilebilmiştir. SOİ ölçüm düzeneğine alınarak analiz edilen Nisan-

Temmuz 2005 sediman örneklerinde (Nisan ayında N4 nolu noktadan, Temmuz ayında ise N7 nolu noktadan ölçüm için yeterli miktarda sediman örneği alınamamıştır.) teorik olarak hesaplanan SOİ sonuçlarıyla karşılaştırma yapabilmek ve doğruluğunu test etmek amacıyla analitik olarak SOİ değerleri tekrar hesaplanmıştır. Analitik hesaplama yöntemi, Bölüm 4.2.1.1.'de açıklanan, BOİ şişelerinde inkübe edilen sediman örneklerinde ÇO ölçümlerine uygulanan metot (Hanes ve White, 1968) uyarınca yapılmıştır. Sediman örneklerinden bu yöntemle dayanarak elde edilen bulgular; grafiksel olarak hesaplanan SOİ değerleri ($\text{g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ sa}^{-1}$) Şekil 4.7-4.8'de, bu SOİ oranlarının $\text{O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak yeniden hesaplanan değerleri ise Tablo 4.10'da verilmiştir.

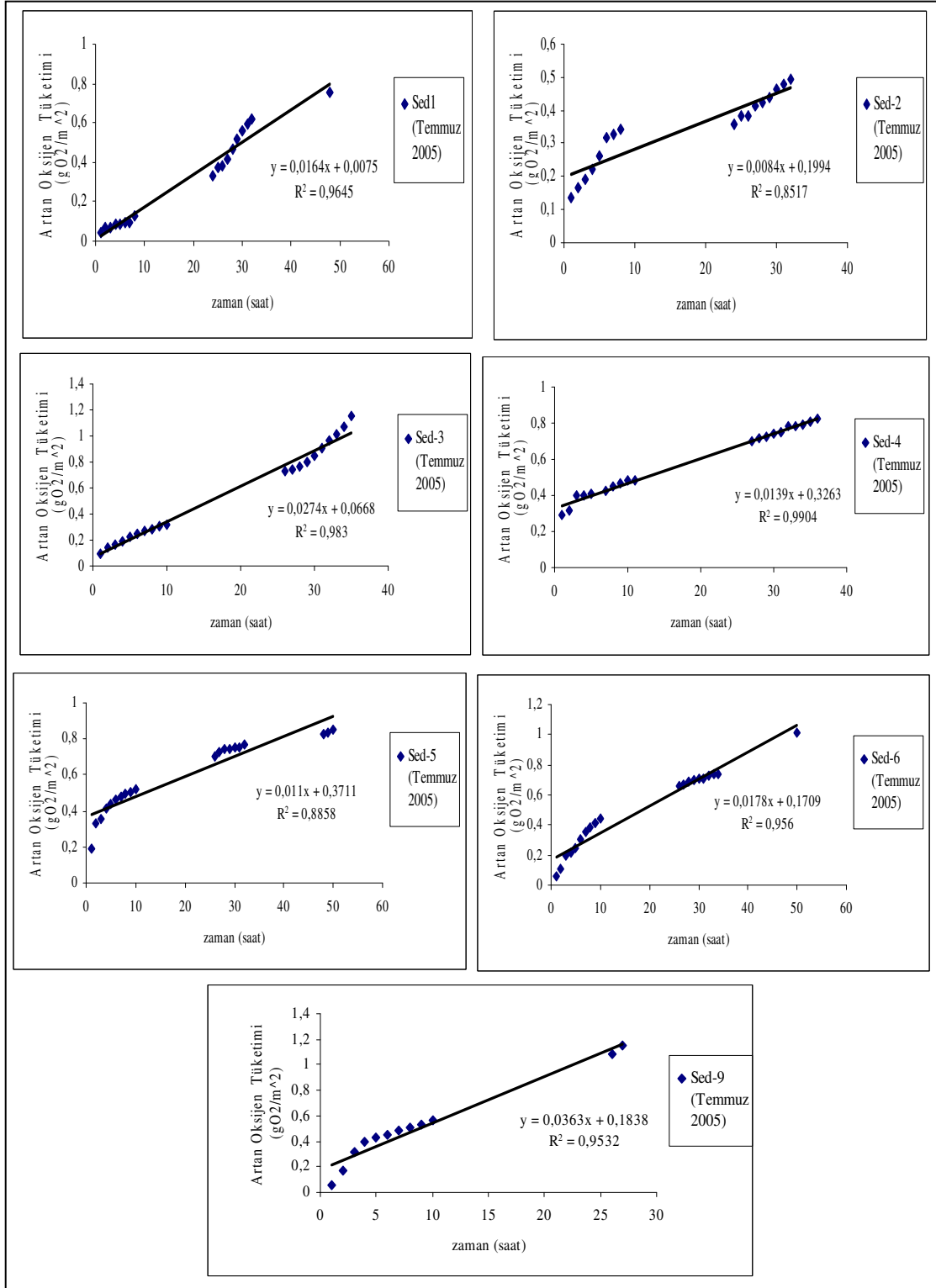
Tablo 4.10. SOİ Ölçüm Düzenine Alınan Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçları (Nisan-Temmuz 2005)

Örnekleme Noktası	SOİ ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{gün}$)	
	Nisan 2005	Temmuz 2005
N1 (Sed1)	0,6910	0,3770
N2 (Sed2)	0,3486	0,3702
N3 (Sed3)	0,7501	0,7897
N4 (Sed4)	- *	0,5484
N5 (Sed5)	0,3702	0,4080
N6 (Sed6)	0,6412	0,4870
N7 (Sed7)	1,0455	- *
N9 (Sed9)	0,7071	1,0237

(*) : Analiz edilememiştir.



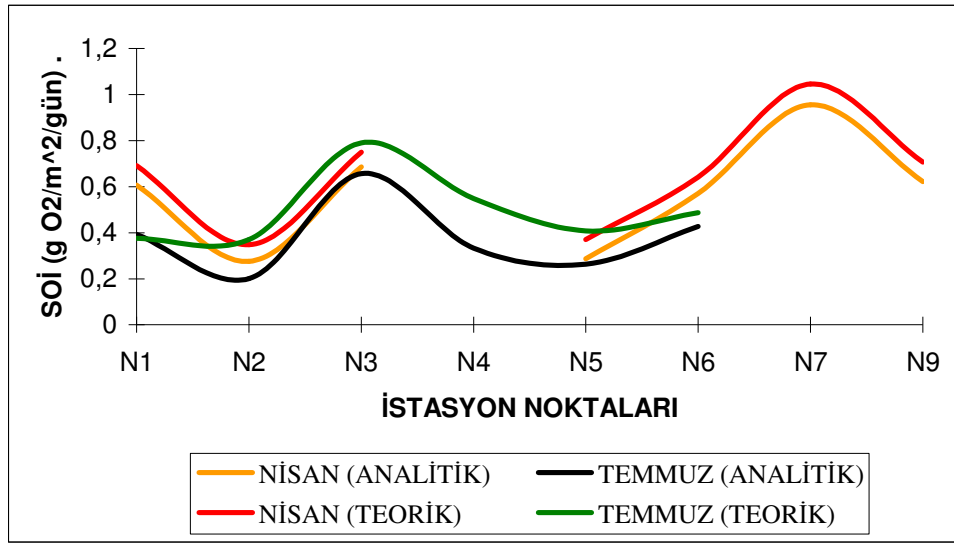
Şekil 4.7. SOİ Ölçüm Düzenine Alınan Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçlarının Değişimi (Nisan 2005)



Şekil 4.8. SOİ Ölçüm Düzeneğine Alınan Sedimanlarda Ölçülen Mevsimsel SOİ Sonuçlarının Değişimi (Temmuz 2005)

SOİ ölçüm düzeneğinde her sediman örneği için takip edilen ÇO değerlerinin sediman alanı ve yüzey suyu hacmine göre zamanla değişim gösterdiği prensibine dayanarak, teorik ve analitik yoldan hesaplanan SOİ değerlerine göre; minimum SOİ değerinin N2 nolu noktada Nisan ayında (teorik: 0,3486 g O₂ / m²gün, analitik: 0,2760 g O₂ / m²gün) bulunduğu, maksimum SOİ değerinin ise N9 nolu noktada (teorik: 1,0237 g O₂ / m²gün, analitik: 0,8712 g O₂ / m²gün) ortaya çıktığı görülmektedir. Teorik yoldan hesaplanan SOİ değerlerinin analitik yoldan hesaplanan SOİ değerlerinden daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir ayrıntı; N7 nolu noktada Temmuz 2005 sediman örneğinin SOİ ölçüm düzeneğinde analiz edilememesi nedeniyle N9 nolu noktanın temmuz ayında en yüksek SOİ değerine ulaşmış olarak görünmesidir (Şekil 4.9). Halbuki, N7 nolu noktanın Nisan ayı teorik/analitik SOİ ölçüm sonucunun N9 nolu noktanın her iki mevsim ölçüm değerine kıyasla daha yüksek olduğu açıkça söylenebilir.

Kızılırmak Nehrinin mevsimsel SOİ değerleri, SOİ ölçüm düzeneğinden elde edilen sonuçlara göre; Nisan 2005'te teorik yoldan hesaplandığında ortalama 0,6505 g O₂ / m²gün iken analitik hesap yöntemiyle ortalama 0,5729 g O₂ / m²gün, Temmuz 2005'te ise teorik hesap ile bulunan ortalama değer 0,5720 g O₂ / m²gün iken analitik olarak 0,4498 g O₂ / m²gün ortalama değerleriyle değişim göstermektedir. Bu yöntemle ulaşılan sonuçlar dikkate alındığında, Temmuz ayı verilerinin Nisan ayı verilerine göre daha az çıktığı başka bir deyişle, Temmuz ayı ÇO derişimindeki azalma hızının Nisan ayına göre daha yavaş olduğu söylenebilir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, nehir yatağı özelliklerine bağlı olarak ilkbahar aylarında ölçülen SOİ oranlarının yaz aylarındaki değerlerinden daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir (Sommaruga, R., 1991). Diğer bir araştırma sonucuna göre ise, çamur kıvamlı sedimanlarda çakıl / kumlu sedimanlara göre sıcaklık artışıyla paralel daha yüksek SOİ oranları tespit edilmiştir (Parr ve Mason, 2003). Bu iki mevsimlik ölçüm sonuçları baz alınarak denilebilir ki; nehrin genel ortalama SOİ değeri 0,6112 ile 0,5113 gO₂ / m²gün arasındadır.



Şekil 4.9. SOİ Ölçüm Düzeneğine Alınan Sedimanlarda İki Farklı Hesaplama Yöntemine Göre SOİ Sonuçlarının Mevsimsel Değişimi

İki farklı laboratuvar ölçüm yöntemini kendi aralarında değerlendirmek gerekirse; Temmuz 2005 için hesaplanan SOİ değerleri arasında pek fazla fark olmamasına karşın Nisan 2005 verilerinden elde edilen sonuçların birbirinden uzak olduğu söylenebilir. Bunun yanında, her iki yöntemle ulaşılan sonuçların 4 mevsim süresince karşılaştırılabilmesi mümkün olamamasına rağmen (SOİ ölçüm düzeneğinde sadece ilkbahar ve yaz döneminde çalışılmıştır.) mevcut sonuçların istatistiksel olarak değerlendirmesini yapmak ve iki metod arasındaki uyumu ortaya koymak mümkündür.

Laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, Windows tabanlı bir program olan Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi, SPSS (Statistical Package for Social Sciences) programından yararlanılmıştır. SPSS 12.0 for Windows programı; araştırmaya ilişkin değişkenlerin tanımlanması, verilerin kodlanarak veri sayfasına girilmesi, girilen veriler üzerinde düzeltmeler yapılması, verilerin birleştirilmesi, çeşitli ölçütlere göre gruplanması, veriler üzerinde istatistiksel analizlerin yapılması, grafik oluşturma, çıktı alma özellikleri ile sonuçların düzenli tablolar halinde çıkarılması ve diğer programlara aktarılması gibi veri analizi sürecine ilişkin bir çok konuda, kullanıcılara önemli imkanlar sağlamaktadır.

Bu araştırma kapsamında, uygulaması yapılan iki farklı SOİ ölçüm metodundan (ilk ölçüm metodu; BOİ şişelerinde diğeri ise tasarlanan SOİ ölçüm düzeneğinde) alınan SOİ değerleri arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı test edilmiştir. Bu amaçla, 1924 yılında Fischer tarafından geliştirilen, iki-faktörlü (yönlü) varyans analizi (Two-Way Analysis of Variance) testinden yararlanılmıştır. İki-yönlü varyans analizinde temel amaç bağımsız değişkenlerin (iki farklı ölçüm metodu) bağımlı değişken (SOİ oranları) üzerindeki ortak etkisini ölçmek ve aynı zamanda ayrı ayrı her iki değişkene ilişkin grupların bağımlı değişkene göre ortalamalarının karşılaştırılarak ortalamalar arasındaki farkın belirli bir güven düzeyinde (%95, %99 gibi) anlamlı olup olmadığını test etmektir.

Veriler doğru bir şekilde yerleştirildiğinde SPSS program menülerinde bulunan ‘Univariate Analysis of Variance’ altında gerekli hesaplamaları programın kendisi yapıp bir ANOVA tablosu oluşturur (Tablo 4.11).

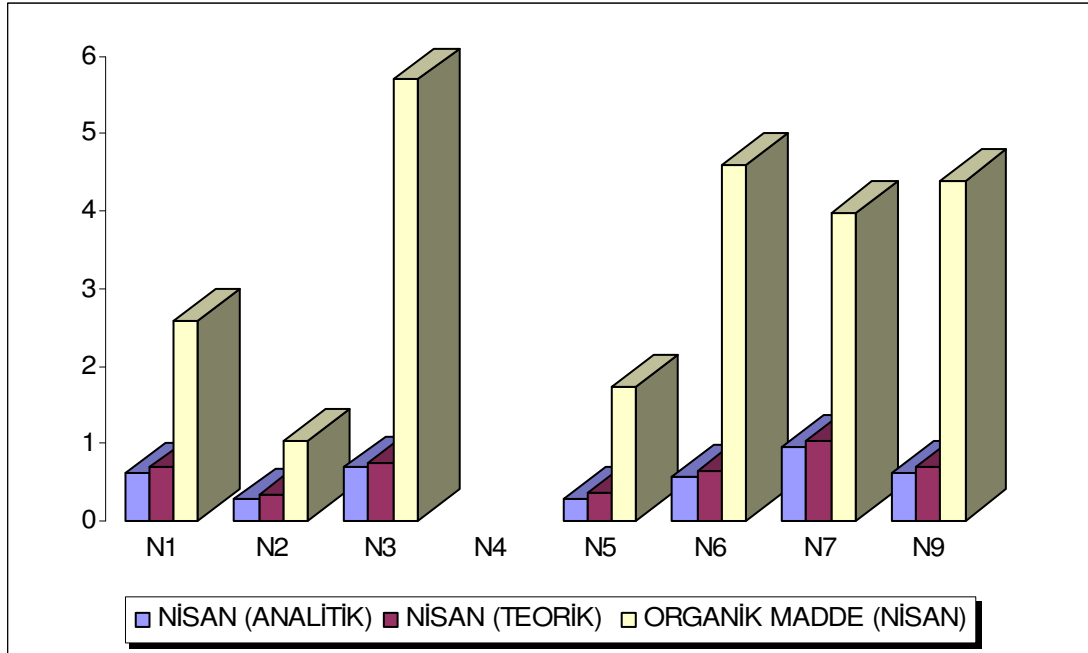
Tablo 4.11. SPSS Programı ile Oluşturulmuş İki-yönlü Anova Tablosu

Tests of Between-Subjects Effects					
Bağımlı Değişken : SMEAN(SOİ)					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,885 ^a	10	8,850E-02	5,004	,001
Intercept	8,857	1	8,857	500,761	,000
AY	4,444E-05	1	4,444E-05	,003	,960
YÖNTEM	,294	1	,294	16,610	,000
ÖLC_NOK	,591	8	7,389E-02	4,178	,003
Error	,442	25	1,769E-02		
Total	10,184	36			
Corrected Total	1,327	35			

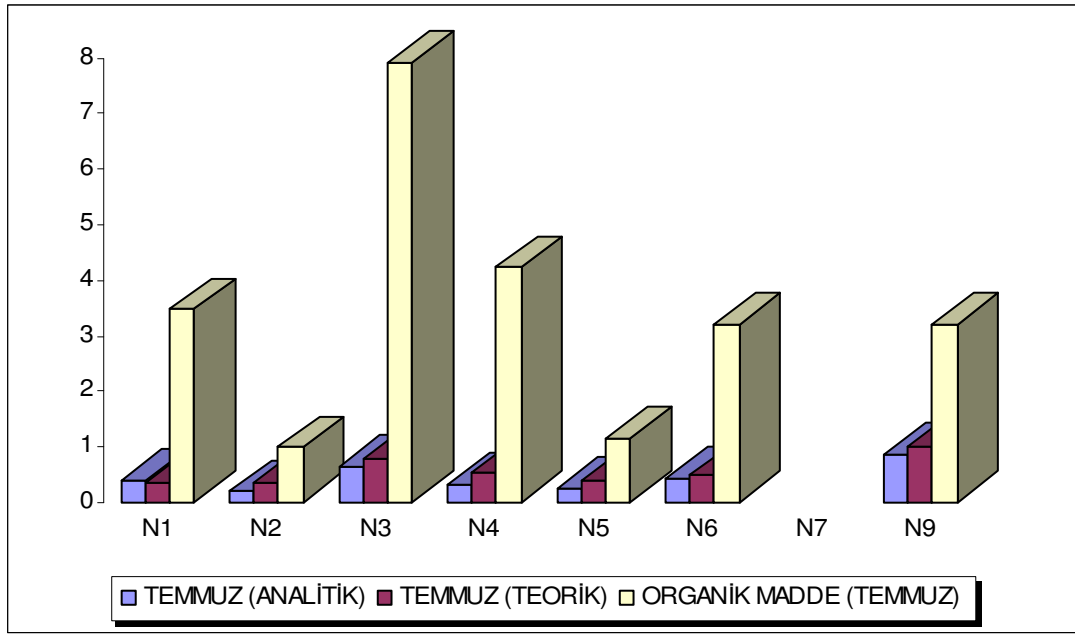
a. R Squared = ,667 (Adjusted R Squared = ,534)

SPSS programı ile oluşturulmuş Tablo 4.11’deki tabloya göre, % 95 güven aralığı için SOİ ölçüm sonuçları; sadece aylara göre anlamlı bir farklılık göstermezken ($F(2,18)=0,03$ $P>0,05$), ölçüm metoduna göre ise anlamlı bir farklılık göstermektedir ($F(2,18)=16,610$ $P<0,01$). Dolayısıyla, SOİ parametresinin belirlenebilmesi için laboratuvar ortamında geliştirilen iki ölçüm metodu arasındaki uyum istatistiksel olarak da doğrulanmıştır.

SOİ ölçüm düzeneği sonuçlarının aynı noktada sediman % organik madde içeriği ile ilişkisinin incelendiği Şekil 4.10 ve 4.11’de görülmektedir ki; nispeten yüksek organik madde içeriğine sahip sediman örneklerinde (N3 nolu noktada Nisan 2005’te % 5,7 iken Temmuz 2005’te % 7,91) SOİ değerlerinde de gözle görülür bir artış söz konusudur. Fakat bu artışın tüm noktalar için geçerli olduğu söylenemez. Dolayısıyla % organik madde ile SOİ oranları arasında yüksek bir korelasyon olduğunu tam anlamıyla belirtmek hatalı olacaktır. Bu karşılaştırma üzerine yapılan birkaç çalışmada da (Sommaruga, R., 1991; Kınacı C., ve diğ., 2004), akarsu özelliklerine bağlı olarak araştırmacılar tarafından benzer açıklamalar getirilmiştir.

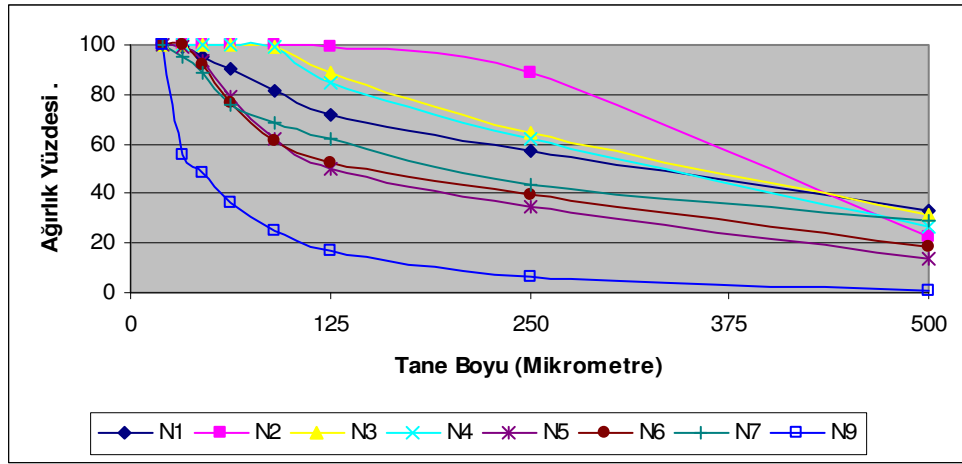


Şekil 4.10. SOİ Ölçüm Düzeneğine Alınan Sedimanlarda SOİ Sonuçları ile % Organik Madde İçeriği Değişimi (Nisan 2005)

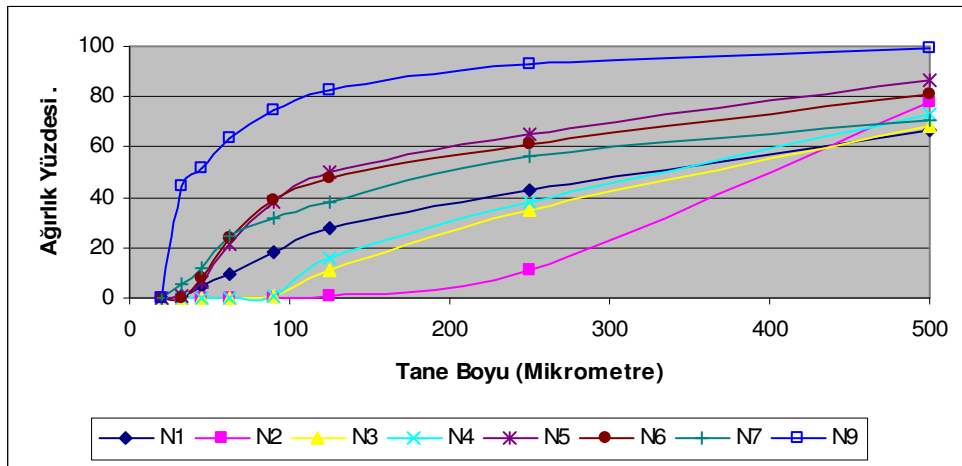


Şekil 4.11. SOİ Ölçüm Düzenine Alınan Sedimanlarda SOİ Sonuçları ile % Organik Madde İçeriği Değişimi (Temmuz 2005)

Çevresel sediman araştırmalarında, tane boyutu dağılım eğrileri dikkatlice çalışılmalıdır. Bu eğriler, kümülatif % sıklık dağılım eğrileridir ve örneğin tane boyutuna göre kümülatif % ağırlığını gösterirler. Tane boyutu dağılımını veren eğrileri iki farklı kategoride ele almak mümkündür. Bunlardan birincisi (kümülatif % geçen ağırlık), her biri kendisinden bir öncekine göre daha ince tane boyutunun gösterildiği orandır. Diğer bir eğride (kümülatif % kalan ağırlık), bu oran ise her biri kendisinden bir öncekine göre daha kaba tane boyutunu gösterir. Temel olarak, her bir tane boyu için bu eğriler yardımıyla, örneğin ne kadar ince veya kaba taneli olduğu anlaşılabilir (Pfannkuch ve Paulson, 2005). Kızılırmak Nehir yatağından alınan sediman örneklerinde tane boyu dağılımının belirlenebilmesi için literatürde açıklandığı üzere, laboratuvar ortamında yapılan bir dizi çalışma sonucunda (Bölüm 3.3) yüksek kum içeriği ve düşük organik madde içerdiği tespit edilmiştir. Her bir sediman örneği için yürütülen tane boyu dağılım sonuçlarını gösteren eğriler Şekil 4.12’te kümülatif % kalan ağırlık olarak, Şekil 4.13’de ise kümülatif % geçen ağırlık olarak verilmiştir.



Şekil 4.12. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde Tane Boyu Dağılım Eğrisi (Kümülatif % Geçen Ağırlık)



Şekil 4.13. Kızılırmak Yüzey Sediman Örneklerinde Tane Boyu Dağılım Eğrisi (Kümülatif % Kalan Ağırlık)

Tane boyu dağılım eğrileri incelendiğinde, sediman partikül boyutunun denize doğru gidildikçe azalmakta olduğu, özellikle N9 nolu örnekleme noktasında baskın partikül boyutunun 20 μm ile silt özelliği taşıdığı görülmektedir. Örnekleme noktalarında ana partikül boyutunun 250-500 μm tane boyu arasında değişim gösterdiği dolayısıyla yoğun kum içeriği ile (Bölüm 2.4.2 Sedimanda Tane Boyutları (Hillel, R., (Ed.), 2001) sonuçlanan analiz bulgularının, tüm alanları kum-çakıl karışımı olan nehir yatağının büyük bir kısmını tanımlar nitelikte olduğunu söylemek mümkündür.

Yüksek kum içeriği ile çok az organik madde içeren sedimanlarda çok düşük SOİ oranları ($0,5-1 \text{ g/m}^2$ gün $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de) gözlemlenirken, ortalama miktarda organik madde içeren siltli sedimanlarda SOİ oranları ($1-3 \text{ g/m}^2$ gün $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de) oluşmakta, bununla birlikte fazla miktarda organik madde ile kirlenmiş alanlarda çok yüksek SOİ oranları bulunabilmektedir (Wang, 1980; Rounds ve Doyle, 1997). Kızılırmak nehir yatağının karakteristik analiz sonuçları dikkate alındığında; tane boyu dağılımı, % organik madde içeriği gibi, literatürde çeşitli akarsularda ölçülen SOİ değerlendirme sonuçlarına (Tablo 4.12) göre, Kızılırmak, $0,2477 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ ile $0,5113 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ arasında ortalama SOİ değerleri taşımasıyla nispeten temiz ve yüksek su yenileyebilme kapasitesine sahip bir akarsudur.

Tablo 4.12. Yüzey Sedimanlarında SOİ Ölçümünün Yapıldığı Çeşitli Araştırmalar

Çalışma alanı	Yöntem	SOİ ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{gün}$)	Araştırmayı Yapan
Baltık Denizi	Yerinde	0,92	Edberg ve Hofsten, 1973
	Laboratuvar	0,40	
Mouth of fox Nehri	Yerinde	1,90	Patterson ve diğ., 1975
	Laboratuvar	0,48	
	Yerinde	4,8	USEPA, 1976
	Laboratuvar	11,0	
Croix Nehri	Yerinde	1,90	Nolan, 1977
	Laboratuvar	1,80	
Wisconsin Nehri	Yerinde	0,022-0,92	Bowie ve diğ., 1985
New Jersey Nehri		1,1-12,8	
Tennessee-Tombigbee Waterway	Yerinde	0,754-0,609	Truax ve diğ., 1995
	Laboratuvar	0,762-0,393	
Vessup Bay	Yerinde	1,90-3,69	Ramos, O., 1999
Klamath Lakes	Yerinde	1,3 (% 10 TOK) 3,2 (% 26 TOK)	Wood, T., 1999
Arroyo Colorado Nehri	Yerinde	0,15 (BOİ ₅ :3,14 mg/L) 0,88 (BOİ ₅ :3,07 mg/L)	Matlock ve diğ., 2003
Tualatin Nehri Havzası	Yerinde	0,22 (11 NTU) 0,41 (31 NTU)	Doyle ve Rounds, 2003

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanı olarak Kızılırmak Nehir Havzası'nın seçildiği, “Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)” parametresinin belirlenmesine yönelik bu tez çalışmasıyla bölge genelinde bu konuda yapılacak ileri düzeydeki çalışmalara ön ayak olabilecek, arazi ve laboratuvar koşullarında SOİ ve su/sediman kalite analizlerinin birlikte değerlendirildiği bir araştırma yürütülmüştür.

Sediman ve yüzeyini kaplayan sudaki gazların değişimi, yüzey sularında biyolojik ve jeo-kimyasal prosesler için temel oluşturur ve sediman tarafından oksijen alımı bu sürecin ölçülmesinde en iyi yoldur. SOİ, bir su bünyesinin dip kısmında, sediman üzerinde yada içeriğinde kimyasal ve biyolojik oksijen tüketim oranı olarak tanımlanmaktadır (Veenstra ve Nolen,1991). Farklı alanlar arasında SOİ ölçümleri gösterilmektedir. Fakat, bir alandaki değişimlerin uzun süreli izlenmesi gibi değişime yol açan kaynakların değerlendirilmesine yönelik çok az araştırma yönetilmektedir (Truax ve diğ., 1995). Deşarj limitleri belirlemede kullanılabilecek su kalite modelleme çalışmalarında SOİ oranı sıklıkla tahmin edilmekte yada hesaplanmakta olduğundan bu konu önem taşımaktadır. (Di Toro ve diğ., 1990). Bu varsayımlardaki hatalar önemli çevresel ve finansal maliyetlere sahip olabilmektedir. Bazı nehirlerde, SOİ toplam oksijen tüketiminin %50 sinden daha fazlası kadarını karşılamakta, bu da su kalitesi modelleme çalışmalarında bu parametrenin kritik bir eleman olmasını beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla SOİ, bir sistemdeki su kalitesinin değerlendirilmesinde temel bir bileşendir (Higashino ve diğ., 2004)

Sediman oksijen ihtiyacı, yeniden mineralize olan organik maddelerin oranı hakkında bilgi vermesinin yanında sediman metabolizmasının bütünsel bir ölçümünü sunabilir. Bu değişken, iki ayrı prosesten kaynaklı oksijen ihtiyacını içerir: a) sedimanda yaşayan tüm organizmaların solunum gereksinimlerini karşılayacak kadar çözünmüş oksijenin alındığı biyolojik solunum, b) sedimanda mevcut indirgenmiş iyon ve maddelerin abiyotik oksidasyonu nedeniyle oksijenin tüketildiği kimyasal oksidasyon (Sommaruga, 1991). Bu bağlamda, bentik oksijen dinamikleri, su tabakalaşması ya da üretime bağlı sediman oksijen ihtiyacı (SOİ) miktarını veya

SOİ'nin en uç noktalara ulaşma zamanını kontrol etmede belirleyici bir rol oynar. Bu nedenle, sığ kıyı çevrelerde SOİ'nin sorumlu olduğu prosesleri tanımlamak ve miktarını tayin etmek önemlidir.

Arazi koşullarının yerinde görülmesi ve örnekleme noktalarının tespiti için yapılan ilk inceleme (Temmuz 2004) ile birlikte toplam 5 kez (Ekim 2004 – Şubat – Nisan – Temmuz 2005) çalışma alanında örnekleme yapılması ile kalite analizleri için doğru ve güvenilir sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Her örnekleme istasyonundan su/sediman örnekleri, literatürde bahsedilen örnek alma ve saklama koşulları dikkate alınarak toplanmış, yerinde ve laboratuarda, daha önceden belirlenen testler örneklere uygulanmıştır.

Kızılırmak nehri yüzey suyu kalitesinin ortaya konulduğu su kalite analiz sonuçları, yüzey suyunun Çevre Mevzuatı – Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıta içi su kalite sınıflandırmasına göre genelde 2. sınıf su kalitesi sergilediği tespit edilmiştir.

Yüzey sediman örneklerinde ölçülen % organik madde miktarı incelendiğinde, genelde % su miktarının yüksek, su derinliğinin; dolayısıyla yüksek debinin ve sediman taşınımının fazla olduğu noktalarda daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

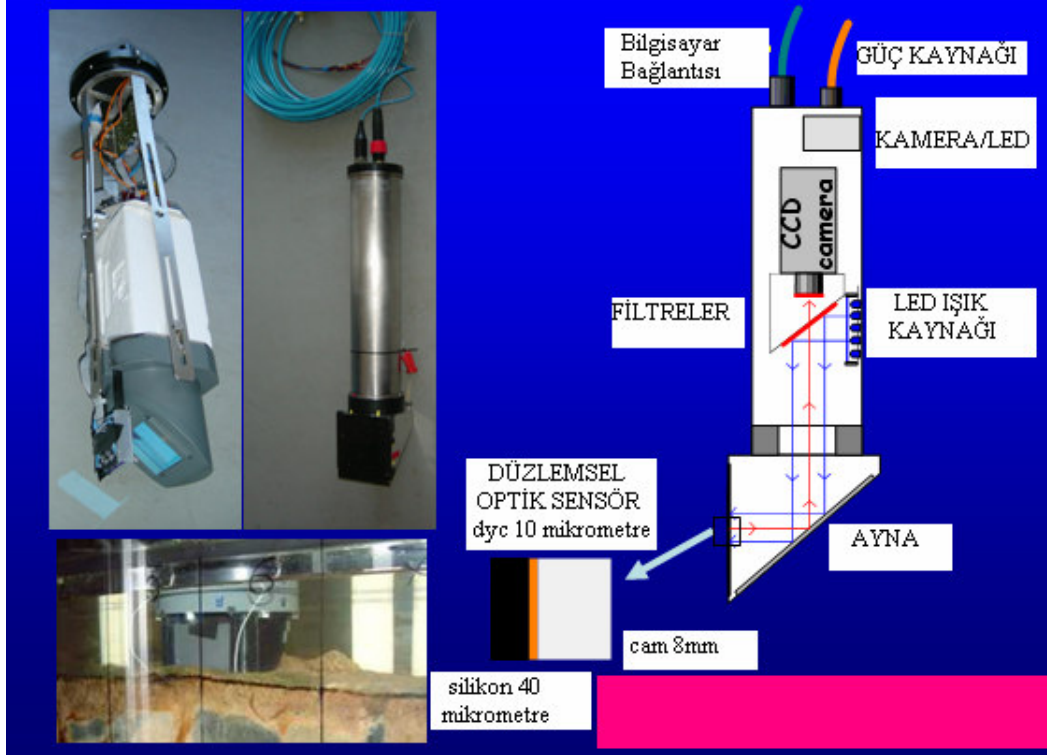
Bu çalışmada, SOİ ölçümleri, sediman örneklerinin, laboratuvar ortamında iki farklı yöntemle; 2-5 gün süre ile 20 °C'de 300 ml'lik BOİ şişelerinde inkübe edilmesi ve yeniden dizayn edilen SOİ ölçüm düzeneğinde analizi ile yürütülmüştür. İlk yöntemin sediman örneklerine uygulanması ile elde edilen maksimum SOİ değerlerine Temmuz 2005 örneklerinde (0,6264 gO₂ / m²gün), minimum SOİ değerlerine ise Ekim 2004 (0,048 gO₂ / m²gün) örneklerinde ulaşılmıştır. Nehrin genel ortalama SOİ oranı, bu ilk yöntem sonuçlarına göre 0,2477 gO₂ / m²gün'dür.

SOİ ölçüm düzeneğinden elde edilen sonuçlara göre; Nisan 2005'te teorik yoldan hesaplandığında ortalama 0,6505 g O₂ / m²gün iken analitik hesap yöntemiyle

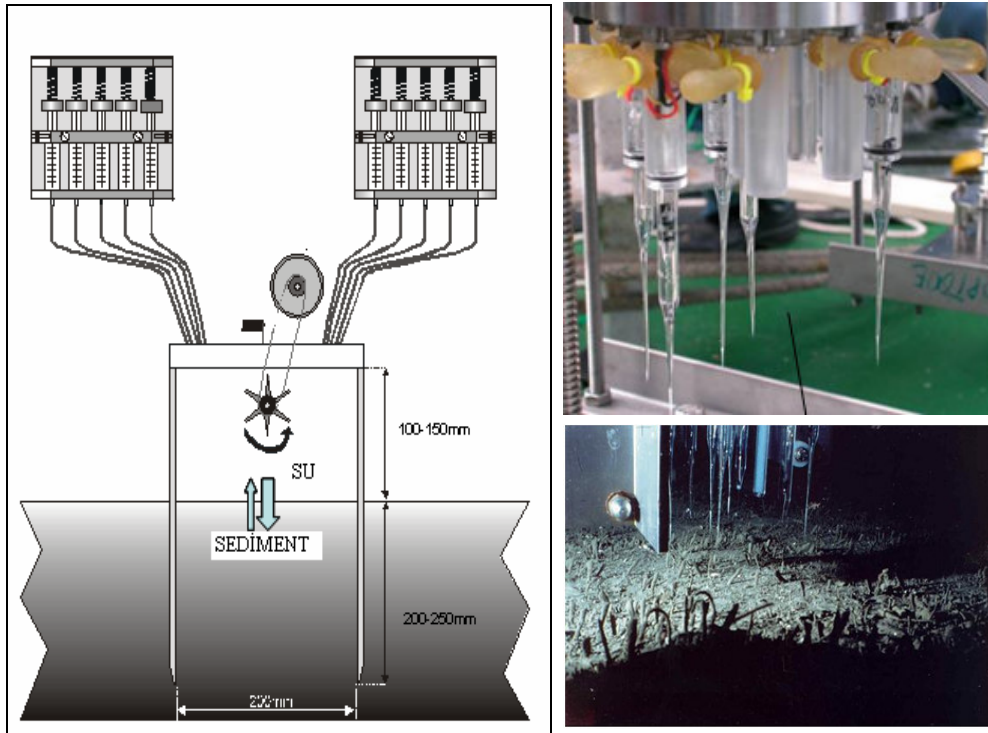
ortalama $0,5729 \text{ g O}_2 / \text{m}^2\text{gün}$, Temmuz 2005'te ise teorik hesap ile bulunan ortalama değer $0,5720 \text{ g O}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ iken analitik olarak $0,4498 \text{ g O}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ ortalama değerleriyle değişim göstermektedir. Bu iki mevsimlik ölçüm sonuçları uyarınca nehrin genel ortalama SOİ değeri $0,6112$ ile $0,5113 \text{ gO}_2 / \text{m}^2\text{gün}$ arasındadır.

Çalışma sonunda, SOİ yöntem-biliminin ulusal ölçekte değerlendirilip geliştirilmesine katkıda bulunacak literatür çalışmalarıyla desteklenmiş bulgular elde edilmiştir. Farklı yüzey sularında yürütülecek çalışmalarda (özellikle haliçler, gemi taşımacılığının yoğun olduğu limanlar gibi), bu tez çalışmasında geliştirilen teknikler yardımıyla belirlenecek, bölgeye özgü sediman kalitesi ve sediman oksijen ihtiyacı parametresinin, olası tarama faaliyetleri için düşünülen izleme programlarında etkin bir eleman olarak kullanılabilmesi öneri olarak sunulabilir. Günümüzde, SOİ tayini için gelişmiş teknolojilerle desteklenen ölçümler yerinde ve laboratuarda yapılabilmektedir. Dolayısıyla SOİ ölçümünde daha iyi sonuçların alınabilmesi ve karşılaştırma yapılabilmesi için yeni geliştirilen yöntemlerle (örneğin, yerinde düzlemsel optik sistem ve/veya mikro-elektrot/sensörler aracılığıyla bentik oksijen dinamiklerinin doğrudan ölçümü ve kara-kutu yaklaşımı (Rabouille ve diğ., 2003; Wenzhöfer ve Glud N.R. 2004; Staahl ve diğ., 2005) bu çalışmayı bir adım ileriye taşımak mümkün olabilir (Şekil 5.1 ve 5.2).

Ölçülen bu arazi ve laboratuvar verileri, Kızılırmak için sayısal su kalite modellerinin geliştirilmesi halinde yararlı olabilecek parametreleri sağlamasının yanında su/sediman kalitesinin ortaya konulmasında da faydalı olabilecektir.



Şekil 5.1. Yerinde Düzlemsel Optik Sistem (Wenzhöfer ve Glud N.R. 2004)



Şekil 5.2. Kara-Kutu Yaklaşımına Uyarlanan SOİ Ölçüm Odası ve Yerinde Mikro-Elektrot Uygulama Örneği (Staahl ve diğ., 2005)

KAYNAKLAR

1. **APHA, AWWA, WPCF 1995.** Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 18th Ed., Washington.
2. **Apitz S.E., White S. 2003.** A conceptual framework for river-basin-scale sediment management. *Journal of Soils and Sediments* 3(3):132–138.
3. **AQEM 2002.** Final periodic report. The development and testing of an integrated assessment system for the ecological quality of streams and rivers throughout Europe using benthic macroinvertebrates (AQEM). EC Contract No.: EVK1-CT-1999-00027.
4. **Arıman, S., 2004.** ‘Sediman Kalite İzleme ve Değerlendirme Çalışmaları’, Doktora Semineri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun, 57 sayfa.
5. **Asan, T., Erden, Y. K., Özoral, E., 2002.** “Bafra Ovası Deltası Kızılırmak Nehri-Karadeniz Birleşimindeki Kıyı Erozyonunda Alınan Önlemler”, IV. Kıyı Mühendisliği Ulusal Semp., Bildiriler Kitabı, Cilt: I, Antalya, 189-199.
6. **ASTM, 2000a.** Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. p. 768-788. In: 2000 ASTM Standards on Env. Sampling. Vol. 11.05 Conshohocken, PA.
7. **ASTM, 2000b.** E729-96 Standard guide for conducting acute toxicity tests with fishes, macroinvertebrates, and amphipods. P.218-238. In:2000 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.05, Conshohocken, PA.
8. **Bakan G., Balkaş T., 1997.** Sapanca Gölünün ötrofik durumu ve sediman (dip çamur) karakterinin belirlenmesi, Katı Atık ve Çevre, Ekim, s.18-25.
9. **Bakan, G., 2000.** Çevre Sedimentolojisi ve Sediman Kalite Kriter Çalışmaları, Çevre Bilim ve Teknoloji, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 14-23.
10. **Barcelona M., J., 1983.** Sediment oxygen demand Fractionation, Kinetics and reduced chemical substances. Wat. Res. Vol. 17, No.9, pp. 1081-1093.
11. **Baumgartner D. J. ve Palotas G. (major contributors) 1970.** The Oxygen Uptake Demand of Resuspended Bottom Sediments. Water Pollution Control Research Series, Water Quality Office, USEPA, 16070 DCD 09/70, p.36.
12. **Bowman, G.T., and Delfino, J. J., 1980.** Sediment Oxygen Demand Techniques: a Review and Comparison of Laboratory and In situ Systems. Wat. Res. 14: 491-499.

13. **Bradley R., and James A., 1968.** A new method for the measurement of oxygen consumption in polluted rivers. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 67, 462-465.
14. **Brewer W. S., Abernathy A. R., and Paynter M. J., 1977.** Oxygen consumption by fresh water sediments. *Water Res.* 11, 471-473.
15. **Butts, T. A., 1974.** Measurement of sediment oxygen demand characteristics of the Upper Illinois waterway. Report of Investigation 76. Illinois State Water Survey Urbana, IL., 32 p.
16. **CEPA (California Environmental Protection Agency), 2003.** Revised workplan for the development of sediment of sediment quality objectives for enclosed bays and estuaries of California. Sacramento, California 95814.
17. **Chau K. W., 2002.** Field measurements of SOD and sediment nutrient fluxes in a land-locked embayment in Hong Kong. *Advances in Env. Research* 6, 135-142.
18. **Chou, L., Davison W., Eisenreich S. J., and Gat J. R., 1995.** Physics and Chemistry of Lakes. Springer, A.Lerman, D. Imboden, and J. Gat (eds.), 332 pp.
19. **Cole, G.A. 1983.** Textbook of Limnology. The C.V. Mosby Company St. Louis, p. 1-401, Toronto, London.
20. **Committee Staff on Restoration of Aquatic Ecosystem (Editor), 1992.** Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy, Washington, DC, USA: National Academies Press, p 165. (<http://site.ebrary.com>)
21. **Di Toro, Dominic M., Paul R. Paquin, Karupannan, Subburamu, and David A. Gruber, 1990.** Sediment oxygen demand model: methane and ammonia oxidation. *Journal of Environmental Engineering* 116(5):945-988.
22. **Doyle M. C., and Rounds S. A., 2003.** The effect of chamber mixing velocity on bias in measurement of sediment oxygen demand rates in the Tualatin River Basin, Oregon. *Water Res. Investigations Report* 03-4097.
23. **DSİ, 1986,** Bafra Projesi Planlama Revizyon Raporu, DSİ 7. Bölge Md., Samsun.
24. **Duran M. ve Demirer G.N., 1997.** Su Arıtımında Temel İşlemler, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 203s.
25. **Edberg N., and Hofsten B. V., 1973.** Oxygen uptake of bottom sediments studied in situ and in the laboratory, *Water Res.* 7, 1285-1294.

26. **Edwards R. W., and Rolley H. L. J., 1965.** Oxygen consumption of river muds. *J, Ecol.*, 53,1-19.
27. **EEA (European Environment Agency), 1998.** Europe's environment: the second assessment. EEA, Copenhagen.
28. **SedNet (European Sediment Research Network), 2004a.** Synthesis of SedNet WP2 – WP5 workshops, Final, Editors; Owens, P., Barcelo D., Petrovic M., Bortone G., Heise S., Apitz S., and Brils J., 13 October 2004, TNO, The Netherlands, 27p.
29. **SedNet (European Sediment Research Network), 2004b.** Final Version; Contaminated Sediments in European River Basins, Editors; Salomons W., and Brils J., 29 December 2004, The Netherlands, 47p.
30. **Fair G. M., Moore E. W. ve Thomas H. A. Jr. 1941.** The Natural Purification of River Muds and Pollutational Sediments. *Sewage Wks J.* 13. 270-307;756-778.
31. **Fillos J. ve Molof A. H., 1972.** Effects of Benthic Deposits on Oxygen and Nutrient Economy of Flowing Waters, *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 44, 644-662.
32. **Golterman, H.L., Sly, P.G., Thomas R.L., 1983.** Study of The Relationship between Water Quality and Sediment Transport , UNESCO, Technical Papers in Hydrology 26, France.
33. **Gonzalez A. M., 1995.** A laboratory formulated sediment incorporating synthetic acid volatile sulfide. Abstr. PH135, p.310. Annu Meet. Society for Environmental Toxicology and Chemistry, Vancouver, B.C.
34. **Hakanson, L. And Jansson, M., 1983.** Principles of Lake Sedimentology, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, Newyork.
35. **Hanes NB, Irvine RL., 1968.** New Techniques for Measuring Oxygen Uptake Rates of Benthic Systems. *J Water Pollut Control Fed*, 40:223±32.
36. **Hanes N. B. And White T. M. 1968.** Effects of Seawater Concentration on Oxygen Uptake of a Benthic System, *J. Wat. Pol. Control Fed.* 40, R272-280.
37. **Hargrave B. T., 1972.** Oxidation-Reduction Potentials, Oxygen Concentration and Oxygen Uptake of Profundal Sediments in a Eutrophic Lake. *Oikos* 23, 167-177.
38. **Hatcher K. J. 1986.** Sediment Oxygen Demand Modelling. In *Sediment Oxygen Demand: Processes, Modelling and Measurement* (Edited by Hatcher K. J.), pp. 113-120. Inst. Nat. Res., Univ. Of Georgia, Athens, Ga.

39. **Hayes F. R. and MacAulay M. A. 1959.** Lake Water Sediment- V. Oxygen Consumed in Water over Sediment Cores. *Limnol Oceanogr.*,4. 291-298
40. **Higashino,M., Gantzer, C.J.,Stefan, H.G., 2004.** Unsteady Diffusional Mass Transfer at the Sediment/Water Interface: Theory and Significance for SOD Measurement. *Water Res.* 38., 1-12.
41. **Higashino,M., Stefan, H.G., 2005.** Sedimentary microbial oxygen demand for laminar flow over a sediment bed of finite length. *Water Research* 39., 3153-3166.
42. **Hillel, R., (Editor), 2001.** Environmental Fluid Mechanics, New York, NY, USA: Marcel Dekker Incorporated, p 647. (<http://site.ebrary.com>)
43. **Ho, K. T., Kuhn, A., Pelletier M. C., Burgess, R. M., and Helmstetter, A. 1999.** Use of *ulva lactuca* to distinguish pH-dependent toxicants in marine waters and sediments. *Env. Toxicology and Chemistry* 18(2): 207-212.
44. **Hoss, S., Haitzer, M., Traunspurger, W., and Steinberg C.E.W. 1999.** Growth and fertility of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda) in unpolluted freshwater sediments: Response to particle size distribution and organic content. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18(12):2921-2925.
45. **<http://www.esf.edu/efb/schulz/Limnology/dissolvedgas.html>,** Lecture- Water Chemistry – Dissolved Gases – Oxygen.
46. **Işık M., Topaloğlu B., Bakan G., 1999.** “Kızılırmak Deltası Drenaj Kanallarında Kirlilik Araştırması”, *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt: 8, Sayı 31, 14-19.
47. **Jackson M. L., 1958.** Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
48. **James A. 1974.** The Measurement of Benthic Respiration. *Water Res.* 8, 955-959.
49. **Karpuzcu M., Prof. Dr., 1994.** Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, 4. Baskı, İstanbul.
50. **Kinaci, C., Inanc B., Aydın A. F., Yuksel E., Sevimli M. F., Arıkan O., and Topacik D., 2004.** Quality of the bottom sediment prior to dredging in the Golden Horn of İstanbul. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Subs. Env. Eng.*, Vol.A39, No.2, pp. 365-374.
51. **Knowles G., Edwards R. W., and Briggs R., 1 962.** Polarographic measurement of the rate of respiration of natural sediments. *Limnol Oceanogr.* 7, 481-484.

- 52. Lasenby D. C., 1975.** Development of oxygen deficits in 14 southern Ontario lakes. *Limnol. Oceanogr.* 20, 993-999.
- 53. Lee, J. H. W., Kuang C. P., and Yung K. S., 2000.** Analysis of three-dimensional flow in a cylindrical sediment oxygen demand chamber. *Applied Math. Modelling* 24/263-278.
- 54. Leppard, G. G., Buffle, R. R. De Vitore, and Pereet D. 1988.** The Ultrastructure and Physical Characteristics of a Distinctive Colloidal Iron Particulate Isolated from a Small Eutrophic Lake. *Archives Hydrobiology* 113:405-424.
- 55. Lijklema, L., 1993.** Considerations in modelling the sediment-water Exchange of phosphorus, *Hydrobiologia*, Vol.253, pp. 219-231.
- 56. Lucas A.M. and Thomas N. A. 1972.** Sediment Oxygen Demand in Lake Erie's Central Basin, in Project Hypo, N.M. Burns and C.Ross. Ed., CCIW paper no.6 and USEPA Report TS-05-71-208-24, p. 781-787
- 57. Martin DC, □ela DA. 1971.** Effect of mixing on oxygen uptake rate of estuarine bottom deposits. *J Water Poll Control Fed*;43:1865-76.
- 58. Martin L.R. 2002.** Regional Sediment Management. Institute for Water Resources. Report 02-PS-2. Prepared for US Army corps of engineers.
- 59. Matlock M. D., Kasprzak K. R., and Osborn G. S., 2003.** Sediment oxygen demand in the Arroyo Colorado River. *J. of the American Wat. Res. Association.* JAWRA, April.
- 60. McCauley, D.J., DeGraeve, G.M., Linton, T.K., 2000.** Sediment Quality Quilenies and Assessment: Overview and Research Needs. *Environmental Science &Policy*, 3, 133-144.
- 61. McCave, I. M., and Jarvis, J. 1973.** Use of the Model T Coulter Counter in Size Analysis of Fine to Coarse Sand. *Sedimentology* 20:305-315.
- 62. McConkey, S., Bartosova, A., Lin, L., Andrew, K., Machesky, M., and Jennings, C., 2004.** "Fox River Watershed Investigation –Stratton Dam to the Illinois River: Wat. Quality Issues and Data Report", Fox River Study Group, Inc. and Illinois EPA, Chp.6. (ILRDSS Phase I Report).
- 63. McDonnell AJ, Hall SD.1969.** Effects of mixing on environment factors on benthic oxygen uptake. *J Water Pollut Control Fed* ,41:R353 ± 63.
- 64. McKeown J. J., Benedict A. H. and Locke G. M. 1968.** Studies on the Behavior of Benthic Deposits of Wood Origin, *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 40, R333.

- 65. Middelkoop H. 1997.** Embanked floodplains in the Netherlands geological evolution over various time scales. *Nederl Geogr Stud* 224, 1-341.
- 66. Morisawa M. 1985.** Rivers, form and process. Longman geomorphology texts Vol. 7. Longman, London, 222 pp.
- 67. Mualler J. A., and Su W. J. 1972.** Benthic oxygen demands and leaching rates of treated sludge. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 44, 2303-2315.
- 68. Mudroch, A. And Azcue J. M. 1995.** Manual of Aquatic Sediment Sampling. CRC/Lewis, Boca Raton, FL.
- 69. Mudroch, A. And MacKnight, S.D. 1994.** CRC Handbook of Techniques for Aquatic Sediment Sampling, 2nd Ed., CRC Pres, Boca Raton, FL, 210 pp.
- 70. Neame P. A. 1975.** Oxygen uptake of sediments in Castle Lake, California, *Verh. Int. Verein. Limnol.* 19, 792-799.
- 71. Nolan P. M. 1977.** Personal communication to R. Martini, Wisconsin Department of Natural Resources, Rhinelander. WI. April 25.
- 72. Nolan P. M., and Johnson A. F., 1978.** Sediment oxygen demand investigation St. Croix River, Maine USA and New Brunswick, Canada, USEPA, New England Regional Laboratory, Lexington, Massachusetts. 23p.
- 73. OHIO-EPA (State of Ohio Environmental Protection Agency), 2001.** 'Sediment Sampling Guide and Methodologies', 2nd. Edition, Taft R. A. (Governor) and Jones C. (Director), Lazarus Government Center.
- 74. Oldaker W. H., Burgum A. A., and Pahren H.R., 1968.** Pilot-plant studies of benthic oxygen demand of river bottom sediments. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 40, 1688-1701.
- 75. Oldeman L. R. et al. 1991.** GLASOD world map of the status of human-induced soil degradation. ISRIC, Wageningen and UNEP, Nairobi.
- 76. Palmer M.A., Covich A.P., Lake S., Biro P., Brooks J.J., Cole J., Dahm C., Gibert J., Goedkoop W., Martens K., Verhoeven J., van de Bund W.J. 2000.** Linkages between aquatic sediment biota and life above sediments as potential drivers of biodiversity and ecological processes. *BioScience*, December 2000, Vol. 50, No. 12:1062-1075.
- 77. Pamatmat, M. M. 1971.** Oxygen consumption by the seabed-IV. Shipboard and laboratory experiments. *Limnol. Oceanogr.* 16, 536-550.
- 78. Pamatmat M. M., and Bhagwat A. M., 1973.** Anaerobic metabolism in Lake Washington sediments, *Limnol. Oceanogr.* 18, 611-627.

- 79. Pamatmat M. M., Jones R. S., Samborn H., and Bhagwat A. M., 1973.** Oxidation of organic matter in sediments. Ecological Research Series, USEPA, EPA-660/3-73-005.
- 80. Parr L. B., and Mason C. F., 2004.** Causes of low oxygen in a lowland, regulated eutrophic river in Eastern England. *Science of the Total Environment* 321/ 273-286.
- 81. Pedersen, F. and Bjornested, E., 1998.** Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use Biotests. *Water Scie. & Tech.*, 37/6-7, 233-240.
- 82. Pfannkuch H. O. and Paulson R., 2005.** "Grain Size Distribution and Hydraulic Properties", <http://www.cs.pdx.edu/~ian/geology2.5.html>
- 83. Plumb, R. H. 1981.** Procedures for Handling and Chemical Analysis of Sediment and Water Samples. EPA/Corps of Engineers Technical Committee on Criteria for Dredged and Fill Material, Contract EPA-4805572010.
- 84. PSEP, 1996.** Recommended Guidelenes for measuring selected environmental variables in Puget Sound. Prepared for USEPA Region 10, Office of Puget Sound, Seattle, WA and Puget Sound Water Quality Authority, Olympia, WA.
- 85. Rabouille C., Denis L., Dedieu K., Stora G., Lansard B., and Grenz C., 2003.** Oxygen demand in coastal marine sediments: comparing in situ microelectrodes and laboratory core incubations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 285-286/49-63.
- 86. Reynolds T. D., Hann R. W. Jr and Priebe W. F., 1973.** Benthic oxygen demands of Houston Ship Channel Sediments, Texas A and M Sea Grant Report TAMU-SG-73-204, 58p.
- 87. Rounds S.A., and Doyle, M.C., 1997.** Sediment oksijen demand in the Tualatin River Basin, Oregon, 1992-96: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigatons Report 97-4103, 19 p.
- 88. Rutherford J.C., Latimer G. J., and Smith R. K., 1993.** Bedform mobility and benthic oxygen uptake. *Wat. Res.* Vol. 27, No.10, pp. 1545-1558.
- 89. Savran S., Otay, E. N., 2002,** "Kızılırmak Deltası Kıyı Erozyonunun Sayısal Modellemesi", IV. Kıyı Mühendisliği Ulusal Semp., Bildiriler Kitabı, Cilt: 2, Antalya, 493-505.
- 90. Schubauer-Berigan, M.K. and Ankley G.T., 1991.** The contribution of ammonia, metals an nonpolar organic compounds to the toxicity of sediment interstitial water from an Illinois River tributary. *Environmental Toxicology and Chemistry* 10:925-939.

91. **Smith K. L. Jr., Burns K. A., and Teal J. M. 1972.** In situ respiration of benthic communities in Castle Harbor, Bermuda. *Mar. Biol.* 12, 196-199.
92. **Sommaruga, R. 1991.** Sediment Oxygen Demand in Man-made Lake Ton-Ton (Uruguay), *Hydrobiologia* 215:215-221.
93. **Sonzogni, W.C., et al. 1977.** Use of large submerged chambers to measure sediment-water interactions. *Water Res.* 11:461-4.
94. **Staahl, H. 2005.** Measurement of oxygen at high spatial and temporal resolution in marine sediments, *TREAD workshop 13-14 October*, Marine Biological Laboratory Helsingør Copenhagen University, Denmark.
95. **Streeter, H. and Phelps, E. 1925.** A study of purification of the Ohio River, U.S. Publ. Health Service Bulletin No.146, Washington D.C.
96. **Sulluvian J., Young R., and Rogers J., 1978.** Methods and results of field surveys collected in 1977 and 1978 on the Upper Wisconsin River for the development of a water quality computer model. Upper Wisconsin River 208 Task Force, Wisconsin Dept. of Nat. Res., Rhinelander. WI, November, 55p.
97. **Syers, J. K., Haris, R. F., and Armstrong D.E., 1973.** Phosphate chemistry in lake sediments, *Journal of Environmental Quality*, Vol.2, pp. 1-14.
98. **Syvitski J.P.M., Harvey N., Wolanski E., Burnett W.G., Pirello G.M.E., Gornitz V. 2004.** Dynamics of the Coastal Zone. . In: Crossland C. 2004. LOICZ, Land Ocean Interactions in the Coastal Zone. Springer Publ. Co. In preparation.
99. **Şenel, B. 1998.** Samsun-Mert Irmağı Su ve Sediman Kalite Belirleme Çalışmaları Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
100. **Teal J. M., and Kanwisher J., 1961.** Gas exchange in a Georgia salt marsh. *Limnol. Oceanogr.* 6, 388-393
101. **Truax, D.D., Shindala, A., and Sartain, H., 1995.** Comparison of two sediment oxygen demand measurement techniques: *Journal of Environmental Engineering*, v. 121, no. 9, p. 619–624.
102. **Uchirin C., G., Ahlert W. K., 1985.** In situ sediment oxygen demand determinations in the Passaic River (NJ) during the late summer/early fall, *Water Res.*, 19:1141-4.
103. **Umbreit W. W., Burris R. H., and Stauffer J. F., 1964.** Manometric Techniques, 4. ed., Burgess, Minneapolis.

- 104. USEPA, 1992.** Proceeding of the EPAs Contaminated Sediment Management Strategy Forums. EPA/823 R-92-007. Washington DC.
- 105. USEPA, 1995.** QA/QC Guidance for Sampling and analysis of sediments, water, and tissues for dredged material evaluations (chemical evaluations). EPA 832-B-95-002. Office of Water, Washington, DC.
- 106. USEPA, 1998.** contaminated sediment management strategy. EPA 823-R-98-001. Office of Water, Washington, DC.
- 107. USEPA, 2000.** Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with freshwater invertebrates. Second Edition, EPA/600/R/-99/064, Duluth, MN.
- 108. USEPA, 2001.** Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses : Technical Manual : EPA 823-B-01-002; U.S. EPA, Office of Water, Washington, D.C.
- 109. Uslu O., Türkman A., 1987.** Su kirliliği ve Kontrolu, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Eğitim Dizisi 1., Ankara.
- 110. Vanderploeg, H. A. 1981.** Effect of the Algal Length/Aperture Length Ratio on Coulter Analyses of Lake Seston. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 38:912-916.
- 111. Vecchi, M., T.B., Reynoldson, A. Pasteris and Bonomi G. 1999.** Toxicity of copper-spiked sediments to *Tubifex tubifex* (Oligochaeta, Tubificidae): Comparison of the 28-day reproductive bioassay with an early-life-stage bioassay. Environmental Toxicology and Chemistry 18(6): 1144-1148.
- 112. Veenstra, J.N., and Nolen, S.L., 1991.** In-situ sediment oxygen demand in five southwestern United States lakes, Water Research, v. 25, no. 3, p. 351–354.
- 113. Vink, R. J., Behrendt, H. and Salomons, W., 1999.** Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: An analysis of point and diffuse sources, *Water Sci Technol.* 39(12), 215–223.
- 114. Walker, R.R., and Snodgrass, W. J., 1986.** Model for Sediment Oxygen Demand in Lakes. Journal of Environmental Engineering.
- 115. Wang, W., 1980.** Fractionation of Sediment Oxygen Demand. Wat. Res. 14: 603-612.
- 116. web.deu.edu.tr/erdin/pubs/mikro/bolum_03.pdf - “Mikroorganizmalar ve Biyokimyasal İşlevleri”,** (Erişim Tarihi: 27.12.2005).
- 117. Wenzhöfer, F., and Glud N.R., 2004.** Small-scale spatial and temporal variability in coastal benthic O₂ dynamics: Effects of fauna activity, Limnol.

Oceanogr., 49(5): 1471-1481.

- 118. Wetzel, R.G., 1983.** Limnology, second ed. Saunders College Publishing, Fort Worth, TX 767pp
- 119. Whitfield, M. 1969.** Eh as an operational parameter in estuarine studies. Limnology and Oceanography 14:547.
- 120. Whittemore R., 1986.** The significance of interfacial water velocity on the measurement of sediment oxygen demand. In: Hatcher, K.J. Ed.), Sediment Oxygen Demand. Processes, Modelling and Measurement. Institute of Natural Resources, University of Georgia, Athens, GA, pp. 63-74.
- 121. Wood T. M., 1999.** Sediment oxygen demand in Upper Klamath and Agency Lakes, Oregon. Water Res. Investigations Report 01-4080.
- 122. World Commission on Dams. 2000.** "Dams and development. A new framework for decision making". The report of the world commission on dams. November 2000.
- 123. Wurhmann K. 1972.** Stream purification. In Water Pollution Microbiology (Edited by Mitchell R.), 1st edition, pp. 119-152. Wiley – Interscience, New York.
- 124. Yılmaz, C. 2005.** Kızılırmak Deltasında Meydana Gelen Erozyonun Coğrafi Analizi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V), 2-5 Haziran 2005, 227-234.

EKLER

EK. A.

Kıta İçi Su Kaynaklarına Göre Genel Kalite Parametreleri

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
	I	II	III	IV
A) Fiziksel ve İnorganik Kimyasal Parametreler				
1. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	25	25	30	>30
2. pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışı
3. Çözünmüş oksijen ($\text{mg O}_2/\text{l}$) ^a	8	6	3	<3
4. Oksijen Doygunluğu (%) ^a	90	70	40	<40
5. Klorür İyonu ($\text{mg Cl}^-/\text{l}$)	25	200	400 ^b	>400
6. Sülfat İyonu ($\text{mg SO}_4/\text{l}$)	200	200	400	>400
7. Amonyum Azotu ($\text{mg NH}_4^+/\text{N/l}$)	0.2 ^c	1 ^c	2 ^c	>2
8. Nitrit Azotu ($\text{mg NO}_2^-/\text{N/l}$)	0.002	0.01	0.05	>0.05
9. Nitrat Azotu ($\text{mg NO}_3^-/\text{N/l}$)	5	10	20	>20
10. Toplam Fosfor ($\text{mg PO}_4^{3-}/\text{P/l}$)	0.02	0.16	0.65	>0.65
11. Toplam Çözünmüş Madde (mg/l)	500	1500	5000	>5000
12. Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	>300
13. Sodyum ($\text{mg Na}^+/\text{l}$)	125	125	250	>250
B) Organik Parametreler				
1. KOİ (mg/l)	25	50	70	>70
2. BOİ (mg/l)	4	8	20	>20
3. Organik Karbon (mg/l)	5	8	12	>12
4. Toplam Kjeldahl-azotu (mg/l)	0.5	1.5	5	>5
5. Emülsifiye yağ ve gres (mg/l)	0.02	0.3	0.5	>0.5
6. Metilen Mavisi aktif maddeleri (MBAS) (mg/l)	0.05	0.2	1	>1.5
7. Fenolik Maddeler (uçucu) (mg/l)	0.002	0.01	0.1	>0.1
8. Mineral Yağlar ve Türevleri (mg/l)	0.02	0.1	0.5	>0.5
9. Toplam Pestisit (mg/l)	0.001	0.01	0.1	>0.1
C) İnorganik Kirlenme Parametreleri^d				
1. Civa ($\mu\text{g Hg/l}$)	0.1	0.5	2	>2
2. Kadmiyum ($\mu\text{g Cd/l}$)	3	5	10	>10
3. Kurşun ($\mu\text{g Pb/l}$)	10	20	50	>50
4. Arsenik ($\mu\text{g As/l}$)	20	50	100	>100
5. Bakır ($\mu\text{g Cu/l}$)	20	50	200	>200
6. Krom (toplam) ($\mu\text{g Cr/l}$)	20	50	200	>200
7. Krom ($\mu\text{g Cr}^{+6}/\text{l}$)	Çok az	20	50	>50
8. Kobalt ($\mu\text{g Co/l}$)	10	20	200	>200
9. Nikel ($\mu\text{g Ni/l}$)	20	50	200	>200
10. Çinko ($\mu\text{g Zn/l}$)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) ($\mu\text{g CN/l}$)	10	50	100	>100
12. Florür ($\mu\text{g F/l}$)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest Klor ($\mu\text{g Cl}_2/\text{l}$)	10	10	50	>50
14. Sülfür ($\mu\text{g S}^{=}/\text{l}$)	2	2	10	>10
15. Demir ($\mu\text{g Fe/l}$)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan ($\mu\text{g Mn/l}$)	1000	500	3000	>3000
17. Bor ($\mu\text{g B/l}$)	1000 ^e	1000 ^e	1000 ^e	>1000
18. Selenyum ($\mu\text{g Se/l}$)	10	10	20	>20
19. Baryum ($\mu\text{g Ba/l}$)	1000	2000	2000	>2000
20. Alüminyum(mg Al/l)	0.3	0.3	1	>1

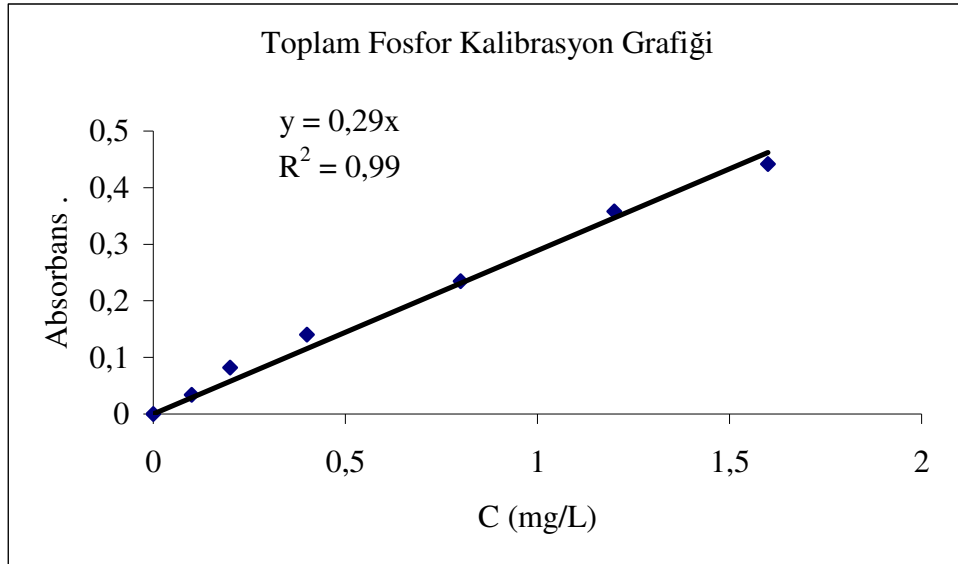
EK. A. (Devamı)

21. Radyoaktivite 8pCi/l)				
Alfa-aktivitesi	1	10	10	>10
Beta-Aktivitesi	10	100	100	>100
<i>D) Bakteriyolojik Parametreler</i>				
1. Fekal Koliform (EMS/100 ml)	10	200	2000	>2000
2. Toplam Koliform (EMS/100 ml)	100	20000	10000	>10000

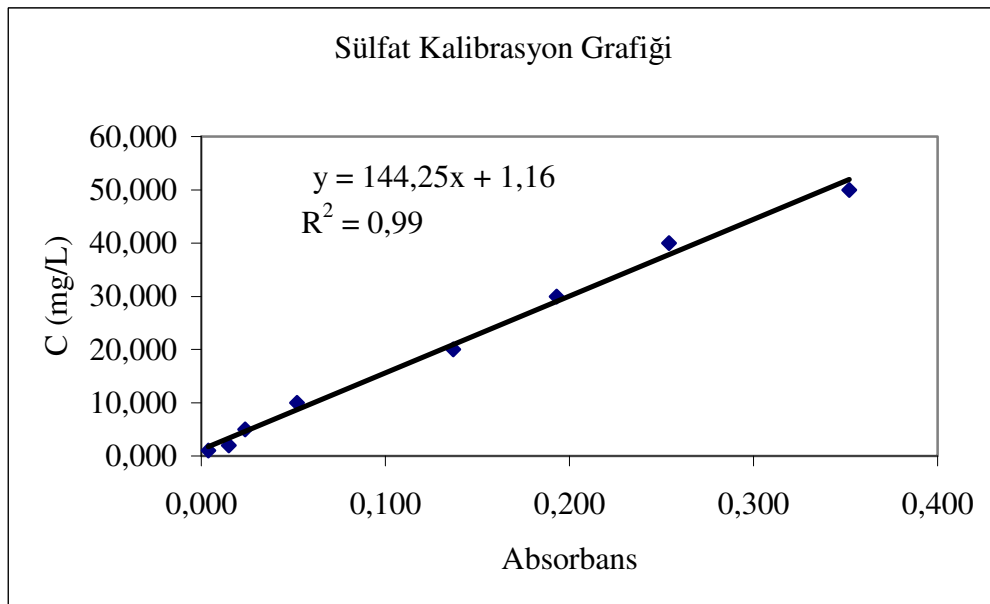
- (a)- Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.
- (b)- Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir.
- (c)- pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu 0.02 mg NH₃N/l değerinin geçmemelidir.
- (d)- Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.
- (e)- Bora karşı hassas bitkilerin sulanmasında kriteri 300 µg/l'ye kadar düşürmek gerekebilir.

EK. B.

- a) Kızılırmak Yüzey Suyu Toplam Fosfor Tayini için Kullanılan Kalibrasyon Grafiği



- b) Kızılırmak Yüzey Suyu Sülfat Tayini için Kullanılan Kalibrasyon Grafiği



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Mersin’de doğdu. İlköğrenimini Mersin Atatürk İlköğretim Okulu’nda, orta ve lise eğitimini Mersin Gazi Lisesi’nde (1994) tamamladı. Haziran 1997’de, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir MYO Harita Kadastro ön lisans programını tamamlayıp ‘Harita Teknikeri’ ünvanını, Haziran 2002’de, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden dönemimin bölüm ikincisi olarak lisans eğitimini tamamlayıp ‘Çevre Mühendisi’ ünvanını aldı. Aynı yıl, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans programına kayıt yaptırdı. Halen Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak eğitimine devam etmektedir.

Seminer (2003),

“Çevre Yönetim Sistemlerinde Temiz Üretim’in Önemi ve Uygulamaları”

Yayınlar,

- Cüce, H., Bakan G., (2005). “Kızılırmak Nehrinde ‘Sediman Oksijen İhtiyacı (SOİ)’ Belirleme Çalışmaları”, VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım, İstanbul, Türkiye.