

**PORSUK SEDİMENTLERİNİN GEOTEKNİK VE
KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Hakan SEMERCİ

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2006

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hakan SEMERCİ'nin "**Porsuk Sedimentlerinin Geoteknik ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi**" başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 13.07.2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Hakan KOYUNCU
Üye	: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN
Üye	: Yard. Doç. Dr. Müfide BANAR

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PORSUK SEDİMENTLERİNİN GEOTEKNİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hakan SEMERCİ

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman:Yard.Doç.Dr.Hakan KOYUNCU

2006, 98 sayfa

Porsuk Nehri, sediment birikiminden dolayı Dünyanın en kirli nehirleri arasındadır. Sediment birikimiyle, nehir yatağı azalmakta ve taşmalar meydana gelmektedir. Bu taşmalar nedeniyle zaman zaman sedimentin nehirden taranması çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada, Porsuk Nehri üzerinde nehir sedimentleri için 10, havza için 8 istasyon noktası belirlenmiştir. Bu istasyonlardan sonbaharda, su, sediment ve toprak örnekleri alınmıştır. Havza ve sedimentlerin, geoteknik ve kimyasal (ph, Katyon Değişim Kapasitesi, Elektriksel İletkenlik Değeri, Toplam Metal Miktarı) parametreleri belirlenmiştir. Porsuk nehir sularının ise kimyasal parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen deneysel bulgular, daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, temizleme çalışmalarının önemi ve yeterliliği gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Porsuk Sedimentleri, Geoteknik Özellikler, Toplam Metal Miktarı, Elektriksel İletkenlik Değeri, pH

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF GEOTECHNIC AND CHEMICAL PROPERTIES OF PORSUK SEDIMENT

Hakan SEMERCI

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan KOYUNCU

2006, 98 pages

Porsuk River is the dirtiest river along the World River due to sediment accumulation. Porsuk River is overflows and narrowed the cross section of the river because of sediment accumulation. As a result of these overflows, dredging work was carried out sometimes.

In this study, 10 sample stations has been determined for river sediment and 8 sample stations has been determined for river basin on the Porsuk River. In the autumn, sediment, water and soil samples have been taken from these stations. Geotechnic and chemical (pH, Cation Exchange Capacity, Electrical Conductivity, Total Metal Amount) parameter of the sediment and river basin samples have been determined. Then chemical parameter of the water samples have been determined. Determined experimental invention and invention of the former studies is compared for importance and efficiency of dredging works.

Keywords: Porsuk Sediment, Geotechnic Properties, Total Metal Amount, Elektrical Conductivity, pH

TEŞEKKÜR

Tüm öğrenim hayatım boyunca benden, hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, aileme ve yüksek lisans tez çalışmam süresince bana devamlı destek olan eşime, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince, yardımlarından dolayı danışmanım Yard.Doç.Dr.Hakan Koyuncu'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince, bilimsel, laboratuvar ve arazi çalışmaları ile destek sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen; Prof.Dr.Ahmet Tuncan, Prof.Dr.Mustafa Tuncan, Yard.Doç.Dr.Yücel Güney, Tekniker Adnan Kılıç'a, Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsünden Tekniker Salim Türkel'e teşekkürlerimi sunarım.

Hakan Semerci
Ağustos 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Konusu.....	1
1.2.Literatür Çalışması.....	14
1.3.Çalışmanın Amacı.....	21
2.ÇALIŞMA ALANI	24
2.1.Porsuk Havzası ve Porsuk Nehrinin Özellikleri.....	24
2.2.İstasyon Noktaları ve Kirlilik Durumu.....	24
2.2.1 Kütahya Pis Su Arıtma Tesisi Öncesi.....	25
2.2.2 Kütahya Azot Fabrikası Öncesi.....	25
2.2.3 Çalca.....	26
2.2.4 Sabuncupınar Köprüsü.....	26
2.2.5 Porsuk.....	26
2.2.6 Vişnelik.....	27
2.2.7 Eskişehir Şeker Fabrikası Sonrası.....	27
2.2.8 Eskişehir Pis Su Arıtma Öncesi ve Sonrası.....	27
2.2.9 Alpu.....	28
2.2.10 Beylikova.....	28
3. DENEY YÖNTEMLERİ	29
3.1.Geoteknik Özellikler.....	29

3.1.1 Su Muhtevası.....	29
3.1.2 Dane Özgül Ağırlığı.....	29
3.1.3 Hacimsel Su Muhtevası.....	30
3.1.4 Organik Madde Miktarı, Su İçeriği, Kuru ve Sabit Madde Miktarı.....	31
3.1.5 Dane Çapı Dağılımı.....	31
3.1.6 Atterberg Kıvam Limitleri.....	33
3.1.7 Sınıflandırma Özellikleri.....	34
3.1.8 Porozite, Boşluk Oranı, Kuru Yoğunluk, Doygun Yoğunluk.....	34
3.2. Kimyasal Özellikler.....	35
3.2.1 Sedimentlerin pH Değerleri.....	35
3.2.2 Katyon Değişim Kapasitesi.....	37
3.2.3 Elektriksel İletkenlik Değeri.....	37
3.2.4 Toplam Metal Miktarı.....	38
4. PORSUK NEHRİ SEDİMENTLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....	41
4.1. Geoteknik Özellikler.....	41
4.1.1 Su Muhtevası.....	41
4.1.2 Dane Özgül Ağırlığı.....	43
4.1.3 Hacimsel Su Muhtevası.....	44
4.1.4 Organik Madde Miktarı, Su İçeriği, Kuru ve Sabit Madde Miktarı.....	46
4.1.5 Dane Çapı Dağılımı.....	51
4.1.6 Atterberg Kıvam Limitleri.....	53
4.1.7 Sınıflandırma Özellikleri.....	54
4.1.8 Porozite, Boşluk Oranı, Kuru Yoğunluk, Doygun Yoğunluk.....	55
4.2. Kimyasal Özellikler.....	57
4.2.1 Sedimentlerin pH Değerleri.....	57
4.2.2 Katyon Değişim Kapasitesi.....	58
4.2.3 Elektriksel İletkenlik Değeri.....	59

4.2.4 Toplam Metal Miktarı.....	60
4.3.Sonuçlar.....	61
5. PORSUK HAVZASI ZEMİNLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....	67
5.1.Geoteknik Özellikler.....	67
5.1.1 Su Muhtevası.....	67
5.1.2 Dane Özgül Ağırlığı.....	67
5.1.3 Hacimsel Su Muhtevası.....	69
5.1.4 Organik Madde Miktarı, Su İçeriği, Kuru ve Sabit Madde Miktarı.....	71
5.1.5 Dane Çapı Dağılımı.....	75
5.1.6 Atterberg Kıvam Limitleri.....	76
5.1.7 Sınıflandırma Özellikleri.....	77
5.1.8 Porozite, Boşluk Oranı, Kuru Yoğunluk, Doygun Yoğunluk.....	77
5.2.Kimyasal Özellikler.....	78
5.2.1 Sedimentlerin pH Değerleri.....	78
5.2.2 Katyon Değişim Kapasitesi.....	78
5.2.3 Elektriksel İletkenlik Değeri.....	80
5.2.4 Toplam Metal Miktarı.....	81
5.3.Sonuçlar.....	82
.	.
6. PORSUK NEHRİ SULARININ ÖZELLİKLERİ.....	88
6.1 Porsuk Nehri Sularının pH Değeri.....	86
6.2 Porsuk Nehri Sularının Elektriksel İletkenlik Değeri.....	86
6.3 Porsuk Nehri Sularının Metal Miktarı.....	86
6.4 Sonuçlar.....	89
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1.	Sediment – su arayüzünde oluşan süreçlerin şeması.....	1
1.2.	Kıtalar bazında akarsular ile sediment taşınımı.....	4
1.3.	Sakarya Havzası.....	10
1.4.	1950’li yıllarda Porsuk.....	11
1.5.	Nehirden temizleme çalışmaları.....	22
1.6.	Odunpazarı belediyesi ıslah çalışmaları.....	22
2.1.	Porsuk Havzası.....	24
2.2.	Porsuk Nehri boyunca örnek alınan istasyonlar ve Porsuk Havzası.....	25
3.1.	Numunelerin kurutulduğu fırın.....	30
3.2.	Doğal kuvars taneleri için tane çapı ve çökme hızı arasındaki ilişki.....	32
3.3.	Üniform taneler için erozyon, taşınma ve çökme kriterleri.....	32
3.4.	Faz diyagramı üzerinde bir zeminin hacim ve kütle ilişkileri.....	35
3.5.	Atomik Absorpsiyon Cihazı.....	37
4.1.	Sedimentlerin su muhtevaları dağılımları.....	42
4.2.	Sedimentlerin dane özgül ağırlık dağılımları.....	44
4.3a.	Kütle ve hacim (faz) ilişkileri, excel hesap tablosu.....	45
4.3b.	Hacimsel su muhtevası dağılımları.....	46
4.4.1.	Sedimentlerin su içeriği dağılımları.....	49
4.4.2.	Sedimentlerin katı madde dağılımları.....	50
4.4.3.	Sedimentlerin uçucu madde dağılımları.....	50
4.4.4.	Sedimentlerin sabit madde dağılımları.....	51
4.5.	Sedimentlerin dane çapı dağılımı.....	53
5.1.	Havza sedimentlerinin su muhtevası dağılımları.....	68
5.2.	Havza sedimentlerinin dane özgül ağırlığı dağılımları.....	69
5.3.	Havza sedimentlerine ait hacimsel su muhtevası dağılımları.....	70
5.4.1.	Havza sedimentlerine ait su içeriği dağılımları.....	73
5.4.2.	Havza sedimentlerine ait katı madde miktarları dağılımları.....	73
5.4.3.	Havza sedimentlerine ait ateşte kayıp dağılımları.....	74
5.4.4.	Havza sedimentlerinin sabit madde dağılımları.....	74
5.5.	Havza sedimentlerine ait dane çapı dağılımları.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

1.1.	Baraj göllerinde gözlenen katı madde etkileri.....	3
1.2.	Bazı akarsuların taşıdığı toprak miktarı.....	4
1.3.	Havzaların askıda taşınan ortalama sediman miktarları.....	5
3.1.	TSE, WHO ve ABD EPA İçin Toksik Maddelerin Sınır Değerleri.....	39
3.2.	Ağır Metallerin Toprakta Bulunan Toplam Tolere Edilebilir Miktarları.....	40
4.1.	Sedimentlere ait su muhtevası değerleri.....	42
4.2.	Sedimentlere ait dane özgül ağırlık değerleri.....	43
4.3.	Sedimentlere ait hacimsel su muhtevası değerleri.....	45
4.4.1.	Sedimentlerin su içeriği değerleri.....	47
4.4.2.	Sedimentlerin katı madde miktarları.....	47
4.4.3.	Sedimentlerin uçucu madde miktarları.....	48
4.4.4.	Sedimentlerin sabit madde miktarları.....	49
4.5.	Dane çapı dağılımı.....	52
4.6.	Atterberg kıvam limitleri.....	54
4.7.	Sedimentlerin sınıflandırılması.....	55
4.8.	Sedimentlerin fiziksel özellikleri.....	57
4.9.	Sedimentlere ait pH değerleri.....	58
4.10.	Sedimentlere ait KDK değerleri.....	59
4.11.	Sedimentlere ait elektriksel iletkenlik değerleri.....	60
4.12.	Sedimentlere ait toplam metal miktarı.....	61
4.13.	Sedimentlere ait geoteknik özellikler.....	62
4.14.	Sedimentlere ait kimyasal özellikler.....	63
5.1.	Porsuk havzası zeminlerine ait su muhtevası değerleri.....	67
5.2.	Havza zeminlerine ait dane özgül ağırlıkları.....	68
5.3.	Havza zeminlerine ait hacimsel su muhtevası değerleri.....	70
5.4.1.	Havza sedimentlerine ait su içeriği değerleri.....	71
5.4.2.	Havza sedimentlerine ait katı madde miktarları.....	71
5.4.3.	Havza sedimentlerine ait ateşte kayıp miktarları.....	72
5.4.4.	Havza sedimentlerine ait sabit madde miktarları.....	72

5.5.	Havza sedimentlerine ait dane çapı dağılımı.....	75
5.6.	Havza sedimentlerine ait atterberg kıvam limitleri.....	76
5.7.	Havza sedimentlerinin sınıflandırılması.....	77
5.8.	Havza sedimentlerinin fiziksel zellikleri.....	78
5.9.	Havza sedimentlerine ait pH değerleri.....	79
5.10.	Havza sedimentlerine ait KDK değerleri.....	79
5.11.	Havza sedimentlerinin elektriksel iletkenlikleri.....	80
5.12.	Havza sedimentlerinin toplam metal miktarları.....	81
5.13.	Havza sedimentlerine ait geoteknik zellikler.....	82
5.14.	Havza sedimentlerine ait kimyasal zellikler.....	82
6.1.	Porsuk nehri sularının pH değerleri.....	87
6.2.	Porsuk nehir sularının elektriksel iletkenlik değeri.....	88
6.3.	Porsuk nehir sularının metal miktarı.....	89

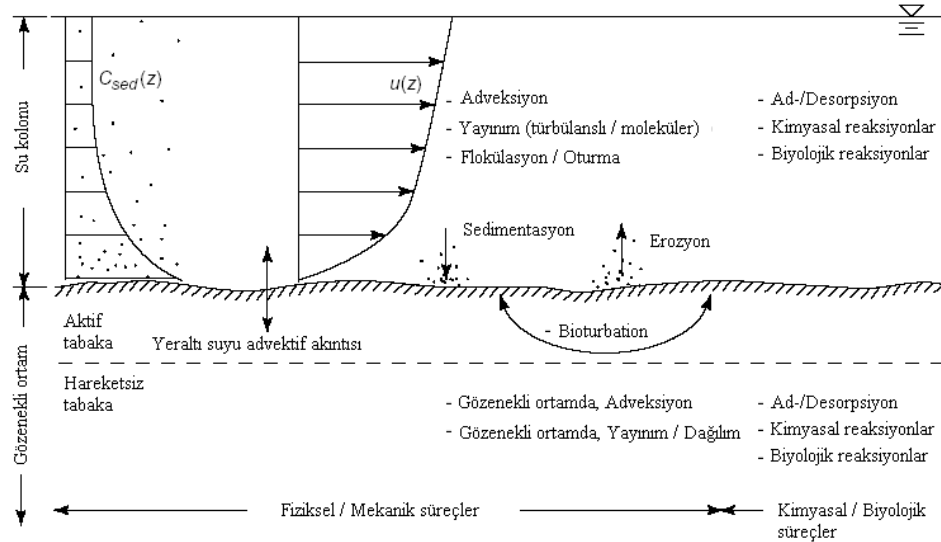
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
ASTM	: Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
ASSTHO	: Amerikan Karayolları Sınıflandırması
AB	: Avrupa Birliği
AGİT	: Avrupa Güvenlik ve İşbirliği Teşkilatı
AGNPS	: Noktasal Kaynaklı Olmayan Tarımsal Kirlilik Modeli
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DSİ	: Devlet Su İşleri
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
EPA	: ABD Çevre Koruma Dairesi
Gs	: Özgül Ağırlık
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
n	: Porozite
e	: Boşluk Oranı
w	: Su Muhtevası
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
Pİ	: Plastisite İndisi
T.E.A.E.	: Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü
KOK	: Kalıcı Organik Kirletici
PAHs	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
USGS	: Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu
HCH	: Hekzaklorosikloheksan (Organoklorlu Pestisitler)

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Nehir tabanlarında biriken kum, silt, çamur, organik ve mineral parçacıklarının toplamına sediment ya da dip çamuru denmektedir. Bir akarsudaki sediment, akarsuyun havzasındaki erozyonlar veya akarsu yatağındaki aşınmalardan dolayı oluşur. Bu malzemeler akarsu içinde akarsuyun ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak sürüntü veya askı maddesi olarak hareket ederler (Şekil 1.1) (Scott ve Gerhard, 2002).



Şekil 1.1. Sediment – su arayüzünde oluşan süreçlerin şeması

Gschwend (1987) tanımlamasına göre, sediment-su arayüzündeki (bir göl veya kanalın dibinde) süreçler, su yapısının enerjik durumuna bağlıdır. Sistemin akışa başlaması ile, yeraltı suyu akışının advektif ve dispersif (ayırıcı) akıntısına izin verir. Her zaman mevcut olan bioturbulasyon, aktif olarak sediment karışımıyla enerji verir. Su kolonu akışa başladığı için, sedimentler bed-load taşıma denilen süreçte, sedimentlerin en üst tabakası boyunca itilebilir. Sonuç olarak, enerjik bir su kolonu ile, erozyon başlar, sediment su kolonu içine taşınır, ve asılı taşıma (su kolonu içinde sediment adveksiyonu) önemli olmaya başlar. Bu nedenle, sediment ile ilişkili türlerin taşınması, sediment devinimi ve türlerin kimyasına bağlı olarak, karışık bir problemdir.

Türkiye de nüfus artışına paralel olarak doğaya verilen zarar sonucunda doğal denge geniş ölçüde bozulmuştur. Bu bozulma etkisiyle toprak erozyonu artmış, buna bağlı olarak da sediment problemi ile birlikte çevre problemleri de artmıştır. 21. yüzyılın başlarında olduğumuz şu günlerde hidrolik potansiyelden yararlanma oranı bir bakıma o ülkenin sanayileşme göstergesinin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Bu durum Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için şu anda yeterli değildir. Ülkemizin üç tarafı denizlerle çevrili, zengin su kaynaklarına sahip olmasına rağmen, bu kaynaklardan yararlanma oranı %25-30 dolaylarındadır. Bu oranın artırılabilmesi için ülkemiz akarsularından maksimum fayda sağlanması için gerekli çalışmalara önem verilmesi gerekmektedir.

Akarsularımızdan, genel olarak içme ve kullanma suyu kaynakları olarak yararlanılmaktadır. Bu amaçla akarsularımız üzerinde baraj vb. gibi yapılar planlanmakta ve yapılmaktadır. Ancak erozyon ile taşınan sedimentler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak da barajların ekonomik kapasitelerini azaltmaktadır. Bunu engellemek için katı madde debisinin planlama safhasında iyi tahmin edilmesi gerekmektedir. Akarsulara değişik kaynaklardan sediment ulaşır. Doğal ve yapay sediment kaynakları olmak üzere iki grup altında toplanabilecek kaynaklar arasında; yüzey, parmak, oyuntu erozyonları, akarsu yatağındaki ve kıyısındaki erozyon, toprak kaymaları, tarımsal işlemler, akarsu yatağı ıslah çalışmaları, maden ve taş ocağı kalıntıları, akarsu yatağından kum-çakıl alınması vb. faaliyetler sayılabilir.

Mangla ve Ambuklao barajları bunun çok tipik iki örneğini oluşturmaktadır. Pakistan'da bulunan Mangla barajı ekonomik ömrü en az 100 yıl olarak planlanmıştır. Ancak su toplama havzasındaki eğimli arazilerin tarıma açılması ile aşırı erozyon başlamış ve barajın ömrünü 25 yıl kadar kısaltmıştır. Yapılan son tahminler bu barajın 50 yıl içinde dolacağı şeklindedir. Filipinlerdeki Ambuklao Barajı'nın da su toplama havzasındaki ormansızlaştırma ve eğimli arazilerin tarıma açılması ile oluşan erozyon nedeniyle planlandığı gibi 60 yıl değil 32 yıl sonra dolacağı tahmin edilmektedir (Brown ve Wolf, 1996).

Katı madde yığılması, ülkemizde işletmede olan özellikle 16 haznenin aktif hacmini önemli ölçüde azaltarak ekonomik ömürlerini etkilemektedir. Bu haznelerde 1957-1989 yılları arasında toplam hacim kaybı %11 civarındadır.

Aktif hacimdeki yıllık hacim kaybı %0,86 (Kemer Barajında) ile %1,56 (Hirfanlı Barajında) arasında değişmektedir. 1920'lerde inşa edilen Çubuk I barajı 55 yılda tamamen dolmuştur. Çizelge 1.1'de baraj göllerinde gözlenen katı madde etkileri görülmektedir. Çizelge 1.2'de ise en fazla sediment taşıyan ırmaklar görülmektedir. Sarı Irmak ve Ganj diğer ırmaklardan kat kat fazla toprağı denize taşımaktadır. Bu iki ülkenin en önemli ortak özelliğı yüksek nüfusu besleyebilme sorunu ile uğraşmalarıdır. Bu sorun aşırı erozyona neden olmaktadır.

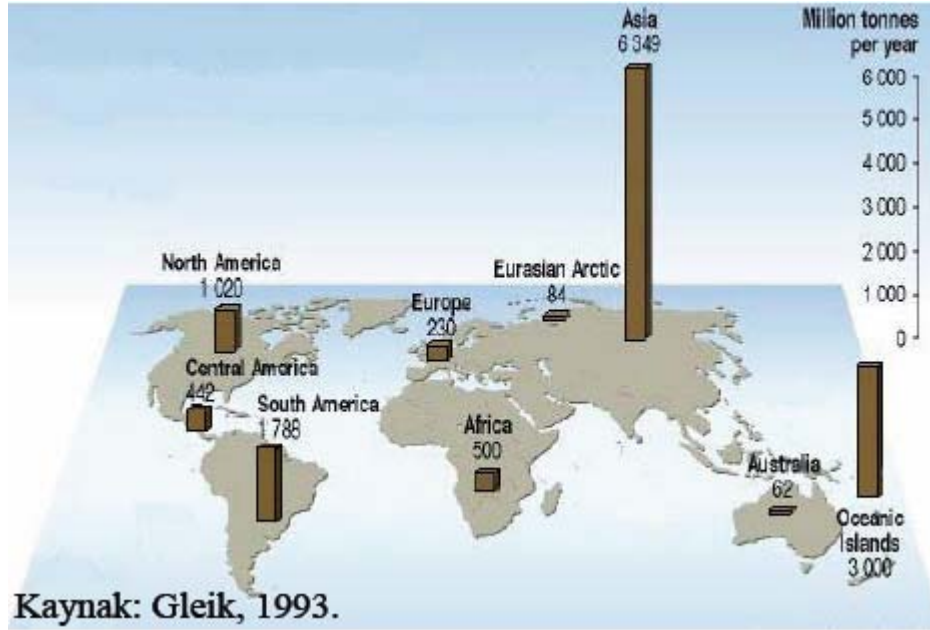
Çizelge 1.1.Baraj göllerinde gözlenen katı madde etkileri (Ulusal Çevre Eylem Planı, 1997)

Baraj Adı	Drenaj Alanı, km ²	İşletme Yılı	Yıllık Hacim Kaybı, %	Beklenen Dolma Yılı
Altınapa	589	1967	2.4	1984
Bayındır	70	1965	1.3	1992
Buldan	180	1967	1.0	2036
Çaygören	1510	1971	0.6	2047
Cip	286	1965	1.3	2005
Çubuk-I	840	1936	1.3	2010
Demirköprü	6590	1960	0.7	1998
Hirfanlı	26170	1959	0.2	1990
Karamanlı	164	1973	2.3	1995
Kartalkaya	1130	1972	1.4	1986
Kemer	2500	1958	0.9	1974
Kesikköprü	360	1966	0.6	2030
Selevir	722	1965	1.3	1990
Seyhan	19254	1956	0.9	2025
Surgu	275	1969	1.3	2002
Yalvaç	133	1973	1.4	1998

Çizelge 1.2. Bazı akarsuların taşıdığı toprak miktarı (Çeliker ve Anaç, 2003)

Akarsu	Ülke	Yıllık Sediment Taşıma Miktarı (Milyon Ton)
Sarı Irmak	Çin	1600
Ganj	Hindistan	1455
Amazon	Birkaç ülke	363
Mississippi	ABD	300
İravadi	Burma	299
Kosi	Hindistan	172
Mekong	birkaç ülke	170
Nil	birkaç ülke	111

Avrupa kıtasındaki erozyon miktarı dikkati çekecek kadar düşüktür (Şekil 1.2). Bunun en önemli nedeni topografyanın erozyona uygun olmayışdır. Avrupa kıtasındaki toplam erozyonun önemli bölümü Akdeniz ülkelerinde ve en çok İspanya, Fransa ve İtalya'da gerçekleşmektedir (Anonim, 1999).



Şekil 1.2. Kıtalar bazında akarsular ile sediment taşınımı

Ülkemizde erozyon sonucu akarsu yataklarında taşınan katı madde miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Bu rakam tüm Avrupa kıtasındaki yıllık kayıp olan 320 milyon tonun 1,8 katıdır. Çizelge 1.3'de havzaların askıda taşınan ortalama sediment miktarları görülmektedir. En fazla sediment yılda 39,9 milyon ton ile Fırat Nehri tarafından taşınmaktadır. Bunu 21,4 milyon ton ile Kızılırmak

izlemektedir (Burak S., ve ark., 1997). Ülkemizde birim alandan akarsularla taşınan katı malzeme miktarı dünya ortalamasından 4,22 kat; Afrika'dan 22 kat; Avrupa'dan 17 kat ve Kuzey Amerika'dan 6 kat fazladır (www.agm.gov.tr).

Çizelge 1.3. Havzaların askıda taşınan ortalama sedimen miktarları (Ulusal Çevre Eylem Planı, 1997)

Havza Adı	Ortalama sedimen miktarı (ton/yıl)	Yağış alanı (km ²)
Meriç-Ergene	2 558 700	14 560
Marmara	4 828 504	24 100
Susurluk	4 744 077	23 765
K.Ege	1 401 814	9 032
Gediz	3 137 604	17 118
K.Menderes	1 047 030	7 165
Batı Akdeniz	4 308 145	22 615
Antalya	2 549 402	14 528
Burdur-göller bölgesi	1 349 602	8 764
Akarçay	1 274 938	8 377
Sakarya	14 130 258	56 504
Batı Karadeniz	8 278 081	29 682
Yeşilırmak	8 042 623	36 129
Kızılırmak	21 434 130	7 546
Konya K.Havzası	14 146 017	55 554
Doğu Akdeniz	4 424 121	22 484
Seyhan	3 993 915	20 731
Asi	1 773 453	10 885
Ceyhan	4 113 514	21 222
Fırat	36 858 770	120 917
Aras	5 714 708	27 548
Van	2 713 333	15 254
Dicle	12 558 518	51 489
Çoruh	3 791 819	19 894
D.Karadeniz	4 808 819	19 894
TOPLAM	177 022 035	766 878

Çeşitli kaynaklardan gelen ve akarsularla taşınan sedimentin su depolama yapılarında kapasiteyi azaltmasının yanı sıra; verimli arazilerde birikerek arazinin değerini azaltma, akarsu yatağını yükselterek taşkın riskini ve zararını artırma, su alma yapılarının girişini tıkama, sulama ve drenaj kanallarının kapasitesini azaltma ve bakım giderlerini artırma, balık yumurtalarını örterek balıkların çoğalmasını engelleme, içme ve kullanma suyunun arıtma giderlerini artırma, tarım, sanayi ve diğer kesimlerden kaynaklanan çeşitli kirleticileri taşıyarak çevreyi kirletme, doğal ve yapay göllerin rekreasyon özelliğini azaltma ve çevre estetiğini bozması gibi etkileri de vardır.

Sedimentler nehir yatağında akış alanını azalttığı, taşkın riskini artırdığı için düzenli aralıklarla temizlenme ihtiyacı ortaya çıkarır. Bunlardan en yaygın olanı daldırma kepçeler ile yapılan tarama (dredge) yöntemidir. Ancak, her nehir için optimum temizlenme yöntemi farklı olabilmektedir. Temizleme yönteminin seçilmesinde, sedimentlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirleyicidir. Ayrıca su toplama havzasından gelen sediment miktarının belirlenmesi, uygulanacak havza koruma önlemlerinin seçilmesi ve bu önlemlerin öncelikle uygulanacağı alanların saptanmasında önemli bir değişken olarak görülmektedir. Erozyonun belirlenebilmesi açısından da önemli olan sediment özelliklerinin ve miktarının belirlenmesi ile ilgili çalışmaların artarak sürdürülmesi, birçok açıdan ülkemizi ve ülkemiz insanlarını zarara uğratan erozyonu azaltacak önlemlerin alınması için de gereklidir. Nehirden temizlenen bu sedimentler uygun alanlara, düzenli veya düzensiz, kısa süreli veya uzun süreli olarak depolanmaktadır. Depolama alanlarının planlamasında sedimentin konsolidasyon davranışı, taşıma kapasitesi, hacim değişimi ve şişme basıncı parametreleri önemlidir. Ayrıca depolama sonrası, sedimentlerin içerdiği ağır metal, organik bileşen ve pestisit kirliliği, sızıntı suyu kalitesi gibi parametreler de zemin ve yer altı suyu için önemli değerlerdir.

Sedimentler, nehir sularından gelen kimyasal bileşenlerle önemli ölçüde kirlenmektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların nehirlere deşarj edilmesiyle veya tarım alanlarında yabancı ot ve böcekler için kullanılan pestisit ve herbisitlerin (böcek ve ot zehirleri) yüzey suları ile nehirlere ve sedimentlere geçmesiyle önemli çevre sorunları ortaya çıkmaktadır.

Kirletici maddeler kimyasal (organik, inorganik) ve biyolojik olarak iki gruba ayrılırlar ve bu kirleticiler fiziksel, kimyasal veya biyolojik kirlenmeye yol açarlar. Toprak kirlenmesi açısından en yaygın, insan ve çevre sağlığı yönünden en önemli olan kirleticiler organik ve inorganik kimyasallar ve bu maddeleri ihtiva eden katı ve sıvı atıklardır. İnorganik kirleticilerin başında ağır ve iz metaller gelmektedir. Ayrıca siyanür ve asbest önemli inorganik kirleticiler arasındadır. Organik kirleticiler ise üç ayrı gruba toplanmıştır: Uçucu organikler, Yarı-Uçucu Organikler ve Pestisitler. Endüstride çok miktarda ve sık kullanılan tetra kloretilen, metilen klorür, trikoretilen gibi halojenli çözücüler uçucu organiklerdendir. Plastik sanayisinde yoğun kullanılan ftalatlar, petrol ve kömür sanayilerinden kaynaklanan phenanthrene, chrysene, anthracene gibi polinükleikaromatik hidrokarbonlar (PAH) yarı-uçucu organikler arasındadır. Pestisitler grubunda insektisitler ve herbisitler bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda toprağın ve dolayısıyla yeraltı sularının, nehirlerin, göllerin, pestisitler ile kirlenmesine sıkça rastlanmaktadır (U.S.EPA,1989).

Atmosfere emisyon ile yayılan kirleticiler (kurşun ve civa gibi ağır metaller, PAH, vs.) yağmur yolu ile tekrar toprağa veya yüzeysel sulara dönmektedir. Bu kirlenmenin ana sebebi atmosferdeki kirliliktir. Evsel katı atık yakma tesisleri ile birlikte kömür kullanılan santraller önemli civa emisyon kaynaklarıdır. Atmosfere verilen yakma gazları sonucu oluşan asit yağmurları toprağın pH'ını olumsuz etkileyerek, toprakta bulunan kirletici maddelerin hareketliliğini ve taşınmasını kolaylaştırır.

Pestisitler, hastalık, zararlı ve yabancı otların zararlarını azaltmaktadır, bunun sonucunda üretim artmakta, kalite yükselmekte, ekonomik geri dönüş artmaktadır. Pestisitlerin kullanımı 1940'lı yıllardan beri tarımsal üretimi arttıran en önemli bileşendir. İnsektisit olan DDT ve HCH ile hormon karakterli olan herbisitlerden 2,4-D ve MCPA 1940 lı yılların sonunda kullanılmaya başlanmıştır. Bunları 1950 li yıllarda dieldrin ve aldrin gibi insektisitler izlemiştir. Dünya pestisit pazarının değeri yaklaşık 30 milyon Euro'luk bir pazardır. Ülkemizdeki pestisit pazarı Avrupa ülkelerine oranla son derece küçüktür. Yıllık tüketim miktarı hektara 400-700 gram civarındadır. Bu pazarın parasal değeri dünya

pazarıyla kıyaslandığında dünya pazarının yüzde birinden az olduğu görülür. Ancak ülkemizde belli bölgelerde, hektara kullanılan pestisit miktarı dünyanın en yoğun ilaç kullanılan bölgeleri düzeyindedir. Bu bölgelerde, pestisit kaynaklı çevresel risk yüksektir.

U.S. EPA araştırmasına göre, yağmur suları ile yıkanan tarım alanları, göller ve akarsular için en önemli kirlilik kaynağıdır (U.S. EPA). Pestisitler bilinçsizce ve yanlış kullanıldığında çevre için büyük risk oluşturur. Genellikle kullanılan pestisitlerin önemli bölümü hedef organizma dışına gitmektedir. Genel olarak kullanılan ilacın, uygulama tekniği, bitkinin fenolojik durumu ve bitki sıklığına bağlı olarak %14-80'nin toprağa ulaştığı bildirilmektedir (Courshee, 1960; Cilgi ve Jepson, 1992).

U.S.EPA tarafından HCH ve DDT nin çevre ve insanlar üzerindeki etkileri araştırılmış ve şu sonuçlarla karşılaşılmıştır. HCH suya bulaştığında mikroplarca değil, sudaki kimyasallar tarafından parçalanmakta, topraktaki mikroplarca ayrıştırılmaktadır. Yüzeiden buharlaşmakta ya da yer altı sularına sızmaktadır. Balık ve kabuklu deniz hayvanlarında az miktarda birikebildiği gözlenmiştir. İnsanlarda ise akciğer ödemine, karaciğer ve böbrek tahribatına yol açtığı tespit edilmiştir. (www.epa.gov)

DDT etkili bir böcek öldürücüdür. Ancak insanlar üzerindeki zararlı etkileri sebebi ile birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de üretimi ve kullanımı yasaklanmıştır. DDT yağ dokusunda biriken kalıcı bir kirleticidir. Özellikle kadınların göğüslerinde birikerek anne sütüne geçer ve yeni doğan bebeklerde ciddi sağlık problemlerine yol açar. U.S. EPA raporuna göre DDT insanlarda kansere, doğurganlıkta düşüşe, sinir sisteminde geçici tahribata, karaciğer tahribatına ve karaciğer kanserine sebep olur (<http://www.epa.gov/pbt/ddt.htm>)

Pestisitlerin çevresel etkileriyle ilişkili ilk toplumsal tepkiler 1960'lı yıllarda başlamış, 1962 yılında Rachel Carlson tarafından yayınlanan Sessiz Bahar isimli kitap bu konuda bir milad olarak kabul edilmektedir (Yıldız ve ark., 2005). HCH ve DDT kimyasalları, 1985'ten önce ülkemizde de üretilmekteydi. 1985 yılında 12 KOK'un (Kalıcı Organik Kirletici) insan sağlığı ve çevreye olan zararlı etkileri Tarım ve Köy İşleri Bakanlığınca anlaşılınca, 6968 nolu yasa çıkarıldı ve HCH ve DDT içeren bazı KOK'ların üretimi yasaklandı (www.tarim.gov.tr). Diğer taraftan

Stockholm konvansiyonu adında uluslararası bir düzenlemeye gidilmiştir. Konvansiyon, 50. devlet olarak Fransa'nın da imzalamasıyla 17 Mayıs 2004 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Stockholm Konvansiyonu, çevreyi ve insan sağlığını KOK'lar dan korumak üzere hazırlanmış küresel bir anlaşmadır. Anlaşma Türk Hükümeti tarafından da 2001 yılında imzalanmıştır ancak henüz yürürlüğe girmemiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı, ulusal KOK envanterinin 2005 yılında tamamlanmasından sonra konvansiyonu yürürlüğe sokmayı beklemektedir (Türkmen, 2005).

Sakarya, havza olarak Türkiye'nin 12. havzasıdır. Çevresi Kızılırmak, Batı Karadeniz, Marmara, Susurluk, Gediz, Akarçay ve Konya kapalı havzalarından oluşmaktadır. Çifteler kasabası yakınlarından doğan Sakarya nehri, doğudan batıya doğru yaklaşık 800 m'lik bir platoyu aşarak Karadeniz'e dökülmektedir. Sakarya nehrini besleyen başlıca kolları, en önemlisi Porsuk olmak üzere Ankara çayı, Seydi suyu, Çarksuyu, Karasu, Girmir çayı, Göynük çayı, Mudurnu çayı ve Göksu'dur. Havzada su kirlenmesi gibi problemlerin, nüfus ve endüstrileşmeye paralel olarak hızlı bir şekilde arttığı, bazı kolların şimdiden kirlendiği bilinmektedir.

Sakarya Nehri'nin bir kolu olan Porsuk Çayı Havzası 11188 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Proje alanındaki yüzey suları Porsuk Çayı ve kollarından oluşmaktadır. Eskişehir Ovası, İnönü Ovası, Kütahya Ovası ve Altıntaş Ovası proje alanındaki önemli ovalardır. Porsuk Çayı Havzası'nda Eskişehir ve Kütahya il merkezleri ve bu illere bağlı 7 ilçe merkezi bulunmaktadır. Havzanın en önemli yapısı Porsuk Barajı'dır. Porsuk Nehrinin üzerinde kurulu olan Porsuk Barajı, Türkiye'nin ilk barajlarından biri olup 1949 yılında yapımı tamamlanmıştır. 1966 yılında bu barajın yükseltme inşaatı işi başlanmış ve 1972 yılında bitirilmiştir. 1972'den beri Eskişehir'in ekonomik hayatını şekillendirirken şehir halkını su taşkınlarından koruyarak güvenli bir hayat sürdürmelerini sağlamaktadır. Porsuk Barajı'nın su toplama hacmi 525 milyon metreküp ve göl alanı 23.40 kilometrekare, sulama alanı 41 020 ha olan baraj, Eskişehirliyle yılda 206 milyon metreküp içme ve kullanma suyu sağlamaktadır. Porsuk Çayı son 30 yıldaki gelişme ve sanayileşmenin bir neticesi olarak ne yazık ki Kütahya ve Eskişehir illerinin ev ve sanayi atık sularının etkisine maruz kalmaktadır. Kalite gözlem

istasyonlarında yapılan düzenli ölçümlere göre kaynak bölgesi ile Kütahya kent merkezi girişi II. sınıf, diğer bölümlerde IV.sınıf su kalitesinde akmaktadır. Porsuk Çayı'nın su kalitesinin istenilen düzeye getirilmesi için çabalar sürdürülmektedir (Su Dünyası, 2004).



Şekil 1.3. Sakarya Havzası (www.eie.gov.tr)

Porsuk nehri Eskişehir'e gelmeden önce, üst kısımda yapılan baraj rezervuarında tutularak yeterli suyun sağlanması amacıyla kaynak zenginleştirilmeye çalışılmaktadır. Eskişehir'den aşağı olan kısımda tekrar belediye, endüstriyel ve evsel atıklarla beraber kirlenmeye başlar. Özellikle Organize Sanayii Bölgesinin atıkları bu kirlenmeyi çok etkilemektedir. Kirliliğe sebep olan başlıca endüstriyel tesisler Kütahya'da; Şeker fabrikası, Belediye

Mezbahası, Azot üretim fabrikası, Magnezit fabrikası, Eskişehir bölgesinde; Sarar tekstil fabrikası, Şeker fabrikası, Devlet Demiryolları Lokomotif fabrikası, Belediye mezbahası ve Organize Sanayi Bölgesidir. Ayrıca tarımsal sulamadan geri gelen akımlar ve küçük köylerden gelen kirli sular da kirliliğe sebep olmaktadır. Eskişehir'i ikiye bölen bu nehir, yarım asırdır ihmal ve vurdumduymazlık nedeniyle 'Dünyanın en kirli akarsuyu' unvanını almıştır (Akşam Gazetesi, 2 Nisan 2002). Avrupa Güvenlik ve İşbirliği Teşkilatı (AGİT) raporlarına göre, Porsuk Nehri bugün "zararlı bakterilerin ve virüslerin dışında hiçbir canlının yaşamadığı, dibi atıklarla dolu bir bataklıktan ibaret olan bir köy deresinden farksız nehir" olarak ifade edilmektedir. Şubat 2000 tarihli AGİT raporunda Avrupa'da sağlık için en tehlikeli ve en kirli nehirler – Porsuk ve Sakarya olarak – Türkiye'de bulunduğu (Hürriyet Gazetesi, 22 Şubat 2000) ifade edilmiştir.

Porsuk nehrine ulaşan sediment yükü tahmini olarak 350 m³/km²/yıl gibi yüksek bir değerdir. Bunun en önemli nedeni çökeltme haznesi inşaatlarının olmaması, erozyonu azaltıcı önlemlerin alınmaması ve havzanın büyüklüğüdür (Koyuncu ve Güney, 2002). Nehir tabanı, çöken kirlenmiş sedimentlerle her 5-10 yılda bir yükselmekte ve nehir suyunun akış alanı yani nehir yatağı azalmaktadır. Nehir tabanına çöken bu kirlenmiş sedimentler nehrin bazı bölgelerini ve kıyılarını zamanla bir bataklık haline getirmekte ve yapay kıyı alanları oluşturmaktadır. Oysaki 1950'li yıllarda Eskişehir halkının balık tuttuğu, yüzdüğü ve kıyılarında eğlendiği (Şekil 1.4) bir akarsuydu.



ŞEKİL 1.4. 1950'li yıllarda Porsuk (www.eskisehir.gov.tr)

Porsuk nehrinde çöken sedimentler taşkın riski oluşturmaktadır. 1964 yılında Eskişehir’de büyük bir sel felaketi meydana gelmiştir. O dönemde inşa edilen Porsuk Barajının yapımından sonra, en büyük tehlikenin porsuk yatağında biriken sedimentler olduğu rapor edilmiştir. DSİ raporlarına göre, bu çamurların temizlenmesi ihmal edilirse her an taşkın tehlikesinin olabileceği ifade edilmiştir (İstikbal Gazetesi, 2001).

Porsuk nehri içme suyu olarak kullanımında da büyük riskler oluşturmaktadır. Hızlı bir gelişim gösteren Eskişehir’de ihtiyacın artması ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesi ile birlikte şehrin içme ve kullanma suyu ihtiyacının Porsuk Çayı’ndan sağlanması 1970’li yıllarda gündeme gelmiştir. Arslan (1974) “Eskişehir İçme Kullanma Suyu Sorununun Çözüm Yolu” çalışmasında Kütahya Azot Fabrikası atık sularındaki nitrat ve nitrit kirliliğinin kesinlikle önlenmesi, fabrikanın arıtma tesislerinin Eskişehir süzgeci ile birlikte ve içme suyu projesinin ve bir elden yürütülmesi gerektiğini vurgulamıştır (Sandıkçı, 1996).

Giritlioğlu (1981), İller Bankası adına “Eskişehir Porsuk İçme Suyu Projesi, Su Kalitesi İncelemeleri” başlıklı bir araştırmayı 1975-1980 yılları arasında yürütmüştür. Bu araştırmasında, Azot Fabrikasından Porsuk Çayına verilen azot bileşikleri ve kül barajındaki sızmalarla özellikle fabrika ve İnköy köyü civarında yer altı sularının nitratça kirlendiğini belirtmekte ve Porsuk çayının Nitrat yönünden aynı oranda kirletilmesinin devamı halinde içme suyu kaynağı olarak ileride büyük sorunlara neden olabileceğini vurgulamıştır.

Porsuk nehri sedimentleri düzenli olarak Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından daldırma kepçelerle taranmaktadır. Yürütülen bu çalışmalarla Porsuk Nehri tabanında biriken sedimentlerin temizlenmesi ve Porsuk yatağının genişletilmesi hedeflenmektedir. Daha önce 1995-1996 yıllarında temizlenen Eskişehir merkezi 2001 yılında tekrar temizlenmiştir. Ancak bu çalışmaların tüm iyi niyetine rağmen hem ekonomik bir yük getirmekte hem de temizleme çalışmaları sırasında cadde ve sokaklarda oluşan döküntüler hava, su ve toprak kirliliği ile insan ve çevre sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Kirlenmiş Porsuk Nehri sedimentlerinde yüksek miktarda solunum yolları enfeksiyonları, karaciğer hastalıkları, kolera, tetanoz, besin zehirlenmesi ve tifo oluşturan bakteriler vardır (DSİ, 1998).

Eskişehir kent merkezinden kepçelerle temizlenen sedimentler plansız bir şekilde kamyonlarla Büyükşehir Belediyesinin belirlediği düzensiz depolama alanlarında istiflenmektedir. Ancak depolama alanlarının gerekli vasıfları taşımaması, sedimentlerin yer altı suyunu kirleterek tekrar Porsuk Nehrini kirletmesine yol açmaktadır. Örneğin 1988 yılı içinde Eskişehir Şeker Fabrikası atıkları vidanjörler ile alınarak Eskişehir çöplüğüne atılmaya başlanmış, ancak sıvı atıkların çöplükten Sarısongur deresi boyunca tekrar Porsuğa döndüğü görülmüştür (Sandıkçı, 1996).

Ülkemizin bir tarım ülkesi olması vesilesi ile Porsuk Havzasında da tarımsal faaliyetler bulunmaktadır. Ekilen ekinlerden maksimum faydayı elde etmek amacıyla tarım alanlarında bilinçsizce kullanılan gübre ve çeşitli ilaçlar (özellikle pestisit) yüzey ve yer altı sularını kirletmekte, bu kirlilikte Porsuk Nehrindeki sedimentlere ulaşarak bir pestisit kirliliği oluşturmaktadır. Pestisit kirliliği de çevrede yaşayan her türlü canlı için büyük tehlike yaratmaktadır.

Ankara Milletvekili Mehmet Sağdıç (1997), zamanın hükümetine verdiği soru önergesi ile Porsuk Çayı kirliliği ve Bakanlık tarafından yapılan çalışmalar hakkında bilgi isteyerek problemi meclise taşımıştır. Sayın Çevre Bakanı Dr. İmren Aykut da yapılan çalışmalar hakkında kendisini ve meclisi bilgilendirmiştir;

- Kütahya şehri kanalizasyon atık suları arıtma tesisleri tamamlanarak, Porsuk Çayına verilen kirlilik yükü önemli oranda azaltılmıştır,
- Porsuk Çayına önemli oranda endüstriyel nitelikli atık su deşarjı yapan Kütahya Azot Sanayii Müessesesi yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda, kirletici vasfı yüksek olan birinci ve ikinci Gaz Amonyak üniteleri ile Amonyum Sülfat ünitesinin faaliyeti durdurulmuştur. Mevcut arıtma tesisi yetersiz olmakla birlikte, kirlilik yükünü önemli oranda azaltmaktadır. Fabrika 1965 yılının teknolojisi ile kurulduğundan, teknoloji yenilenmeden, istenilen düzeyde bir arıtma sağlanamamaktadır,

- Kütahya yöresinde faaliyet gösteren, Şeker Fabrikası, Kümaş Manyezit Fabrikası ve Seyitömer Termik Santrali arıtma tesislerini kurmuş olup, arıtma tesisi olmayan işletmeler ise uyarılmaktadır,
- Eskişehir İli Kanalizasyon atık suları arıtılmadan Porsuk Çayı'na verilmektedir. Bakanlığımız Çevre Kirliliğini Önleme Fonu'ndan da sağlanan kredilerle, inşaatı başlatılan kanalizasyon arıtma tesisi inşaatı tamamlanma aşamasına gelmiştir. Arıtma tesislerinin devreye girmesiyle birlikte, kanalizasyon suları ile birlikte yöredeki birçok sanayi kuruluşunun atık suları da arıtılacağından, Porsuk Çayı'na verilen kirlilik yükü büyük oranda azalacaktır,
- Eskişehir yöresinde faaliyet gösteren, Sarar Basma Fabrikası, Tülomsaş, Tasaş, I. Hava İkmal Bakım Fabrikası, Arçelik ve Korsel Fabrikaları arıtma tesislerini tamamlanmış olup, diğer işletmeler ise uyarılmaktadır. Porsuk Çayı geçmiş yıllarda ülkemizin en kirli akarsuların arasında yer alırken, yukarıda belirtilen tedbirlerin alınmasıyla birlikte, su kalitesinde kısmi bir düzelme görülmeye başlamıştır. Devam eden arıtma tesislerinin tamamlanmasından sonra, Porsuk Çayı'nda görülen kirlenme, çevreye zarar vermeyecek seviyelere düşürülebilecektir.

Görüleceği üzere Porsuk Nehrindeki su ve sediment kirliliği, doğayı ve canlıları olumsuz etkilemekle birlikte ekonomik açıdan da kente problem yaratmaktadır. Gerek DSİ, gerek Büyükşehir Belediyesi gerekse kentteki üniversiteler aracılığı ile sorunun üzerine bilimsel açıdan yaklaşılarak biran önce kalıcı ve sağlıklı bir çözüm bulunması Eskişehir ve Porsuk Nehri açısından büyük bir önem taşımaktadır.

1.2 Literatür Çalışması

Bakan ve Şenel (1998), Samsun ilinden Karadeniz'e önemli miktarda deşarj bulunan Mert Irmağı'nın deşarj ağzına yakın noktalarından alınan yüzey sediment ve su örneklerinde çevre kirliliği parametrelerinin tayini, sediment ve su kalitesinin belirlenmesi için bir araştırma yapmışlardır. Bridge – Ekman grab

sediment örnekleyicisi ile toplanan sediment örneklerinde su miktarı, organik madde, porozite ve pH ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak, Mert Irmağının Çevre Mevzuatı , Su kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve Kıta İçi Su Kalite Sınıflandırmasına göre, genel olarak kirli su özellikleri taşıdığı ve bu kirliliğin ağırlıklı olarak evsel atıksulardan kaynaklandığı tespitine varmışlardır. Su tabakasının taşıdığı bu kirlilik yükü, sediment tabakasında da özellikle yüksek organik madde içeriği (ort.%5,61) ile kendini göstermiştir. Porozite değerlerinin de, su miktarı yüzdesine göre bir paralellik taşıdığı gözlemlenmiştir. Doygun bir zemin olduğunda bu beklenen bir sonuç olarak değerlendirilmiştir.

Lee ve ark. (1993), Cadiz körfezinden alınan sediment örnekleri üzerinde geoteknik analizler yaparak, sediment özellikleri ile sedimentlerin şev stabilitesini belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, dik sediment şevlerinin statik yükler altında daha kolay kırılabilceği sonucuna varmışlardır.

Bakaç ve Kumru (2001), çalışmalarında Orta Gediz havzasından toplanan 40 su, sediment, ve toprak örneği üzerinde eşdeğer uranyum, eşdeğer toryum, radyoaktif potasyum ve radyum analizleri yaptılar. Amaçları, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon dozunun tayini ve oluşturabileceği sağlık riskinin değerlendirmesidir. Toprak ve sediment örneklerindeki uranyum konsantrasyonları sırasıyla 0,1-3,94 ppm, 0,53-4,46 ppm ve toprak, sediment ve su örneklerindeki radyum konsantrasyonları ise 1,44-1,54 pCi/g, 0,86-2,99 pCi/g, 2,87-21,82 pCi/L aralığında değişim göstermiştir. Akarsu sedimentlerinde uranyum konsantrasyonu 1-5 ppm arasında değişir. Yer kabuğunda ise 3-4 ppm düzeyindedir. Çalışmalarda bulunan sonuçlar sınırların üzerinde olmasa da üst sınırlara yakın değerlerdir. İçme sularında radyum konsantrasyonu için verilen üst değer yaklaşık 5 Bq/L dir. Bulunan sonuçlar sınır değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Toprak ve sedimentlerdeki değerlerde sulardakine paralellik göstermektedir. Sonuç olarak, radyoaktif açıdan bazı yüksek değerler bulunmuştur. Bu yüksek değerlerin sebebini de, nehrin üst bölgelerden geçerken geçtiği yerlerin jeolojik yapısını aşındırması sonucu, buralardan kopardığı parçaları su ve sedimentlere katması olarak göstermişlerdir.

Gönüllü ve ark. (2001), Haliçte belirli bir bölge boyunca tarama yapmışlar ve bu bölge boyunca 6 noktadan çamur numuneleri alarak, daha önce yapılan ıslah

öncesi durumla mukayese edilmiştir. Çamurda organik ve inorganik birçok maddeler için analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda Haliç'i besleyen derelerden halen kısmen Haliçe sızma bulunduğu, bu sebeple kirletici maddelerin durdurulması gerektiğini belirlemişlerdir.

Öztürk (2002), Bilecik ili Pazaryeri ilçesi Küçükemalı, Güde ve Bahçesultan köyleri arazisi içerisinde bulunan Kurukavak deresi su toplama havzasında 1994-1996 yılları verileri ile yürüttüğü araştırmasında yüzey akış ve sediment miktarını tahmin etmeye çalışmıştır. Bu amaçla havzaya ait; topografya, bitki örtüsü, toprak, arazi kullanımı ve iklim verileri toplanmış, daha sonra bu veriler coğrafi bilgi sistemi ortamına aktarılarak AGNPS modeli için gerekli analizler yapılmıştır. Elde edilen harita, tablo ve bireysel verilerle AGNPS modeli yardımıyla yapılan yüzey akış tahminleri ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışma alanındaki 1994-1996 yılları arasındaki 15 farklı yağış olayından seçilen 8 olaya göre; model değerlerinin gözlem değerleri üzerine etkinliği %25, belirtme katsayısı 0,43 olarak bulunmuştur. Kolmogrov-Smirnov testine göre, $P=0,98$, Khikare testi sonucu $\chi^2h=0,83$ olarak bulunduğundan gözlem ve model değerlerinin homojen olduğu başka bir deyimle aynı popülasyona ait olup model değerlerinin gözlem değerlerini temsil edebileceği kanısına varılmıştır.

Wall ve Philips (1998), çalışmalarında 1994-1996 yılları arasında Hudson nehrinde pestisit konsantrasyonlarının dağılımını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, bir önceki yaz ve sonbaharda kullanılmış pestisit uygulamalarının yağmur suları ile nehri kirletmesinden dolayı yüksek değerlere rastlanılmıştır. Tarımsal çalışmaların etkisiyle herbisit, atrazin ve metolacolor en çok rastlanan pestisit uygulamaları olmuştur. Ayrıca bu çalışmada pestisit konsantrasyonunun mevsimlere bağlı olarak değişimi de gözlemlenmiştir. Örneğin tarımsal aktivitelere bağlı olarak en yüksek oranlara Haziran 1996'da rastlamışlardır. Atrazin konsantrasyonu 20 µg/L bulunmuştur. Sınır değerinin 0,001 µg/L olduğu düşünüldüğünde durumun vahimliği gözler önüne serilmektedir.

Koyuncu ve Güney (2003), Porsuk nehir dip sedimentlerinin geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, sedimentlerin yüksek plastisiteye sahip olduklarını, kum ve kil miktarının silt miktarına göre az

olduğunu göstermiştir. Yapılan deneylerde de sedimentlerin yüksek sıkışabilirliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Rendon-Herrero (1974), etkili yağışla sediment miktarı arasında ilişki kurmaya çalışmış, ancak bu ilişkiyi çok az gözlem sonucu ile test etme imkanı bulmuşlardır. Araştırmalarında yağışın alansal dağılımı üniform kabul edilmiştir. Elde ettikleri sonuçları tatmin edici olarak bulmamışlar ve yaptıkları çalışmayı sadece küçük havzalar için uygulanabilir bulmuşlardır.

Winters (2000a), Cape Fear Diapir, Blake Ridge Diapir, Blake Ridge’i kapsayan okyanus tarama programı bölüm 164 bünyesindeki sedimentlerin geoteknik özelliklerini inceledi. Çalışmasında yüksek sediment ve gas hidratları oranlarının gerilim tarihiyle ilişkisini belirlemektir. 3 ayrı bölgede yapılan çalışmalarda Blake Ridge den alınan numunelerde yüksek miktarda gas hidrat oranlarıyla karşılaşıldı. Bölgedeki konsolidasyon davranışlarının sebebi de yüksek sediment oranları olarak gösterildi. Tesadüfü olarak maksimum sediment oranının olduğu bölgelerde, aşırı derecede düşük efektif gerilim değerleri ile karşılaşıldı.

Papanicolaou ve ark. (2003), sediment varlığının ve özgül ağırlığının toplama formasyonu ve toprak geometrik karakteristikleri üzerindeki rolünü araştırdılar. Çalışma sonucunda sediment varlığının, toprak mikroformlarının boyut ve mimarisini etkilediği sonucuna vardılar.

Winters (2000b), kurutma metodlarının ve sıcaklıkların Blake Ridge’den alınan sediment numunelerinin porozite ve su içeriği özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdı. Su içeriği değerleri, sabit 60 °C de ayarlı ve ayrıca 60 °C’ye kadar artarak sıcaklaşan fırınlarda deney sonucunda bulundu. Sıcaklık sonucu porozite ve su içeriği değerlerindeki değişimlerin paralellik gösterdiği tespit edildi. Düzenli olarak artan sıcaklıklı fırındaki numunelerden su çıkışı arttı ve dolayısıyla su içeriği ve porozite değerleri arttı. Ancak herbir sıcaklık artışında su içeriği oranlarında nispeten küçük değişimler görüldü. Sıcaklıkla birlikte porozite değerlerinde 0,95-3,31 arası oranlarda artış belirlendi.

Kişi ve ark. (2003), nehir enkesitindeki sediment miktarının belirlenmesi için katı madde anahtar eğrilerine göre çok daha iyi bir alternatif olarak bulanık modeller geliştirmeye çalışmışlardır. Geliştirilen bulanık modeller USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen iki istasyonun günlük gerçek zaman,

debi ve sediment konsantrasyonu verilerine uygulanmış ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta bulanık modellerin, askı malzemesini modellemede katı madde anahtar eğrilerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Dursun (2003), Fırat Nehri'nin ana kol ve yan kollarının bazılarının sediment özellikleri, miktarları ve çevreye olan etkilerini incelemiştir. Farklı zamanlarda yatak malzemesini temsil eden örnekler alınarak elek analizi ile granülometri eğrisi çizilmiş ve d90, d65, d50, d35, d10 çapları ve yoğunlukları laboratuarda belirlenmiştir. Schoklitsch, Kalinske, Rottner, Einstein, Toffaleti, Meyer-Peter ve Müler, Shields, Du Boys ile sürüntü maddesi; Yang, Einstein, Toffaleti, Laursen, Engelund-Hansen yöntemleri ile toplam sediment maddesi hesaplanmıştır. Sürüntü için Rottner yöntemi, toplam sediment debisi için ise Laursen yöntemi uygun bulunmuştur. Akarsu debisi ile sürüntü maddesi ve toplam sediment maddesi debileri arasında bölge için matematik modeller belirlenmiştir. Ayrıca yan derelerdeki sedimenti azaltmak için bazı önerilerde bulundu; havza sediment verimini minimuma indirmek için öncelikle taşkın ve erozyonun nedenleri araştırılmalı, eğimi az olan bir yan dereden veya bir yerleşim yerinden taşkın suları ile sürüntü maddelerini çabuk ve problemsiz geçirmek için dere boyunca yatağa taş kaplama yapılabilir, sürüntü maddesi tutucu bentleri ile eğim düşürülerek katı maddelerin bir kısmı geri tutulabilir.

Anh ve ark. (2003), SaiGon-DongNai (SGDN) nehir havzasındaki çevresel kirliliğin belirlenmesi üzerine çalıştılar. Bu bölgeyi seçmelerindeki en büyük etken SGDN'nin yaklaşık 7 milyon kişiyi besleyen bir su kaynağı olarak önem arz etmesidir. Çalışmalarında "Institute for Environment and Resources (IER-CEFINEA)" tarafından geliştirilen ekotoksikolojik deneyler kullanıldı. Mikrokirleticilerin (pestisitler ve ağır metaller), analizleri yapılarak bunların ekosisteme etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar SGDN nehri sedimentlerinin endüstriyel ve tarımsal atık maddeler nedeniyle kirlendiğini gösterdi. Hernekadar kirlenme boyutu muhtemel etki sınırını aşmasa da, SGDN sedimentleri önlem alınmazsa tehlikeli boyutlara ulaşacağı kanısına varmışlardır.

Senjem ve ark. (1996), Minnesota nehir suyu kirliliğine yönelik bir araştırma yaptılar. Yaptıkları çalışmalar sonucunda nehir suyunun, 10 milyon acre

boyutundaki boşaltma havzasından gelen sedimentler ile kirlendiğini belirlediler. Minnesota nehrine yıllık yaklaşık olarak 625,000 ton sediment taşınımı olduğu sonucuna vardılar. Minnesota Kirlilik Kontrol Merkezi ile sediment kirliliğini %40 oranında azaltmak için ortak bir çalışma yaptılar. Bu amaçla havzadaki yabani otları kontrol altına aldılar, drenaj yapıları inşa ettiler, erozyonu önlemek için yeşillendirme çalışmaları yaptılar, ürün rotasyonunda kullanılan pestisit gibi tarımsal ilaçların kullanımını kontrol altına alma çalışmaları yaptılar.

Tüfekçioğlu ve ark.(2004), farklı bir çalışma yaparak derelere sızan sedimentleri engellemekte ‘Dere Kenarı Bitki Kuşakları’nın’ rolünü incelemişlerdir. Ülkemizde çiftçilerimiz tarafından derelerin kenarında genellikle tek sıra halinde başta kavak ve söğüt olmak üzere ağaçlıklar vardır. Bunlar Dere Kenarı Bitki Kuşaklarının işlevlerini bir ölçüde yerine getirebilmektedirler. ABD’de devlet, yoğun tarımın yapıldığı bölgelerde dere kenarındaki 30-60 m genişliğindeki sahayı çiftçilerden kiralamakta ve bu alanlara Dere Kenarı Bitki Kuşakları kurmaktadır. Tüfekçioğlu ve arkadaşları da Dere Kenarı Bitki Kuşaklarının önemini ortaya koyarak ülkemizde de yaygınlaştırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Göl, gölet ve barajların akarsular tarafından doldurulması Türkiye’de ve dünyada en önemli çevre sorunlarından biri olduğu bilinmektedir. Bu sedimentler zaman içerisinde baraj ve göletlerin kullanılabilme sürelerinin kısalmasına sebep olmaktadır. Birçok araştırmacı laboratuvar teknikleri ile su içerisinde asılı bulunan sedimentler üzerinde araştırmalar yapmıştır. Karabulut (2004) ise yakın mesafe uzaktan algılama teknikleri kullanarak su içerisinde asılı bulunan sedimentleri incelemiştir. Bu araştırmasının amacı, farklı miktarlardaki sedimentlerin uzaktan algılama yolu ile ayırt edilebilirliğinin belirlenmesi ve en uygun ışık dalga boylarının tespit edilmesi ve yakın mesafe uzaktan algılama yöntemiyle, uzak mesafe uzaktan algılama çalışmaları için yer gerçekleri hazırlanmasıdır. Sonuçlar yoğunluğu fazla sedimentlerin az olanlardan kolayca ayrıldığını ve uzaktan algılama tekniklerinin farklı karakterdeki sedimentlerin tanınmasında çok önemli ipuçları verdiğini göstermiştir. Yüzey sularından elde edilen yansıma değerleri, su içerisinde asılı bulunan sedimentlerin miktar renk ve boyut özellikleri ile yakından ilgilidir.

Karabulut ve ark. (2004), Ankara'nın güneydoğusunda yer alan Güvenç Göleti de ciddi bir sediment kirliliği altında bulunduğundan dolayı bu bölgede bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada göletin su toplama havzası, sayısal yükseklik modeli kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında sayısal olarak elde edilmiştir. Drenaj ağı, sayısal yükseklik modelinden otomatik olarak üretilmiş ve topografik harita üzerinden sayısallaştırılan drenaj ağı ile karşılaştırılarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra havza sınırı ve alt havzalar otomatik olarak elde edilmiştir. Havza ve alt havzalardaki dere yataklarının profilleri otomatik olarak CBS ortamında elde edilmiş ve havza koruma önlemi olarak inşa edilecek olan fildöfer eşik yerleri belirlenmiştir. Fildöfer eşik uygulaması ile dere yatağındaki sediment taşınımının kademeli olarak kontrol altına alınması planlanmıştır. Sonraki yıllarda uygulamanın etkisini sediment ölçümleriyle değerlendirmeyi planlamışlardır.

Aydın ve Yıldız (2004), Konya Ana Tahliye Kanalı ağır metal kirliliğini tespit etmek için üç farklı istasyondan belirli zaman aralıklarında su ve sediment numuneleri, bunun yanı sıra ağır metal kirliliğini tespit etmek için Tuz Gölü'nden de numune alarak analizler yaptılar. Sediment numunelerindeki toplam ağır metal miktarını belirlemek amacıyla, numunelerin parçalanmasında HNO_3 , HCl , HF karışımı ve mikrodalga tekniği kullanılmıştır. Atıksu ve sediment numunelerinin ağır metal içerikleri diğer atomik spektroskopi tekniklerine nazaran daha hassas ölçüm yapması ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi nedeniyle ICP-AES tekniği kullanılarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde Fe, Li, Ni, B, V değerleri için yüzeysel su kriterlerinin üzerinde sonuçlar gözlenmiştir. Sonuçlara göre, kış aylarında yağışın fazla olması, yazın ise buharlaşmanın fazla olmasına bağlı olarak ağır metaller için max. değerler daha çok yaz aylarında gözlemlendi. Atık suya benzer olarak, sedimentte de max. değerler buharlaşmanın fazla olduğu yaz aylarında gözlemlendi.

Boyacıoğlu (2004), çalışmasında suda çözünmeyen ve sediment içinde depolanan mutajen (kanserojen) özelliği olan materyalin varlığını saptayarak İzmir Körfezi'nin kirliliği hakkında veri elde etmeye çalışmıştı. Ekim 1995 – Aralık 1995 tarihleri arasında İzmir Körfezi'nin, iç, orta ve dış kısımlarından seçilen istasyonlardan alınan sediment örneklerinde S, typhimurium TA 98 ve TA

100 suşları ile Anes'in mutajenite testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre, körfezin iç kısmına dökülen dere ve kanalizasyonlar taşıdıkları kirlilik yükü sebebi ile körfez için mutajenik aktivite kaynağı teşkil etmektedirler.

Eryılmaz ve ark. (2006), Çanakkale Boğazı sediment dağılımını incelemişlerdir. Çanakkale boğazı sediment dağılımı İstanbul Boğazı'nda olduğu gibi, iki tabakalı akıntı sistemine bağlı olarak gelişmiştir. Boğazın morfolojik yapısı ve batimetrisi, boğaz boyunca sediment dağılımını önemli ölçüde etkilemiştir. Yüksek enerjiye sahip olan boğazın dar kesimlerinde, özellikle –50 metrede takip edilen kanal boyunca, genellikle iri taneli kırıntılı materyaller depolanabilmiştir. Akıntı hızının yüksek olduğu bu alanlarda tabandaki sediment kalınlığı diğer kesimlere göre incedir. Ancak boğazın genişlediği ve akıntı hızının düştüğü alanlar ile boğazın her iki yakasında yer alan küçük koylarda kohezyonlu ince taneli sediment birikimi söz konusu olmakta ve burada yer yer birkaç on metreyi bulan kavrı içeren, kumlu çamur ve çamur yer almaktadır. Bu alanlarda akıntı hızı azdır. Sonuç olarak Çanakkale Boğazı genel anlamı ile ince taneli materyallerin depolandığı, sediment kalınlığı diğer deniz alanlarına göre daha az olan bir deniz alanıdır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Büyükşehir ve ilçe belediyeleri son yıllarda Porsuk çayı kirliliğini temizleme çalışmalarını hızlandırmışlardır. Yapılan bu çalışmalar daldırma kepçelerle DSİ tarafından yapılmaktadır ve Şekil 1.5'de gösterilmiştir.

Bu çalışmalar kimi zaman doğru projeler üretilmediği zaman yanlış sonuçlar verebilmektedir. 2002 yılında Porsuk sahil yolundaki yüzlerce bina, yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Kenti ikiye bölen Porsuk çayının her iki tarafında bulunan binalar, deprem nedeniyle hasar görmüş ve bazıları yıkılmıştır. Sahil şeridindeki hasarlı çok sayıda bina, ıslah çalışmaları kapsamında kanal yatağında yapılan temizlik nedeniyle yıkılma tehlikesi yaşadı. Tehlike nedeniyle, bazı bina sahipleri evlerini boşaltmıştır (Akşam Gazetesi, 22/05/2002).



Şekil 1.5. Nehirden temizleme çalışmaları (Koyuncu, 2005)



Şekil 1.6. Odunpazarı Belediyesi ıslah çalışmaları

Odunpazarı Belediyesi çevre düzenlemesi ve temizliği çalışmalarına bir yenisini daha ekleyerek (Şekil 1.6), Eskişehir Sulama Birliği ile ortaklaşa Porsuk Çayı ana kanalında temizlik çalışmaları yapmıştır. Eskişehir Sulama Birliği ve

Odunpazarı Belediyesi tarafından 61 Evler mevkiinde merkez porsuk çayı ana sağ kanalında yapılan çalışmalar kısa kanal temizleme çalışmalarına da ivme kazandırmıştır (www.odunpazarı.bel.tr (09.09.2004)).

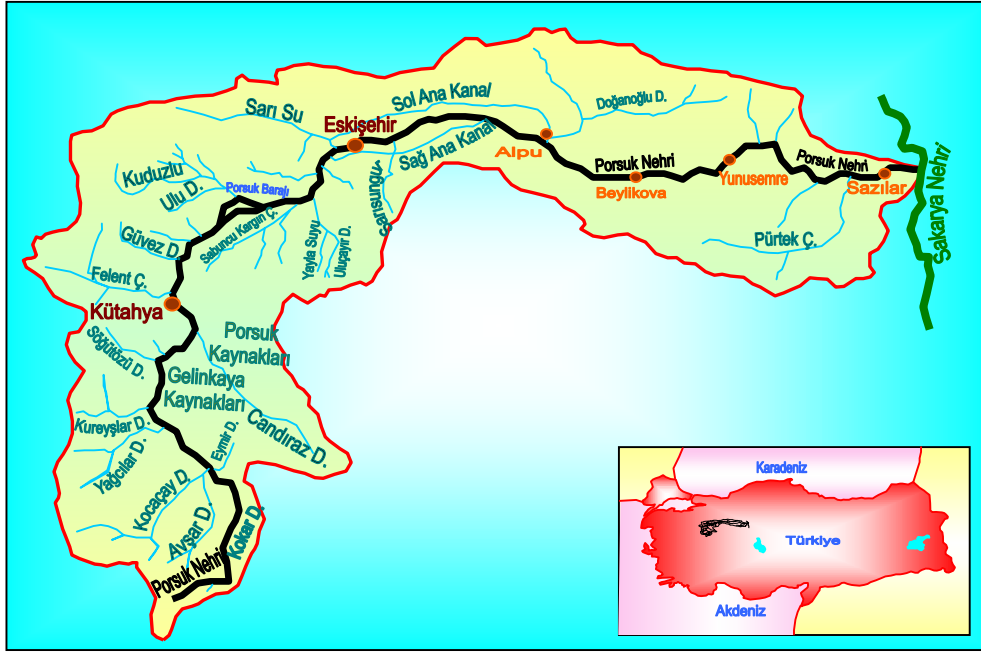
Beş yıl öncesine kadar dünyanın en kirli akarsuları arasında gösterilen, Eskişehir'i ortasından ikiye bölerek kent içinde 12 kilometrelik bir güzergahtan geçen Porsuk Nehri'ni temizleme çalışmaları halen devam etmektedir. Büyükşehir Belediyesi Nehrin , büyük bir bölümünün temizliğini tamamladıktan sonra, nehrin üzerinde Midas ve Yunus Emre isimlerini taşıyan bot seferlerini de başlattı. Eskişehirli 50 YeniKuruş karşılığında teknelerle 15 dakika porsuk çayında tur atabiliyorlar. Bu arada, Porsuk çayında ulaşımın 12 kilometrelik güzergah boyunca kesintisiz sürdürebilmesi için, Panama ve Süveyş kanallarındaki gibi çökeltme havuz sistemleri yapıldı. Porsuk çayında da Büyükşehir belediyesine ait tekne ve botlar bir bölümden bir bölümü geçerken, açılır, kapanır kapılardan geçecekler ve çökeltme havuzları sayesinde kesintisiz olarak yolculuk yapılabilecek. (İki Eylül Gazetesi, 17 Nisan 2006)

Bu çalışmanın temel amacı da yapılan bütün bu çalışmalarda, porsuk nehrinin çevre etkilerini ortaya koymak ve bu kirliliğin ortaya çıkarılmasına ve azaltılmasına yardımcı olmak ve ileride yapılacak çalışmalara da temel oluşturmaktır. Çalışmada Porsuk nehri sedimentlerinin geoteknik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, Porsuk havzası zeminlerinin geoteknik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve Porsuk nehri sularının bazı özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada farklı istasyonlar kullanarak kirlilik özelliklerinin nehir boyunca değişiminin gözlenmesi ile istasyon verilerinden faydalanarak kirletici kaynakları daha net olarak belirlenebilecektir. Kimyasal ve geoteknik özelliklerin belirlenmesi ile sedimentlerin temizlenme, depolama ve iyileştirme çalışmalarına yardımcı olunabilecektir.

2. ÇALIŞMA ALANI

2.1 Porsuk Havzası ve Porsuk Nehrinin Özellikleri

Porsuk nehri; Kütahya ili sınırlarında bulunan Tokul köyü yakınlarından 1170 m.'lik yükseklikten Batı Anadolu Platosundan çıkarak doğu istikametine doğru 435,8 km. mesafelik bir akımla Sakarya nehrine akarsu kavşağında 600 m.'lik bir yükseklikte birleşmektedir. Nehrin aktığı alan içinde iki büyük şehir bulunur; Eskişehir ve Kütahya. Nehir suyu Kütahya'nın merkezine gelinceye kadar temiz ve kirlenmemiş bir şekildedir, ancak bu noktadan itibaren belediye, endüstriyel ve evsel atık deşarjlarıyla kirlenmeye başlar (DSİ, 1998).



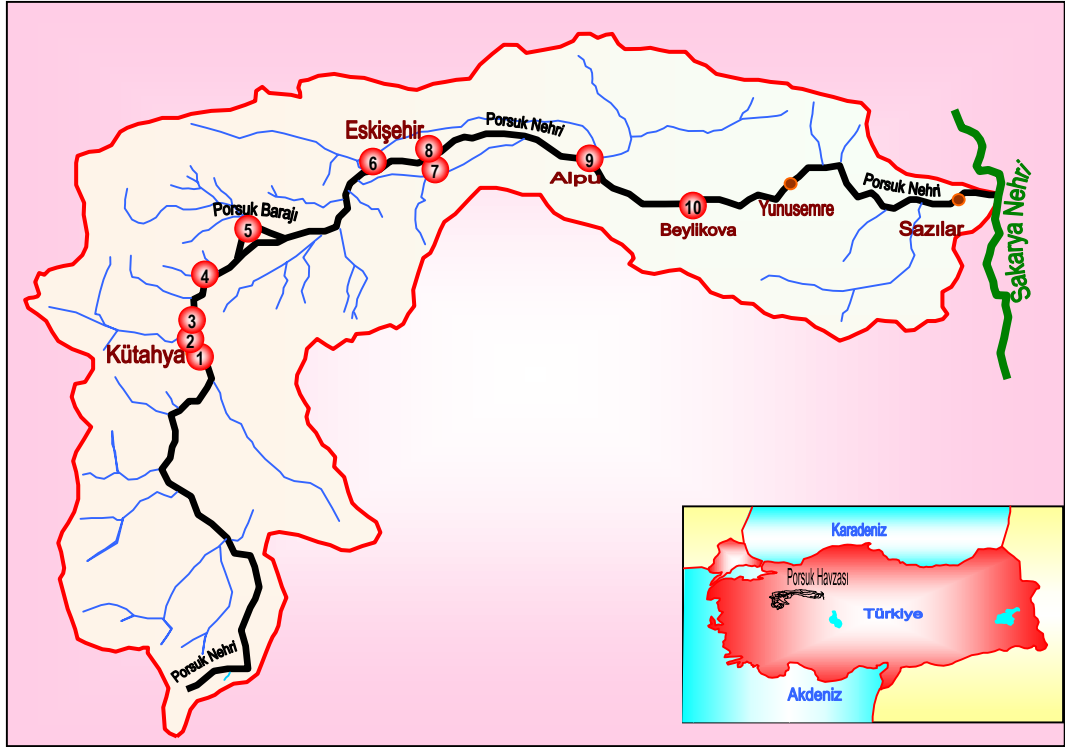
Şekil 2.1. Porsuk Havzası (Koyuncu, 2005)

2.2 İstasyon Noktaları ve Kirlilik Durumu

Bu çalışmada seçilen istasyon noktaları ve bunlara ait bazı özellikler aşağıda verilmiştir. Ayrıca istasyon noktaları Şekil 2.2'deki porsuk havza haritası üzerinde de gösterilmiştir. İstasyon noktalarının seçiminde daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alınmıştır. Bundaki amaç çalışmaların devamlılığını sağlayarak uzun süreli bir gözlem ve çalışma sağlamaktır.

2.2.1 Kütahya Pis Su Arıtma Tesisi Öncesi

Bu istasyon noktası, Kütahya Belediyesi Mezbahası öncesindedir ve Porsuk nehrinin membasından itibaren yaklaşık 148. kilometrede bulunmaktadır. Bu bölgede, kirlenmeye evsel atıklar ve nehir yan kolları sebep olmaktadır. Bu istasyondan sadece havza numunesi alınmıştır.



Şekil 2.2. Porsuk Nehri boyunca örnek alınan istasyonlar ve Porsuk Havzası (Koyuncu, 2005)

2.2.2 Kütahya Azot Fabrikası Öncesi

Kütahya Azot Fabrikası, 1961 yılında kurulmuştur. Porsuk Nehrinin membasından itibaren yaklaşık 152. kilometrede bulunmaktadır. Porsuk Kaynağından 150. km.'de yani bu istasyondan iki kilometre önce Felent Çayı nehre karışmaktadır. Havza bazında, hatta ülke çapında önemli bir endüstri kuruluşudur. Temmuz ayı içerisinde bazı özel ve genel bakım işleri nedeni ile üretim kesilip diğer zamanlarda üretim yıl boyunca kesintisiz devam etmektedir. Fabrikadaki bazı üretilen maddeler Amonyak 456 ton/gün, Karbondioksit 156.000-168.000 m³/gün dür. Eskişehir'de valilik, belediye, üniversite, basın,

gönüllü kuruluşlar ve halkın çok duyarlı ve kararlı tavır almaları sonucu Kütahya Azot Fabrikası asit pompa kaçaklarını en aza indirmiş, ayrıca amonyak üretim ünitesi de 1993 yılında kapatılmış ve Gemlik'teki tesisten getirtilen susuz amonyak (%28 NH₃) kullanılmasına geçilmiştir. Bu istasyondan havza ve nehir sediment örnekleri alınmıştır.

2.2.3 Çalca

Bu istasyon noktası, Kütahya Azot Fabrikası ve Kütahya Porselen Fabrikası sonrasındadır. Porsuk Nehrinin membasından itibaren yaklaşık 155. kilometrede bulunmaktadır. Çalca istasyon noktasını etkileyen kirletici kaynakları da, Kütahya Azot Fabrikası, Kütahya Porselen Sanayi ve Kütahya Ambalaj Sanayi deşarjlarıdır. Bu istasyondan havza numunesi alınmıştır.

2.2.4 Sabuncupınar Köprüsü

Sabuncupınar mevkii, Kütahya şehrine yaklaşık 25 km uzaklıktadır. Porsuk kaynağından uzaklığı ise 175 kilometredir. Bu istasyon Porsuk Nehri üzerine kurulmuş olan Porsuk Barajının da Girişi olmaktadır. Bu bölgedeki kirlenme Kütahya halk sulamalarından dönen tarımsal suların Porsuk Nehrine geri dönmesinden kaynaklanmaktadır. Bu istasyondan nehir sediment örnekleri alınmıştır.

2.2.5 Porsuk

Bu istasyon noktası, Sabuncupınar deresinden sonra, Porsuk Nehrinin membasından itibaren 194.kilometrede bulunmaktadır. İstasyon noktası Porsuk Baraj bölgesi içinde kalmaktadır. Bu noktada sadece havza numunesi alınmıştır.

2.2.6 Vişnelik

Vişnelik istasyonu Porsuk Nehrinin membasından itibaren 245. kilometrede bulunmaktadır. Bu istasyon noktası Vişnelik Kanlı Kavak Parkı içerisinde yer almaktadır.

Vişnelik istasyonunu kirleten bazı önemli kirletici kaynaklar; Sabuncupınar deresi, Uluçayır deresi, Eşenkara, Benzinlik, Sarar (Sümerbank) Basma Fabrikasıdır (Akdeniz, 2004).

Bu istasyonda DSİ tarafından yapılan ölçümlerde, Amonyak azotu açısından 2.sınıf su ve orta fosfat açısından 3.sınıf su, kimyasal oksijen değeri açısından 3.sınıf su, diğer parametreler açısından 1.sınıf su olduğu belirlenmiştir (DSİ, 1998). Bu istasyondan nehir sediment numunesi alınmıştır.

2.2.7 Eskişehir Şeker Fabrikası Sonrası

Burada istasyon olarak Yeni Otogar karşısındaki köprünün yanı sıra seçilmiştir. Ayrıca bu noktada DSİ kalite gözlem istasyonu da mevcuttur. Bu noktayı istasyon olarak seçmemizin sebebi Eskişehir Şeker Fabrikası deşarjı sonrası olmasıdır. Şeker pancarının yıkanmasından sonra ortaya çıkan atıklar ve evsel atıklar Porsuk Nehrini kirletmektedir. Porsuk nehrinin membasından itibaren 249. kilometrede bulunmaktadır.

1988 yılı içinde bu atıklar vidanjörler ile alınarak Eskişehir çöplüğüne atılmaya başlanmış, ancak sıvı atıkların çöplükten Sarısu deresi boyunca tekrar Porsuğa döndüğü görülmüş, ardından da bu uygulamadan vazgeçilmiştir. 1989 yılı içerisinde ise şeker fabrikası kendi imkanları ile büyük çöktürme havuzları yaptırılmıştır (Sandıkçı, 1996). Bu istasyondan nehir sediment numunesi alınmıştır.

2.2.8 Eskişehir Pis Su Arıtma Öncesi ve Sonrası

Eskişehir Pis Su Arıtma Öncesi istasyonu, Porsuk Nehri membasından itibaren 255. kilometrede bulunmaktadır. Bu istasyon noktası öncesinde Eskişehir Mezbaşa deşarjı bulunmaktadır. Atıksu miktarı 70 m³/gün'dür. Tesisin hiçbir

arıtma tesisi yoktur (DSİ, 1998). Eskişehir pis su arıtma sonrası istasyonu da arıtma tesisi sonrasında bulunmaktadır. Bu istasyon noktalarından nehir ve havza sediment örnekleri alınmıştır.

2.2.9 Alpu

Bu istasyon noktası, Porsuk Nehrinin membasından itibaren 314. kilometrededir. Bu alan sadece geri dönen sulama suyu ile bir miktar kirlenmektedir (Koyuncu, 2005). Bu noktada ayrıca DSİ kalite gözlem istasyonu da mevcuttur. Bu istasyondan iki ayrı noktadan numuneler alınmıştır. Ve alınan numuneler hem havza hem nehir sedimentlerini kapsamaktadır.

2.2.10 Beylikova

Beylikova istasyonu, Porsuk Nehri membasından itibaren 352. kilometrede bulunmaktadır. Bu nokta öncesinde nehre Mihaliççık Deresi karışmaktadır. Ayrıca, Güven Süt, Danone SA ve Dersan deşarjları verilmektedir (Koyuncu, 2005). Bu noktada ayrıca DSİ kalite gözlem istasyonu da mevcuttur. Bu istasyondan iki ayrı noktadan numuneler alınmıştır. Bu istasyon noktalarından sadece nehir sedimentleri örnekleri alınmıştır.

3. DENEY YÖNTEMLERİ

3.1 Geoteknik Özellikler

3.1.1 Su muhtevası (içeriği)

Su muhtevası (w), zeminin taneler arası boşluklarında içerdği su durumunu yansıtan bir terim olup, su ağırlığının kuru ağırlığa oranı olarak tanımlanır (Uzuner, 1998). Genellikle yüzde olarak ifade edilen su muhtevasının değeri sıfır (kuru zeminde) ile yüzde birkaç yüz arasında değişir. Bazı denizel killerde veya organik zeminlerde %500 veya daha yüksek değerlere çıkabilse de çoğu zeminlerin su muhtevası %100'ün çok altındadır (Kayabalı, 2002). Sedimentlerde su muhtevası değeri oldukça yüksek çıkmaktadır. Sediment içerisinde çürümüş bitki ve hayvan içerikli organik atıklar bulunmaktadır. Bu bitki ve organik atıklarında su tutma kapasiteleri yüksektir. Su muhtevası, oturma ve sızma gibi özelliklerin anlaşılmasında önemlidir. Atıklar için su muhtevası atık yoğunluğuna ve atık içindeki zeminin yapısına bağlıdır. İnce ve kaba daneli malzemelerden oluşan zeminlerde su muhtevası oksijeni ve zemin aktivitesini etkilemektedir (Tuncan, 1996).

Su içeriğinin laboratuarda tayin edilmesi son derece kolaydır. ASTM (1980) D2216 standardında bunun detayları verilmiştir. Zemini temsil edecek şekilde alınan örneklerin toplam veya ıslak kütlesi belirlenir. Daha sonra bu zemin örneği 105°C ısıdaki etüvde (Şekil 3.1) ağırlığı sabit kalana kadar kurutulur. Zemin örneğinin genellikle bir gece etüvde kurutulması yeterli görülmektedir. Kuruma sonucu meydana gelen su kaybının, kalan kuru sediment ağırlığına oranı alınarak, ağırlık cinsinden ifade edilir.

3.1.2 Dane özgül ağırlığı

Özgül ağırlık (G_s), zeminin katı parçacıklarının birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak adlandırılır. Özgül ağırlık, sediment'i oluşturan katı parçacıkların ağırlığı olarak düşünülebilir (Aytekin, 2000).

Yığılmış sediment'in özgül ağırlığı, sediment'in konsolidasyon durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Özgül ağırlık, ilk yığılmadan sonra zamanla artar. Sediment karışımının meydana geldiği mineral cinsi de özgül ağırlığı etkilemektedir. Bunun için zeminin katı danecikleri için bulunan özgül ağırlık değeri zemin içerisinde bulunan minerallerin ortalama bir özgül ağırlığıdır.

Dane özgül ağırlığı ASTM D854-00'da belirtilen "specific gravity of soil solids by water pycnometer" standardı ile belirlenir. Bir zemine ait su muhtevası ve özgül ağırlığın bilinmesi ile zemine ait diğer fiziksel özellikler örneğin; boşluk oranı, porozite, doygunluk derecesi hesaplanabilir. Öte yandan zeminlerin dane dağılımlarının belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında, konsolidasyon ve kompaksiyon deneylerinde özgül ağırlıklarının bilinmesi gerekmektedir (Aytekin, 2000). Ayrıca sediment taşınımında özgül ağırlık önemli bir etkidir. Özgül ağırlığının fazlalığı tanenin hareketini kısıtlamaktadır.



Şekil 3.1. Numunelerin kurutulduğu fırın

3.1.3 Hacimsel su muhtevası

Su ağırlığının toplam hacme oranı hacimsel su muhtevası olarak tanımlanır. ASTM D653-97'de verilen metoda uygun olarak, etüvde buharlaşan su hacminin toplam hacme oranı olarak hesaplanır. Zeminin temel özellikleri (dane özgül ağırlık, su muhtevası, doygunluk derecesi vb.) bilindiği takdirde hacimsel su muhtevası ve diğer özellikler faz diyagramı kullanılarak hesaplanabilirler. Faz

diyagramı ile hacimsel su muhtevasını hesaplarken yaz ve kış ayları için doygunluk derecesi %100 olarak kabul edilmiştir (Koyuncu, 2005).

3.1.4 Organik madde miktarı, su içeriği, kuru madde, sabit madde miktarı

Sediment örneklerinin 105°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutulmasından sonra, numuneler 550°C'de yakılarak *Ateşte Kayıp Miktarı* bulunur. Ateşte kayıp miktarı bize *organik madde miktarının* kaba bir ölçüsünü verir. Kuru madde 550°C'de yakıldıktan sonra kalan kısmına "*sabit madde (SM)*" adı verilir (Kocasoy, 1994).

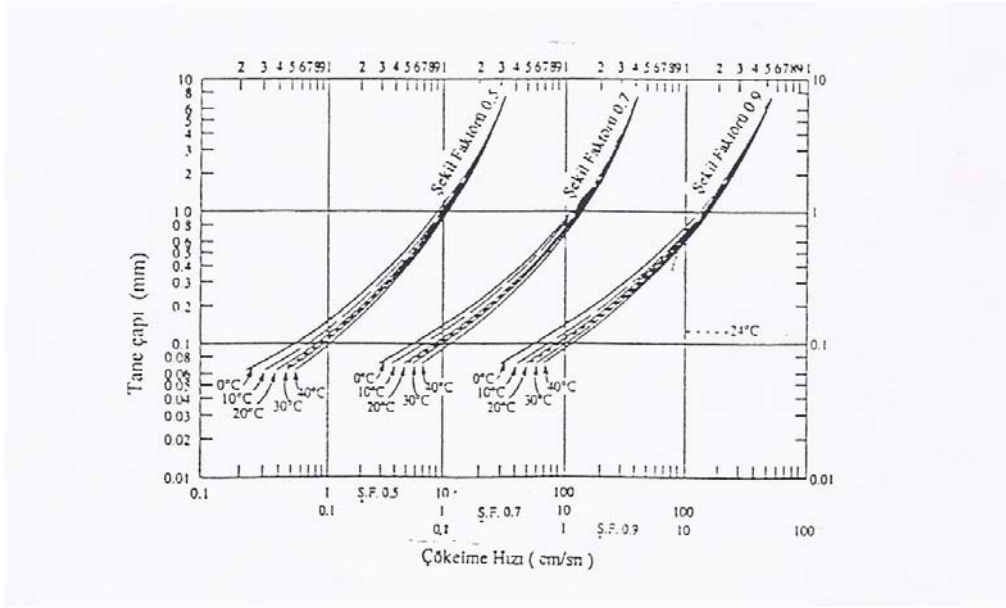
105°C sıcaklıkta kurutulan sediment ağırlığında görülen kayıp "*su içeriği (Sİ)*" olarak da adlandırılır. Sediment'in kurutularak içindeki suyun uçurulmasından sonra kalan kısma da "*kuru madde (KM)*" denmektedir (Kocasoy, 1994).

3.1.5 Dane çapı dağılımı

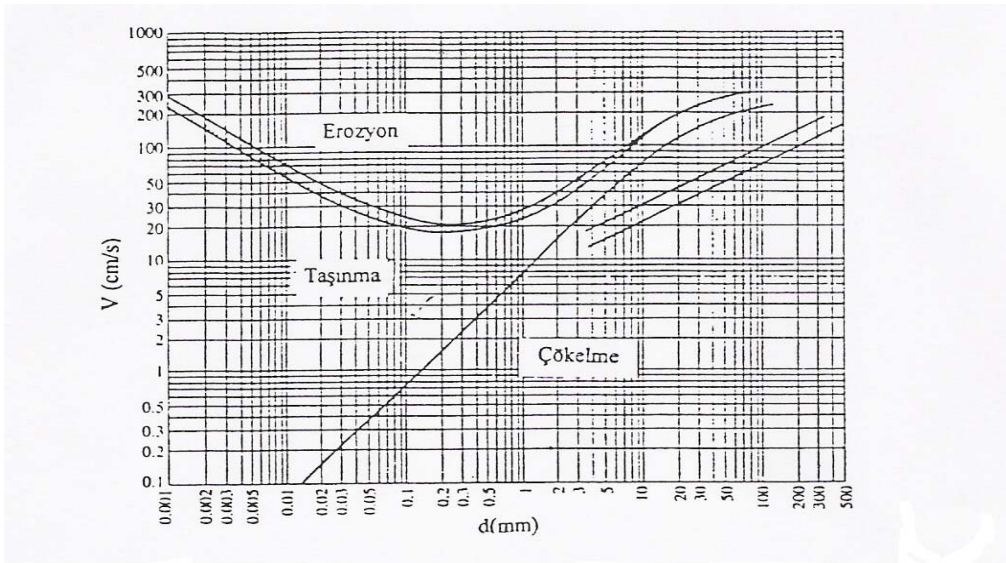
Dane çapı, sediment'in fiziksel özelliklerini etkileyen ve kolayca ölçülebilen en temel özelliklerindedir. İyi bir granülometriye sahip bir sediment'in mukavemet ve permeabilite gibi geoteknik özellikleri yüksektir. Bunun sebebi de bu tür zeminlerin kuru birim ağırlıklarının yüksek olmasıdır. Ayrıca sediment'in çökme hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi dane boyutudur. Bu ilişkilerle ilgili olarak sediment'in boyutu ile çökme hızı arasındaki ilişkiyi su sıcaklığı ile sediment'in şekil faktörüne bağlı olarak Şekil 3.2'de verilmektedir. Ayrıca Şekil 3.3'de çökme, taşınma ve erozyon için sediment boyutu ve ortalama akım hızı arasındaki ilişki verilmiştir. (Dursun, 2003).

Bir akarsuda taşınan katı madde miktarı, o akarsu ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümünde temel bir veri olmaktadır. Özellikle su alma yerinin tipi ve yer seçiminde, baraj hazne hacminin belirlenmesinde, taşkın kontrolü ile ilgili düzenlemelerde taşınan katı madde miktarının bilinmesi gerekir. Akarsularda genellikle askı maddesi, sürüntü maddesinin yanında çok büyüktür. Toplam sediment'in %80-99'unu genellikle askı maddesi teşkil eder (Bayazıt, 1971).

Büyük olan taneler küçük olanlardan daha yavaş hareket ederler. Yalnız en küçük ve askıdaki ince kum, silt, kil taneleri hemen hemen suyun hızını kazanır ve akarsu boyunca uzun zaman taşınırlar. Karışık taneli sedimentlerde önce küçük taneler ve taşıma kuvvetinin artmasıyla daha büyükleri harekete geçerler. Suyun taşıma kuvveti herhangi bir sebeple azalmaya başladığı takdirde önce büyük taşlar, sonra sıra ile daha küçük olanlar durur ve çökelirler. Böylece tabaka halinde bir arazi yapısı oluşur (Dursun, 2003).



Şekil 3.2. Doğal kuvars taneleri için tane çapı ve çökme hızı arasındaki ilişki (Yang 1996)



Şekil 3.3. Üniorm taneler için erozyon, taşınma ve çökme kriterleri (Hjulstrom 1935)

Genellikle bir havzadaki büyük çaplı sediment taşınımı en fazla yan dereler yoluyla olmaktadır. Küçük çaplı sediment taşınımı ise havzadaki yan dere ve ana akarsudaki kıyı ve taban aşınmalarından kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni olarak havzanın bitki örtüsünün zayıf olması, doğal etkenlerle kayaçların daha kolay aşınması gösterilebilir. Havzadaki özellikle yan dereler üzerinden geçen ulaşım yollarındaki köprü-menfez yapıları, şiddetli yağışlar ve kar erimeleri sonucunda gelen büyük çaplı sediment ile dolmaktadır.

Dane çapı dağılımı, elek analizi ve hidrometre deneyi ile belirlenir. Elek analizi, iri taneli zeminler için yapılır. Bu işlem kuru zeminin, elek açıklığı üstten alta doğru küçülecek şekilde dizilmiş dokumalı telden oluşan kare delikli eleklerde elenmesi suretiyle gerçekleştirilir. Elek analizi, ASTM (1980) C136 ve D422 standartlarına göre belirlenebilir. Buna karşılık gelen AASHTO (1978) deney standartları T27 ve T88'dir. İnce taneli zeminler için elek analizi pratikte zor olduğundan, onun yerine yaygın olarak hidrometre analizi kullanılır. Bu deneyin esası viskoz sıvı içinde düşen küreler için Stokes yasasına dayanır. Stokes yasasında, viskoz sıvı içinde düşen tanelerin nihai hızı tanenin çapına ve süspansiyon halindeki taneler ile sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Düşüş mesafesi ve zamanı bilindiği için tanenin çapı hesaplanabilmektedir. Hidrometre deneyi için ayrıntılar ASTM (1980)'de D422 ve AASHTO (1978)'de T88 standartlarında verilmiştir.

3.1.6 Atterberg kıvam limitleri

Atterberg limitleri, zemin davranışında belirli limitlerdeki veya kritik aşamalardaki su içeriğini ifade eder. İnce taneli zeminlerin tanımlanmasında Atterberg limitleri doğal su içeriği ile beraber en önemli kavramları teşkil etmektedir. Esasında Atterberg kıvam limitleri, ince daneli zeminlerin mukavemet-su muhtevası ilişkisini göstermektedir. Bununla birlikte kıvam limitleri zeminin plastisitesine göre sınıflandırılabilmesini sağlamakta, ince daneli zeminlerin yükleme tarihçesi, su geçirgenlik özellikleri, değişik amaçlar için inşaat malzemesi olarak seçilmesi, yükler altında sıkışması, şişme potansiyeli ile arazi sıkıştırma ve çalışma koşulları yönünden çok yararlı ön bilgiler vermektedir.

Genel olarak, zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta, su geçirgenliği azalmakta, arazi kazı ve dolgu işlemleri sırasında ise zorluklarla karşılaşmaktadır (Özaydın, 1997).

Sedimentlerin boşlukları tamamen su ile dolduğunda suya-doygun bir yapı meydana gelmektedir. Doğal olarak bu durumda boşluklarda hiç hava bulunmamaktadır. Öte yandan aynı sediment kurak bir mevsimde boşluklarında bulunan suların buharlaşması ile tamamen kuru hale gelebilmektedir. Bu ıslanma kuruma çevrimleri ile sedimentler akıcı hale gelmektedir. Su ile değişen bu özelliklerin belirlenmesi için kıvam limitleri yapılmaktadır. Kıvam limitlerinin belirlenmesi sonucunda, mekanik özelliklerin birçoğu da belirlenmektedir (Koyuncu, 2005). Sedimentlerin plastik ve likit limitlerinin belirlenmesi için ASTM D4318-84 (1995)'de belirtilen deney yöntemi uygulanmıştır.

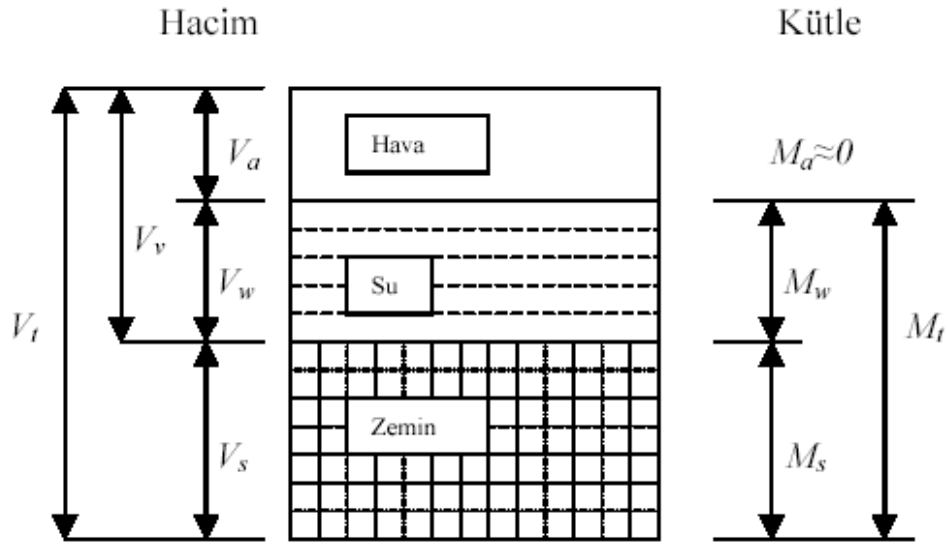
3.1.7 Sınıflandırma özellikleri

Zeminlerin veya sedimentlerin sınıflandırılması ile permeabilite, mukavemet, birim ağırlık gibi birçok özellikleri tahmin edilebilmektedir. Sedimentlerin sınıflandırılmasında, C117-95, "Materials finer than 75 µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing", D1140-00, "Amount of material in soils finer than the No. 200 (75 µm) sieve", D2487-00, "Classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)", D2488-00, "Description and identification of soils (Visual-manual procedure)" metotları kullanılmıştır (Koyuncu, 2005).

3.1.8 Porozite, boşluk oranı, kuru yoğunluk, doymuş yoğunluk

Genelde bir zemin kütlesi katı partiküller ile bunların arasındaki boşluklardan oluşur. Katı partiküller değişik minerallerin küçük tanelerinden oluşmuştur. Boşluklar ise su veya havayla doludur veya kısmen doludur. Bunu teorik olarak şöyle ifade edebiliriz, zemin kütlesinin toplam hacmi V_t , katı partiküllerin hacmi V_s ile boşlukların hacmi V_v 'den ibarettir. Boşluk hacmi

genelde suyun hacmi V_w ile havanın hacmi V_a 'dan oluşur. Bu üç fazı şematik olarak bir faz diyagramında göstermek mümkündür (Şekil 3.4) (Kayabalı, 2002).



Şekil 3.4. Faz diyagramı üzerinde bir zeminin hacim ve kütle ilişkileri

Porozite (n), zeminin boşluk durumunu yansıtır ve boşluk hacminin, tüm hacme oranı olarak tanımlanabilir. Yığılmış sedimentin hacminin belirlenmesinde önemlidir. Boşluk oranı (e), boşluklu bir yapıya sahip zeminde, boşluk durumunu yansıtır ve boşluk hacminin, tane hacmine oranı olarak tanımlanabilir. Kuru kütle, toplam hacme oranı kuru yoğunluk olarak bilinmektedir. Kuru ağırlık ve boşlukların su ile dolu olduğu durumda su hacmi toplamlarının toplam hacme oranı doygun birim ağırlık olarak tanımlanabilir.

3.2 Kimyasal Özellikler

3.2.1 Sedimentlerin pH değerleri

Sediment gözenek suyunun pH değeri, logaritmik olarak hidrojen iyonu konsantrasyonunun 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).

Riley ve Prepas (1984), sediment gözenek suyundaki fosfor konsantrasyonunun pH değerlerinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Fosfor genellikle alg üretimini sınırlayan besin elementidir ve sedimentten fosfor salınımı akarsuyu suyunun kalitesini etkileyebilir (Shaw ve Prepas, 1990). Besleyici elementlerin sedimentten salınımının da pH tarafından önemli ölçüde etkilendiği, özellikle pH değerinin 8,5-10'dan yüksek olması halinde sedimentten salınan fosfor miktarının önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Moss 1988; McDougall ve Ho 1991).

pH ağır metalleri absorbe etme karakteristiği için de önemli bir faktördür. pH değeri büyük olan ortamlarda metal katyonlar yüzeylerde daha çok tutulmakta ve böylece ortama bırakılabilecek değişebilir katyonlar azalmaktadır. $pH > 6,5$ ise ortamın metalleri azalmakta, $pH < 5$ ise ortamın metalleri artmaktadır (Koyuncu, 2005).

Ortamın pH değeri katyon değişim kapasitesini de etkilemektedir. Organik maddelerden ayrılan hidrojen iyonları ortamda serbest kalmakta ve pH değerinin artmasına neden olmaktadır. Katyon değişim kapasitesinin değeri pH değerinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Düşük pH değerleri için hidrojen iyonları yapıdan ayıramamakta ve diğer katyonlar ile yer değiştirememektedir. Yüksek pH değerlerinde ise tersi gerçekleşmektedir (Koyuncu, 1998). Bütün bu sebeplerden dolayı sediment gözenek suyundaki pH değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca pestisit bozunma oranı birçok çevresel faktörden etkilenir, bunlar sıcaklık, zemin nem içeriği ve pH değerleridir.

Sediment örneklerinin pH değerlerinin belirlenmesi için açık havada kurumaya bırakılan numunelerden daha sonra 40 nolu elekten 20 gr alınarak 50 gr saf su ile bir beher içinde yarım saat karıştırılmıştır. Karışım ağzı kapalı olarak 24 saat bekletilmiş ve daha sonra pH değerleri ölçülmüştür (U.S. EPA Method 9045, 1986; Koyuncu, 1998; Tuncan ve ark., 1996; Akdeniz, 2004).

3.2.2 Katyon değişim kapasitesi

Katyon değişim kapasitesi (KDK), özellikle metal katyonları gibi bazı kirleticilerin uzaklaştırılması için önemlidir. Ayrıca ortam içerisinde değişebilir katyonların miktarını da göstermektedir. Katyon değişim kapasitesi ne kadar büyük ise, kirletici katyonların ortamda bulunabilme derecesi o kadar yüksek olmaktadır (Koyuncu, 2005).

Katyon değişim kapasitesinin önemi ıslah çalışmaları sırasında da ortaya çıkmaktadır. İslahatki amaç, toprakta bulunan değişebilir sodyumun genellikle değişebilir katyon toplamının %10'undan fazla olmayacak bir seviyeye indirilmesidir. Toprağın katyon değişim kapasitesi arttıkça ıslah maddesi miktarı da artmaktadır. KDK topraktaki kil mineralinin çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Örneğın kaolinit'te 3-15 meq/100g, montmorillonit 80-150 dir.



Şekil 3.5 Atomik Absorpsiyon Cihazı

3.2.3 Elektriksel iletkenlik değeri

Elektriksel iletkenlik, ortamdaki elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlik ile ilişkilidir. Elektriksel iletkenlik değeri arttıkça zeminin tuzluluk oranı da artmaktadır (Tuncan ve ark., 1996).

Elektriksel iletkenlik ortamdaki iyon miktarı ile doğru orantılı olarak artar. Yapılan araştırmalar çözelti içinde yer alan kil danelerinin sayısının artması ile

dane yüzeyinde yer alan iyonların çözeltiliye karıştığını göstermiştir. Dolayısıyla da katyonların sayısındaki artış elektriksel iletkenlikte artışa yol açmaktadır. Elektriksel iletkenlik ayrıca yüzey alanı ile ilişkilidir. Dane yüzeyi arttıkça elektriksel yük artmaktadır (Koyuncu, 1998).

3.2.4 Toplam metal miktarı

Sedimentlerde çözülmüş veya çözünmemiş halde bulunan metallerin toplamı, sediment içindeki toplam ağır metal miktarını göstermektedir. Ağır metal kirliliği içeren atık sular biyolojik oksijen ihtiyacı değeri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, kendi kendine temizlenme veya arıtmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır. Kirliliği yapan arsenik, civa, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, bakır, çinko gibi ağır metal iyonları ile radyoaktif elementlerdir.

Sedimentte metal miktarı, çeşitli faktörlerin etkisi altında değişkenlik gösterir. Bunlar sediment'in tane boyu, organik madde miktarı, karbonat miktarı, ortamın oksijen miktarı, suyun akıntı ve dolaşım özellikleri ve sedimentteki mineral yada bileşiklerin kaynağıdır (Balkıs, 1997)

Toprak asitliği artınca ağır metallerin mobilizasyonu ve dolayısıyla da ağır metal konsantrasyonu artar. Kurşun, çinko ve bakırın birlikte kirlettiği topraklarda ağır metaller, organik maddelerin parçalanmasını önlerler ve bunun sonucunda da toprakta bozulmalara sebep olurlar.

Sedimentlerin toplam metal miktarı yaş yakma metodu yöntemi ile yapılmıştır (U.S. EPA Method 3050; Koyuncu 1998; Tuncan ve ark., 1996). Sediment örnekleri 105°C'de etüvde 24 saat kurutulduktan sonra 100 nolu elekten elenmiştir. Elenen numuneden 1 gr alınarak 100 ml konsantre HCl+HNO₃ (3:1) asit ile tamamen buharlaşana kadar 100°C'lik plaka (hot plate) üzerinde kaynatılmıştır. Daha sonra bu asit karışımı 1:10 HCl derişimi ile yıkanmıştır. Son olarak selüloz nitrat kağıdından süzölmüştür. Metal miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı ile belirlenmiştir. Çizelge 3.1'de Toksik

maddelerin sınır değerleri ve izelge 3.2’de ağır metallerin toprakta bulunan toplam tolere edilebilir miktarları görülmektedir.

Çizelge 3.1. TSE, WHO ve ABD EPA İçin Toksik Maddelerin Sınır Değerleri (Anonim, 1991)

Parametre	Türk standartları TSE 266 (mg/l)	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) (mg/l)	ABD EPA (mg/l)
Cd	0,010	0,010	0,010
Co	0,010	0,010	0,010
Cr	0,050	0,050	0,050
Cu	3,000	---	---
Fe	0,300	0,100	0,300
Li	---	---	---
Ni	0,020	0,020	0,020
Pb	0,050	0,050	0,050
Zn	5,000	---	5,000
B	0,300	0,300	0,300
Se	---	0,010	0,010
V	1,000	1,000	1,000
Ba	1,000	1,000	1,000
pH	6,5-9,2	6,5-8,5	6,5-8,5

Çizelge 3.2. Ağır Metallerin Toprakta Bulunan Toplam Tolere Edilebilir Miktarları (mg/kg) (Brohi ve ark., 1998)

Parametre	Toprakta Bulunabilen Değer	İzin Verilen Max Sınır
Cu	100	180
Zn	300	1840
Fe	300	4600
As	50	90
Cd	1	9
Se	10	18
B	100	680
Ba	300	600
V	200	1000
Mn	300	920
Co	10	45
Cr	80	90
Pb	300	4600
Ni	100	920

4. PORSUK NEHRİ SEDİMENTLERİNİN ÖZELLİKLERİ

4.1 Geoteknik Özellikler

4.1.1 Su muhtevası (içeriği)

Sediment örnekleri, 105°C'lik etüvde 24 saat kurutulmaktadır. Kuruma sonucu oluşan su kaybının, kalan kuru sediment ağırlığına oranı alınarak, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} 100 \quad (4.1)$$

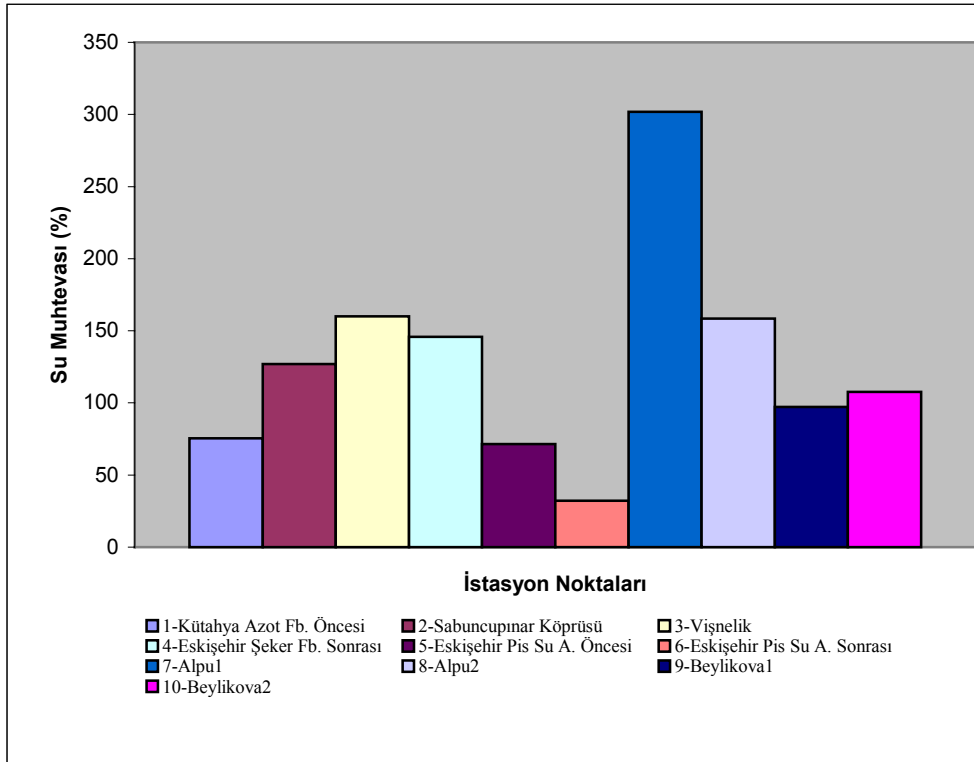
W_w =Buharlaşan su ağırlığı

W_s =Kuru sediment ağırlığı

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de görülmektedir. Sonuçlar %30 ile %300 arasında değişmektedir. Yüksek su muhtevası değerleriyle karşılaşılmasının nedeni organik madde içerikleridir. Sonuçlar ayrıca Şekil 4.1'de grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sedimentlere ait su muhtevası değerleri

İstasyon	Su Muhtevası %		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	70,68	80,13	75,41
2-Sabuncupınar Köprüsü	127,05	127,07	127,06
3-Vişnelik	159,77	160,39	160,08
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	117,36	174,41	145,89
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	69,66	73,11	71,39
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	32,10	32,30	32,20
7-Alpu1	280,45	323,22	301,83
8-Alpu2	125,63	191,15	158,39
9-Beylikova1	96,96	97,27	97,12
10-Beylikova2	105,74	109,40	107,57



Şekil 4.1 Sedimentlerin su muhtevaları dağılımları

4.1.2 Dane özgül ağırlığı

Sedimentlerin dane özgül ağırlıkları Çizelge 4.2’de görülmektedir. Sonuçlar ayrıca Şekil 4.2’de grafik halinde verilmiştir. Özgül ağırlık şu şekilde ifade edilmektedir;

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \text{ veya} \quad (4.2a)$$

$$G_s = \frac{\delta_s}{\delta_w} \quad (4.2b)$$

γ_s =Dane birim hacim ağırlığı (kN/m³)

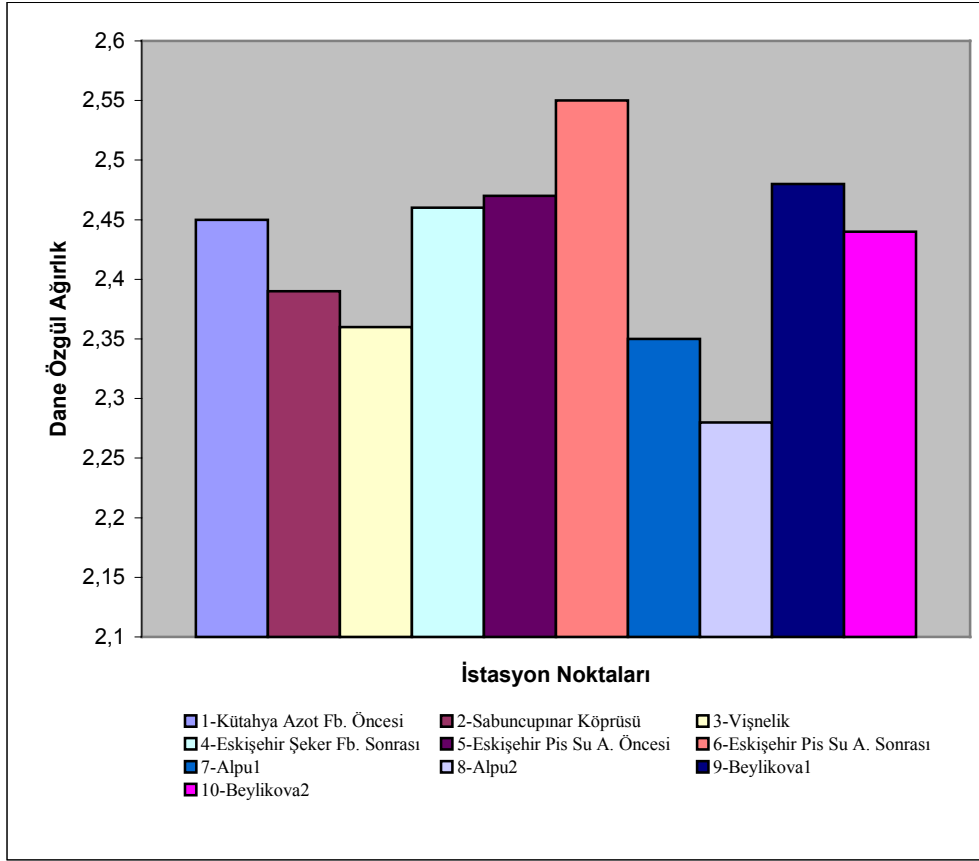
δ_s =Dane yoğunluğu (t/m³)

γ_w =Suyun birim hacim ağırlığı (9,81 kN/ m³ veya 62.43 lb/ft³).

δ_w =Suyun yoğunluğu (1 t/m³ veya 1 g/cm³)

Çizelge 4.2. Sedimentlere ait dane özgül ağırlık değerleri

İstasyon	Dane Özgül Ağırlığı
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	2,45
2-Sabuncupınar Köprüsü	2,39
3-Vişnelik	2,36
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	2,46
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	2,47
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	2,55
7-Alpu1	2,35
8-Alpu2	2,28
9-Beylikova1	2,48
10-Beylikova2	2,44



Şekil 4.2. Sedimentlerin dane özgül ağırlık dağılımları

4.1.3 Hacimsel su muhtevası

Su ağırlığının toplam hacme oranı hacimsel su muhtevası olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilmektedir,

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} 100 \quad (4.3)$$

V_w =Buharlaşan su hacmi

V_t =Toplam sediment hacmi

Hacimsel su muhtevası değerleri, doygunluk derecesi %100 kabul edilerek Şekil 4.3’de gösterilen faz diyagramı ilişkisinden hesaplanmış ve bulunan bu değerler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir (Koyuncu, 2005).

Vs=1 için

Sedimentlerin Geoteknik Hacim-Kütle İlişkileri

suyun yoğ 62,4 lb/ft³

veya 1 tm³ veya 1g/cm³

Doygunluk Derecesi	Boşluk Oranı	Porozite	Özgül Ağırlık	Su Muhtevası	Hacimsel Su Muhtevası	Kuru Yoğunluk	Doygun Yoğunluk	Katı Miktarı
S	e	n	Gs	w (%)	? =Se/(1+e)	pd	psat	
	wGs	e/(1+e)	verilen	verilen	Vw/Vt	Gs _x rw/(1+e)	(Gs+Se) _x rw/(1+e)	Ws/Wt
	Vv/Vs	Vv/Vt				t/m ³	t/m ³	
100	1,85	0,65	2,45	75,41	0,649	0,860	1,509	57,0093

Sedimentlerin Geoteknik Hacim-Kütle İlişkileri

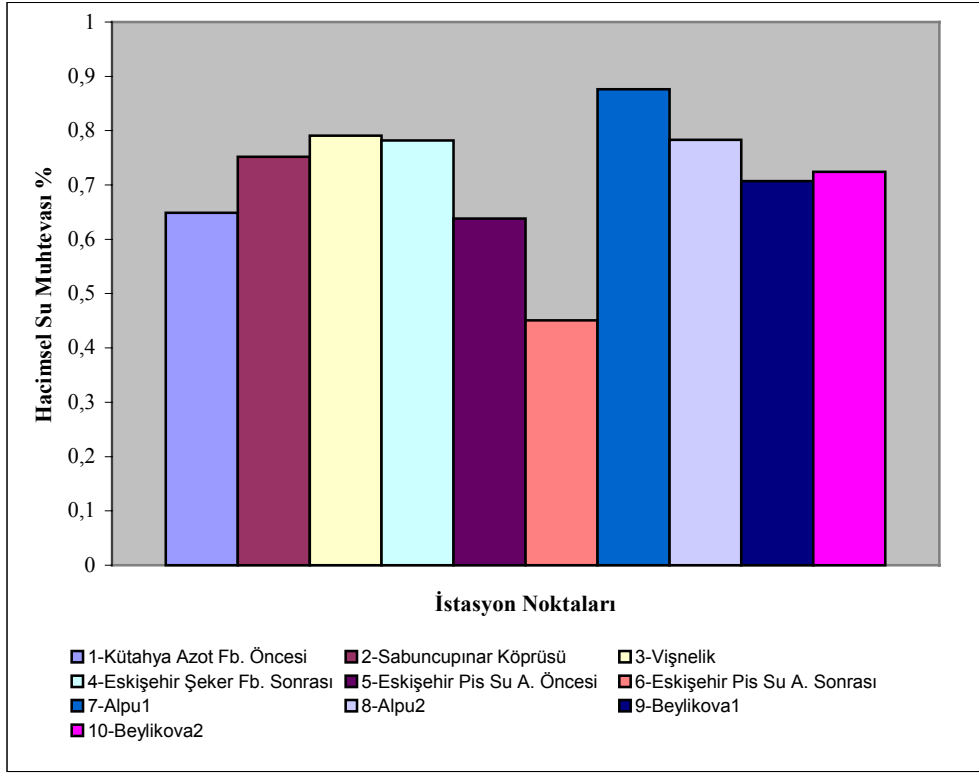
Doygunluk Derecesi	Boşluk Oranı	Porozite	Özgül Ağırlık	Su Muhtevası	Hacimsel Su Muhtevası	Kuru Yoğunluk	Toplam Yoğunluk	Katı Miktarı
S	e	n	Gs	w (%)	? =Se/(1+e)	gd	g	
verilen	verilen	e/(1+e)	verilen	Se/Gs	Vw/Vt	Gs _x rw/(1+e)	(Gs+Se) _x rw/(1+e)	Ws/Wt
	Vw/Vv	Vv/Vs	Vv/Vt			t/m ³	t/m ³	
100	1,85	0,65	2,45	75,41	0,649	0,9	1,5	56,9767

Sediment Geoteknik Hesap.xls

Şekil 4.3a. Kütle ve hacim (faz) ilişkileri, excel hesap tablosu (Koyuncu, 2005)

Çizelge 4.3. Sedimentlere ait hacimsel su muhtevası değerleri

İstasyon	Hacimsel Su Muhtevası (%)
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	0,649
2-Sabuncupınar Köprüsü	0,752
3-Vişnelik	0,791
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	0,782
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	0,638
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	0,451
7-Alpu1	0,876
8-Alpu2	0,783
9-Beylikova1	0,707
10-Beylikova2	0,724



Şekil 4.3b. Hacimsel su muhtevası dağılımları

4.1.4 Organik madde miktarı, su içeriği, kuru madde, sabit madde miktarı

105°C sıcaklıkta kurutulan sediment ağırlığındaki kayıp (su içeriği) ve suyun uçurulmasından sonra kalan kısmı (kuru madde) şu şekilde tanımlanabilir;

$$SI = \frac{W_t - W_s}{W_t} 100 = \frac{W_w}{W_t} 100 \quad (4.4)$$

$$KM = 100 - SI \quad (4.5)$$

SI = Su içeriği (%)

KM = Katı madde miktarı (%)

W_w = Buharlaştıran su ağırlığı

W_t = Örneğin etüve girmeden önceki toplam ağırlığı (ıslak ağırlık)

W_s = Örneğin etüveden sonra kalan katı kısmının ağırlığı (kuru ağırlık)

Çizelge 4.4.1. Sedimentlerin su içeriği değerleri

İstasyon	Su İçeriği %		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	19,2	21,5	20,4
2-Sabuncupınar Köprüsü	26,9	28,1	27,5
3-Vişnelik	39,2	42,9	41,0
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	32,5	38,0	35,3
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	20,6	24,8	22,7
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	14,1	15,1	14,6
7-Alpu1	37,2	37,8	37,5
8-Alpu2	29,8	40,1	35,0
9-Beylikova1	28,9	32,3	30,6
10-Beylikova2	29,1	30,4	29,7

Çizelge 4.4.2. Sedimentlerin katı madde miktarları

İstasyon	Katı Madde Miktarı		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	78,5	80,8	79,6
2-Sabuncupınar Köprüsü	71,9	73,1	72,5
3-Vişnelik	57,1	60,8	59,0
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	62,0	67,5	64,7
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	75,2	79,4	77,3
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	84,9	85,9	85,4
7-Alpu1	62,2	62,8	62,5
8-Alpu2	59,9	70,2	65,0
9-Beylikova1	67,7	71,1	69,4
10-Beylikova2	69,6	70,9	70,3

Organik madde miktarı için numuneler 105°C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuş ve 550°C sıcaklıkta 12 saat yakılmıştır. Sedimentlerin ateşte kayıp miktarları Çizelge 4.4.3’de gösterilmiştir. Ateşte kayıp miktarı şu şekilde ifade edilmektedir,

$$UM = KK = \frac{W_{105} - W_{550}}{W_{105}} 100 \quad (4.6)$$

$$SM = 100 - UM \quad (4.7)$$

UM =Uçucu madde miktarı (%)

SM =Sabit madde miktarı (%)

KK =Kızdırma kaybı (%)

W_{105} =Kuru örnek ağırlığı (105°C de kurumuş örnek ağırlığı)

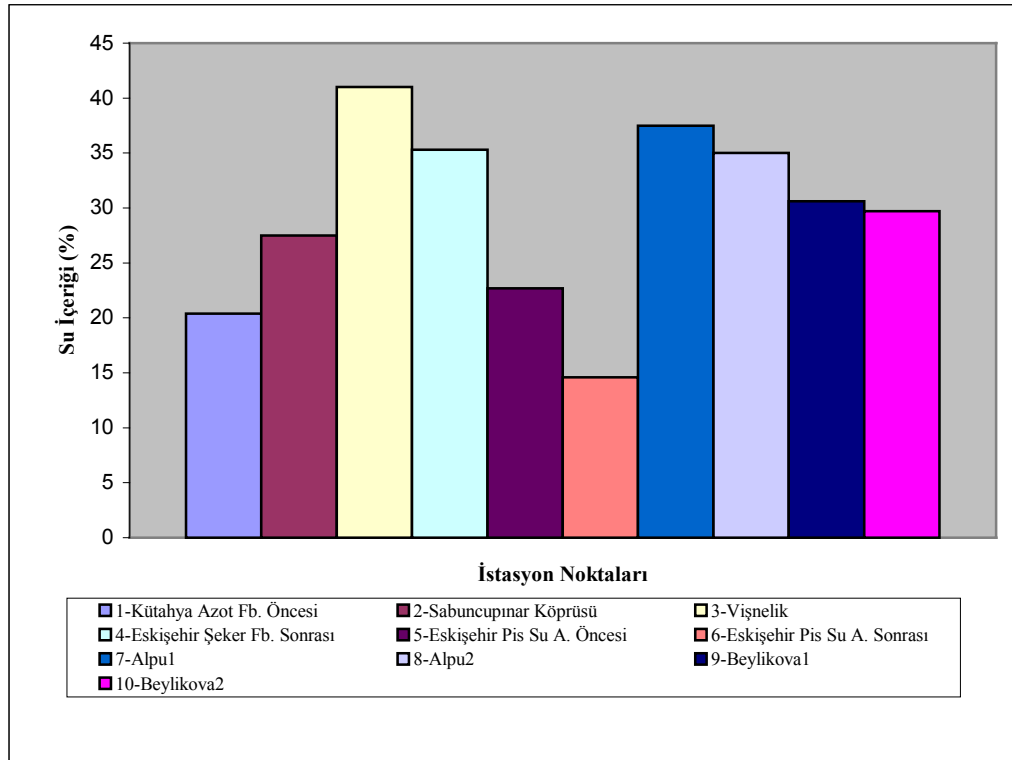
W_{550} =Sabit madde ağırlığı (550°C de yakma sonucu kalan kül ağırlığı)

Çizelge 4.4.3. Sedimentlerin uçucu madde miktarları

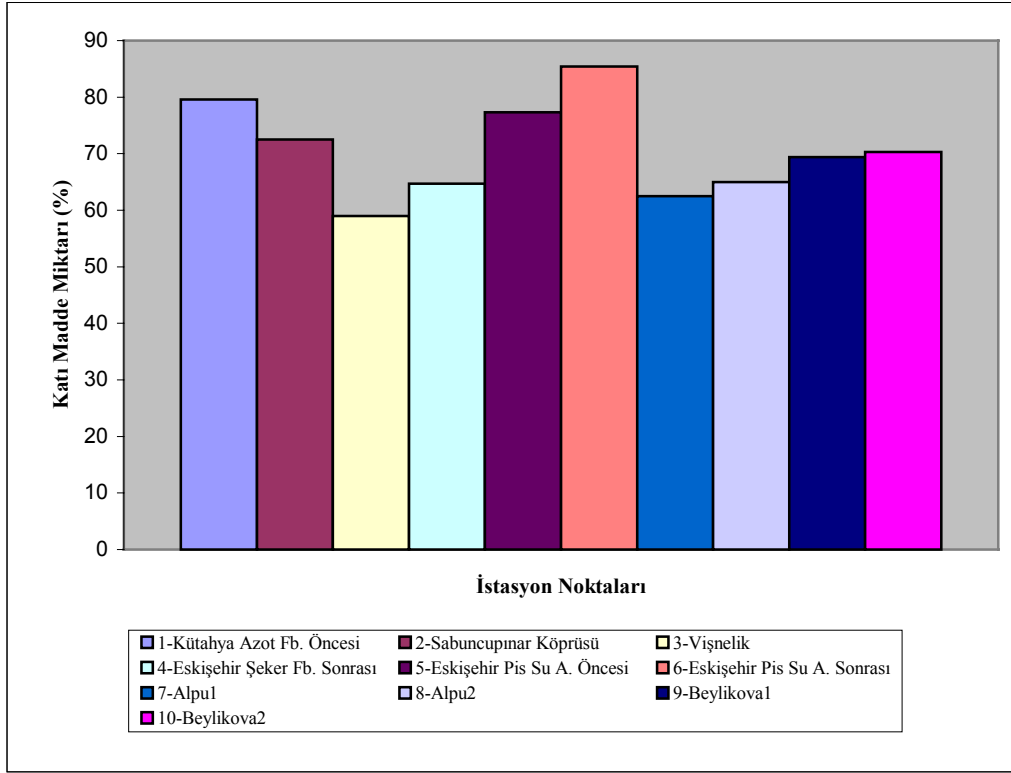
İstasyon	Ateşte Kayıp (Uçucu Madde) %		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	2,60	3,51	3,05
2-Sabuncupınar Köprüsü	3,00	3,50	3,25
3-Vişnelik	3,03	3,33	3,18
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	2,45	3,16	2,81
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	2,61	3,68	3,15
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	0,79	1,22	1,01
7-Alpu1	4,34	4,92	4,63
8-Alpu2	4,44	4,64	4,54
9-Beylikova1	2,57	2,76	2,67
10-Beylikova2	3,22	4,60	3,91

Çizelge 4.4.4. Sedimentlerin sabit madde miktarları

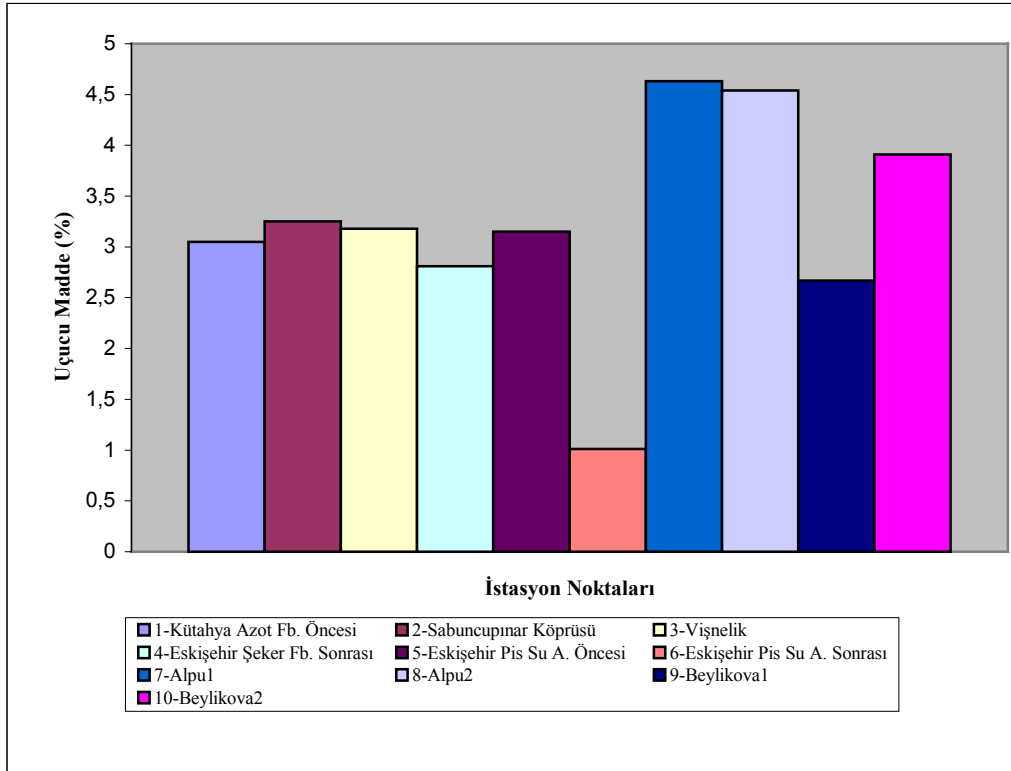
İstasyon	Sabit Madde Miktarı		
	%		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	96,49	97,40	96,95
2-Sabuncupınar Köprüsü	96,50	97,00	96,75
3-Vişnelik	96,67	96,97	96,82
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	96,84	97,55	97,19
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	96,32	97,39	96,85
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	98,78	99,21	98,99
7-Alpu1	95,08	95,66	95,37
8-Alpu2	95,36	95,56	95,46
9-Beylikova1	97,24	97,43	97,33
10-Beylikova2	95,40	96,78	96,09



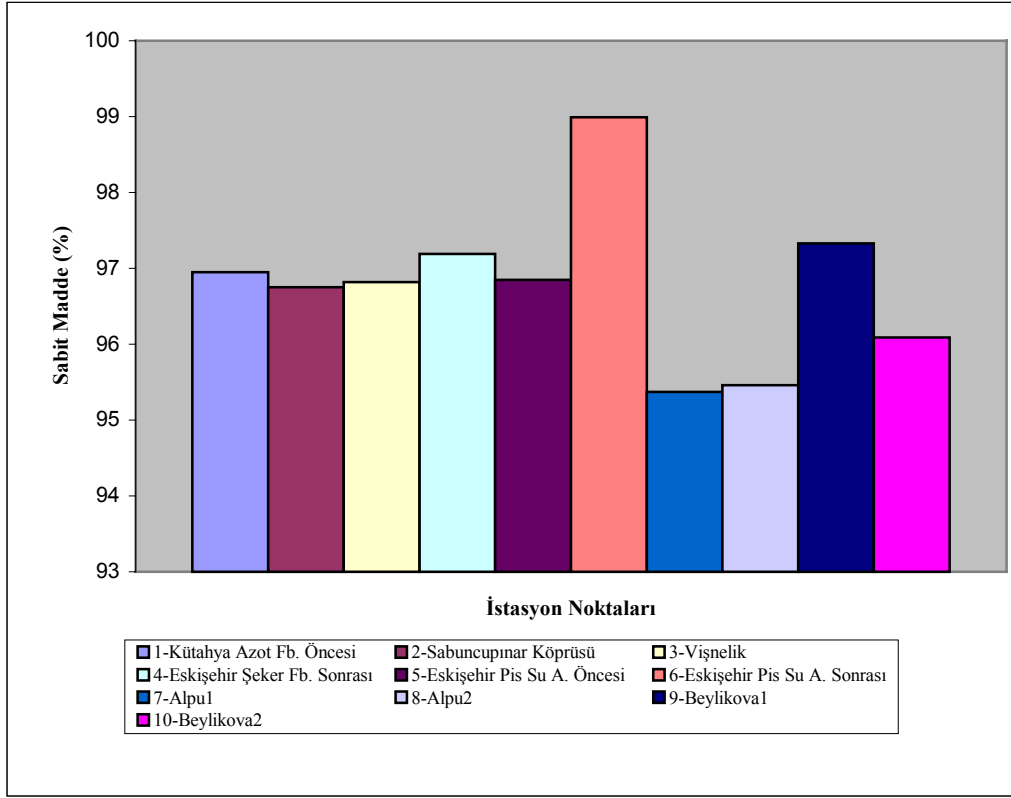
Şekil 4.4.1 Sedimentlerin su içeriği dağılımları



Şekil 4.4.2 Sedimentlerin katı madde dağılımları



Şekil 4.4.3 Sedimentlerin uçucu madde dağılımları



Şekil 4.4.4 Sedimentlerin sabit madde dağılımları

4.1.5 Dane çapı dağılımı

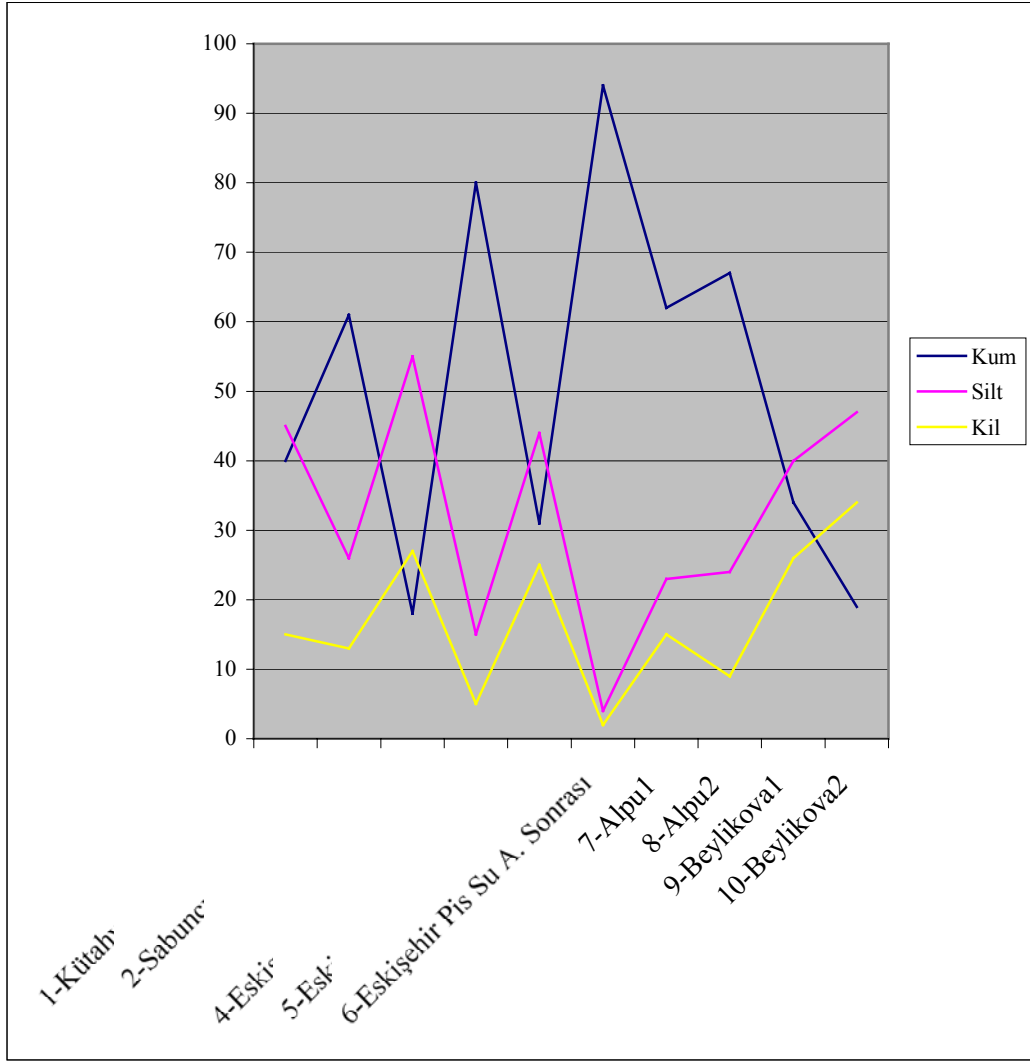
Dane çapı dağılımı için elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Elek analizi için elekler kullanılır. Elekler, genellikle kare gözlüdürler ve her eleğin bir adı vardır. İri gözlü elekler inch olarak, ince gözlü elekler bir rakam ile adlandırılır. 105°C etüvde kurutulan sediment örnekleri bir dizi elekten elenir. Eleme sonunda, her elek üstünde kalan zemin miktarı tartılarak belirlenir.

Hidrometre deneyinde, 200 No.lu elekten geçen zeminden belli bir miktar alınarak, cam silindir içinde damıtık su ile karıştırılarak bir süspansiyon hazırlanır ve taneler, su içinde çökmeye bırakılırlar.

Dane çapı dağılımı için elek analizi ve hidrometre deneyleri sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Dane çapı dağılımı

İstasyon	Dane Çapı (%)		
	Kum	Silt	Kil
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	40	45	15
2-Sabuncupınar Köprüsü	61	26	13
3-Vişnelik	18	55	27
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	80	15	5
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	31	44	25
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	94	4	2
7-Alpu1	62	23	15
8-Alpu2	67	24	9
9-Beylikova1	34	40	26
10-Beylikova2	19	47	34



Şekil 4.5. Sedimentlerin dane çapı dağılımı

4.1.6 Atterberg kıvam limitleri

Sedimentlerin Atterberg kıvam limitlerinin belirlenebilmesi için plastik ve likit limit deneyleri yapılmış sonuçlar Çizelge 4.6 da verilmektedir.

Likit limit için, statik koni penetrasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde, 80 gr ağırlığındaki bir konik uç, 5 saniye süreyle bir kap içine doldurulmuş sediment örneklerine batmaya bırakılır. Değişik su muhtevalarında deney tekrarlanarak batma miktarları belirlenir. 20 mm'lik batmaya karşılık gelen su muhtevası, sedimentin likit limitini verir.

Plastik limit belirlenmesi için kuru ve tane şeklindeki sedimentler 40 nolu elekten elenerek bir miktar su ile karıştırılır. Karışımdan bir miktar alınarak bir cam plaka üzerinde avuç içi ile yuvarlanır. Çubuk haline gelen sedimentler 3mm olduğunda hafif çatlaklar oluşmaya başlar. Bu durumdaki su muhtevası değeri sedimentin plastik limitini verir.

Çizelge 4.6. Atterberg kıvam limitleri

İstasyon	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	52	43	9
2-Sabuncupınar Köprüsü	74	58	16
3-Vişnelik	74	60	14
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	Non-Plastik		
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	49	43	6
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	Non-Plastik		
7-Alpu1	72	0	72
8-Alpu2	70	60	10
9-Beylikova1	60	50	10
10-Beylikova2	66	59	7

4.1.7 Sınıflandırma özellikleri

Zemin sınıflandırması için Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) ve Amerikan Karayolları Sınıflandırması (AASHO) kullanılmıştır.

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sisteminde (USCS) iri taneli zeminler için sınıflandırma tablosu, ince taneli zeminler için plastisite grafiği kullanılarak sınıflandırılır.

Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi (AASHO) yol temeline yöneliktir. Zeminin granülometri eğrisinden elde edilen 10, 40 ve 200 No.lu

eleklere ait yüzdelere, likit limit, plastisite indisi, grup indisi kullanılarak, sınıflandırma tablosundan zemin sınıfı belirlenir.

$$\text{Grup İndisi} = 0,2a + 0,005ac + 0,01bd \quad (4.8)$$

a =200 No.lu eleğe ait yüzdenin 35-75 arasında kalan kısmı (tam sayı)

b =200 No.lu eleğe ait yüzdenin 15-55 arasında kalan kısmı (tam sayı)

c =Likit limit değerinin 40-60 arasındaki kısmı (tam sayı)

d =Plastisite indisinin 10-30 arasında kalan kısmı (tam sayı)

Çizelge 4.7. Sedimentlerin sınıflandırılması

İstasyon	USCS	AASHO
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	OH	A-7-5
2-Sabuncupınar Köprüsü	SM	A-7-5
3-Vişnelik	OH	A-7-5
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	SM	A-2-6
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	OL	A-5
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	SW	A-2-6
7-Alpu1	OH	A-7-6
8-Alpu2	SM	A-5
9-Beylikova1	OH	A-7-5
10-Beylikova2	OH	A-7-5

4.1.8 Porozite, boşluk oranı, kuru yoğunluk, doymuş yoğunluk

Sedimentin birim hacmindeki boşluk oranına porozite (gözeneklilik) denmektedir. Bazı zeminler için tipik porozite değerleri, siltli kum 23-47, standart ottawa kumu 33-44 dür. Porozite, daima %100 den küçüktür.

$$n = \frac{V_v}{V_t} 100 \quad (4.9)$$

n = Sedimentin porozite değeri (%)

V_v = Sediment içerisindeki boşluklar hacmi (m^3)

V_t = Toplam sediment hacmi (m^3)

Sedimentin birim dane hacmi başına boşluk hacmine boşluk oranı denilmektedir. Bazı zeminler için tipik boşluk oranı değerleri, siltli kum 0.30-0.90, temiz kum 0,20-0,95 dir. Bazen 1'den büyük değerlere sahip olabilir. Örneğin, mikalı kum için 0.40-1.2 dir. Organik zeminlerde daha yüksek değerler alabilirler.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (4.10)$$

e = Sedimentin boşluk oranı

V_v = Sediment içerisindeki boşluklar hacmi (m^3)

V_s = Sediment danelerinin hacmi (m^3)

Kuru kütle, toplam hacme oranı kuru yoğunluk olarak bilinmektedir. Kuru ağırlık ve boşlukların su ile dolu olduğu durumda su hacmi toplamlarının toplam hacme oranı doygun birim ağırlık olarak tanımlanabilir.

$$\delta_{dry} = \frac{M_s}{V_t} \quad (4.11)$$

δ_{dry} = Kuru yoğunluk (t/m^3)

M_s = Kuru kütle (ton)

V_t = Toplam sediment hacmi (m^3)

$$\delta_{sat} = \frac{M_s + V_v \delta_w}{V_t} \quad (4.12)$$

δ_w = Suyun yoğunluğu (t/m³)

V_v = Sediment içerisindeki boşluklar hacmi (m³)

Sedimentlere ait bu temel fiziksel özelliklerin hesaplamaları Şekil 4.3a daki excel tablosundan yararlanılarak belirlenmiş ve değerler Çizelge 4.8 de tablo haline getirilmiştir.

Çizelge 4.8. Sedimentlerin fiziksel özellikleri

İstasyon	Porozite	Boşluk Oranı	Kuru Yoğunluk	Doygun Yoğunluk
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	0,65	1,85	0,860	1,509
2-Sabuncupınar Köprüsü	0,75	3,04	0,592	1,344
3-Vişnelik	0,79	3,78	0,494	1,285
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	0,78	3,59	0,536	1,318
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	0,64	1,76	0,894	1,532
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	0,45	0,82	1,400	1,851
7-Alpu1	0,88	7,09	0,290	1,167
8-Alpu2	0,78	3,61	0,494	1,278
9-Beylikova1	0,71	2,41	0,728	1,434
10-Beylikova2	0,72	2,62	0,673	1,397

4.2 Kimyasal Özellikler

4.2.1 Sedimentlerin pH değerleri

Sedimentlerin pH değerlerini belirlemek için laboratuarda hava kurusu normuna ulaşmış sediment örnekleri kullanılmıştır. 40 nolu elekten elenen 20 gr

numune 50 ml saf su ile bir kap içinde 30 dakika karıştırılmıştır. Karışımın üzeri kapatılmış ve 1 saat sonra pH değerleri ölçülmüştür. Sedimentlere ait pH değerleri Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Sedimentlere ait pH değerleri

İstasyon	pH
STS 4 (çok tehlikeli ve zararlı)*	6.0-9.0 dışında
STS 3 (tehlikeli ve zararlı)*	6.0-9.0
STS 2 (az tehlikeli ve zararlı)*	6.5-8.5
STS 1 (tehlikesiz ve zararsız)*	6.5-8.5
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	7,1
2-Sabuncupınar Köprüsü	7,5
3-Vişnelik	8,4
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	7,6
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	7,8
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	7,4
7-Alpu1	7,5
8-Alpu2	7,6
9-Beylikova1	8,2
10-Beylikova2	8,2

4.2.2 Katyon değişim kapasitesi

Katyon değişim kapasitesi deneyleri, sodyum doyurma metodu ile belirlenmiştir. Numuneler önce etüvde 24 saat kurutulmuş ardından 100 nolu elekten elenmiş ve 4 gr alınarak sodyum asetat ile doygun hale getirilerek ortamdaki katyonlar ile çözeltideki sodyumun yer değiştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra, numuneler isopropyl alkol ile yıkanarak ortamdaki tuzların uzaklaştırılması sağlanmıştır. Son olarak, numuneler amonyum asetat ile yıkanmıştır. Ve sediment yüzeyine adsorbe edilen sodyumun sıvı ortama alınması sağlanmıştır. Sıvı içerisindeki sodyum miktarı Atomik Absorpsiyon cihazı ile okunmuştur. Sedimentlere ait KDK değerleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

$$CEC \text{ (meq/1000 gr zemin)} = \frac{A \cdot B}{23} \quad (4.13)$$

$$CEC \text{ (meq/100 gr zemin)} = \frac{CEC \text{ (meq/1000 gr zemin)}}{10} \quad (4.14)$$

A= Ölçülen sodyum miktarı (ppm).

B= Sulandırma miktarı (100 ml çözelti için 4 gr sediment kullanılmıştır, B=25'dir)

23=Sodyumun atom ağırlığı

Çizelge 4.10. Sedimentlere ait KDK değerleri

İstasyon	KDK (meq/100g)
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	39
2-Sabuncupınar Köprüsü	55
3-Vişnelik	66
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	34,5
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	51,5
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	36
7-Alpu1	62,5
8-Alpu2	57
9-Beylikova1	58
10-Beylikova2	56

4.2.3 Elektriksel iletkenlik değeri

Sediment örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin tayini için, laboratuarda oda sıcaklığında üzeri açık olarak kurumaya bırakılmıştır. Sediment örnekleri hava kurusu normuna ulaştıktan sonra 20 nolu elekten elenmiş ve 40-50 gr alınarak saf su ile bir beher içinde doygun hale getirilmiştir ve ağzı kapalı bir kaptaki 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra, çözeltilerin içerisine elektrot daldırılarak

numunenin elektriksel iletkenliği elektriksel iletkenlik ölçer ile belirlenmiştir. Sedimentlere ait elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Sedimentlere ait elektriksel iletkenlik değerleri

İstasyon	Elektriksel İletkenlik	
	µs/cm	ppm
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	2262	1125
2-Sabuncupınar Köprüsü	1689	872
3-Vişnelik	976	512
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	1351	646
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	1654	830
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	2102,0	1148
7-Alpu1	2884	1448
8-Alpu2	2886	1463
9-Beylikova1	1608	1044
10-Beylikova2	1587	996

4.2.4 Toplam metal miktarı

Sedimentlerin toplam metal miktarı yaş yakma metodu yöntemi ile yapılmıştır (U.S. EPA Method 3050; Koyuncu 1998; Tuncan ve ark. 1996). Sediment örnekleri 105°C’de etüvde 24 saat kurutulduktan sonra 100 nolu elekten elenmiştir. Elenen numuneden 1 gr alınarak 100 ml konsantre HCl+HNO₃ (3:1) asit ile tamamen buharlaşana kadar 100°C’lik plaka (hot plate) üzerinde kaynatılmıştır. Daha sonra bu asit karışımı 1:10 HCl derişimi ile yıkanmıştır. Son olarak selüloz nitrat kağıdından süzölmüştür. Metal miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı ile belirlenmiştir. Sedimentlere ait toplam metal miktarları Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Sedimentlere ait toplam metal miktarı

Toplam Metal Miktarları (ppm)	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr	Co	Na	K
Sınır Değer	0,3	0,05	3	5	0,01	0,05	0,02	0,05	0,01	-	-
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	1,51	2,91	1,78	4,14	0,04	3,51	1,04	0,52	0,26	9	22,5
2-Sabuncupınar Köprüsü	1,98	3,59	1,65	6,66	0,04	6,96	2	0,93	0,3	10	31,5
3-Vişnelik	2,09	7,54	0,82	1,42	0,05	1,05	2,88	1,51	0,43	10	26
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	1,79	3,73	2,31	1,06	0,05	1,81	1,8	1,01	0,38	7	23,5
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	1,06	3,56	0,39	0,98	0,05	1,42	1,01	0,56	0,24	5,5	29
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	1,85	2,98	2,06	0,17	0,05	2,96	2,8	1,7	0,38	13,5	20
7-Alpu 1	2,08	3,48	1,39	0,20	0,05	1,48	2,91	1,99	0,34	8	28
8-Alpu 2	2,55	3,64	2,15	0,19	0,04	2,01	2,96	2,08	0,41	10	30,5
9-Beylikova 1	2,01	4,34	0,68	2,64	0,06	1,31	2,07	1,38	0,36	6,5	38,5
10-Beylikova 2	1,95	4,46	0,51	1,31	0,06	1,47	1,98	1,17	0,34	7	39

4.3 Sonuçlar

Porsuk nehri sedimentleri için, yapılan deneylerden elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.13. Sedimentlere ait geoteknik özellikler

İstasyon	w	G _s	Dane çapı			Atterberg Limitleri			USCS
			Kum	Silt	Kil	LL	PL	PI	
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	75,41	2,45	40	45	15	52	43	9	OH
2-Sabuncupınar Köprüsü	127,06	2,39	61	26	13	74	58	16	SM
3-Vişnelik	160,08	2,36	18	55	27	74	60	14	OH
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	145,89	2,46	80	15	5	<i>Non-Plastik</i>			<i>SM</i>
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	71,39	2,47	31	44	25	49	43	6	OL
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	32,20	2,55	94	4	2	<i>Non-Plastik</i>			<i>SW</i>
7-Alpu1	301,83	2,35	62	23	15	72	0	72	OH
8-Alpu2	158,39	2,28	67	24	9	70	60	10	SM
9-Beylikova1	97,12	2,48	34	40	26	60	50	10	OH
10-Beylikova2	107,57	2,44	19	47	34	66	59	7	OH

1- Porsuk Nehri sedimentlerinin ortalama su muhtevası %127.69, en yüksek ve en düşük ortalama su muhtevaları %301.83 ile %32.2 arasında bulunmuştur. En yüksek su muhtevası olarak %323.22 ile Sağ ve Sol Ana Kanalın birleştiği Alpu1 istasyonunda karşılaşmıştır. Bu noktada kirlenme artmaktadır. Yüksek su muhtevasının nedeni sediment içerisindeki bitki ve organik atıkların yüksek su tutma kapasitelerinin olmasıdır. En düşük su muhtevası %32.10 ile Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrasındadır. Burada pis su arıtma tesisin kirlenmeyle mücadelede de faydalı olduğu görülmektedir.

2- Sedimentlerin ortalama özgül ağırlığı 2.42 olarak bulunmuştur. En düşük ve en yüksek özgül ağırlığı 2.28 (Alpu2) ve 2.58'dir (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası). Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası sediment örneklerinin özgül ağırlığının fazlalığı bu istasyondaki sediment taşımını zorlaştırmakta ve sediment yığılmasına sebep olabilmektedir.

Çizelge 4.14. Sedimentlere ait kimyasal özellikler

İstasyon	pH	KDK	Eİ
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	7,1	39	2262
2-Sabuncupınar Köprüsü	7,5	55	1689
3-Vişnelik	8,4	66	976
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	7,6	34,5	1351
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	7,8	51,5	1654
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	7,4	36	2102,0
7-Alpu1	7,5	62,5	2884
8-Alpu2	7,6	57	2886
9-Beylikova1	8,2	58	1608
10-Beylikova2	8,2	56	1587

3- Sedimentlerin %100 suya doygun kabulüyle yapılan hesap sonucunda, ortalama hacimsel su muhtevası 0.715 olarak bulunmuştur. En yüksek ve en düşük hacimsel su muhtevaları 0.876 (Alpu1) ve 0.451'dir (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası).

4- Porsuk Nehri sedimentlerinin ortalama su içeriği %29.43, en yüksek ve en düşük su içeriği %42.9 (Vişnelik) ile %14.1 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) arasında bulunmuştur. Su içeriğinin yüksek olması sedimentlerin taşıma gücünü azaltmaktadır.

Sedimentlerin katı madde miktarları su içeriği ile bağlantılı olarak bulunmuştur. Ortalama katı madde miktarı %70.57, en düşük katı madde miktarı %57.1 (Vişnelik), en yüksek katı madde miktarı %85.9 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) olarak bulunmuştur.

Porsuk Nehri sedimentlerinin ortalama uçucu madde (ateşte kayıp) miktarı %3.22, en yüksek ve en düşük uçucu madde miktarı %4.92 ile 0.79 arasında bulunmuştur. En düşük uçucu madde miktarı, su muhtevası sonuçları ile paralellik göstererek Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası'nda bulunmuştur.

Nehir sedimentlerinin ortalama sabit madde miktarı %96.78'dir. Sonuçlar uçucu madde miktarına bağlı olarak, sırasıyla en düşük ve en yüksek sabit madde miktarları %95.08 ve %99.21 olarak bulunmuştur.

5- Nehir sedimentlerinin dane çapı dağılımına bakıldığında kum yüzdesi en yüksek istasyon %94 ile Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrasıdır. En düşük kum yüzdesi ise %18 ile Vişnelik istasyonundadır.

Silt yüzdelerine bakıldığında, en yüksek ve en düşük oranlar %55 (Vişnelik) ve %4 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) olarak bulunmuştur.

Porsuk nehri sedimentlerinde en yüksek ve en düşük kil oranları %34 (Beylikova2) ve %2 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) olarak bulunmuştur.

6- Sedimentlerin ortalama likit limiti %58.1'dir. En yüksek ve en düşük likit limit değerleri sırasıyla, %74 (Vişnelik) ve %26 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara bakarak Vişnelik sediment örneklerinin taşıma gücünün en az olduğunu söyleyebiliriz. Sonuçlar su içeriği değerleri ile paralellik göstermektedir.

Ortalama plastik limit %37.3'dür. Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası sedimentleri non-plastiktir.

Porsuk nehri sedimentlerinin ortalama plastisite indisi %20.8'dir. En yüksek ve en düşük plastisite indisleri, %72 (Alpu1) ve %6 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) olarak bulunmuştur. Sonuçlara bakarak, Alpu1 sediment örnekleri için aşırı plastik diyebiliriz.

7- Porsuk nehri sedimentlerinin sınıflandırma özelliklerine bakıldığında sediment örneklerinin büyük çoğunluğu *yüksek plastisiteli organik killer* olarak görülmüştür.

8- Nehir sedimentlerinin porozite, boşluk oranı, kuru yoğunluk ve doymuş yoğunluk gibi çeşitli fiziksel özelliklerine bakıldığında daha önce elde edilen diğer fiziksel özelliklerle paralellik görülmektedir. Sedimentlerin ortalama

porozitesi 0.71'dir. En yüksek porozite 0.88 (Alpu1) ve en düşük porozite 0.45'dir (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası).

Sedimentlerin ortalama boşluk oranı 3.06'dır. En yüksek boşluk oranı 7.09 (Alpu1) ve en düşük boşluk oranı 0.82'dir (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası).

Porsuk nehri sedimentlerinin ortalama kuru yoğunluğu 0.7'dir. En yüksek ve en düşük kuru yoğunluk değerleri sırasıyla 1.4 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) ve 0.29 (Alpu1) olarak bulunmuştur.

Nehir sedimentlerinin ortalama doymuş yoğunluğu 1.41'dir. En yüksek ve en düşük doymuş yoğunluk değerleri sırasıyla 1.851 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) ve 1.167 (Alpu1) olarak bulunmuştur.

9- Sedimentlerin ortalama pH değeri 7.73'dür. Nehir sedimentleri içerisinde en yüksek ve en düşük pH değerleri, 8.4 (Vişnelik) ve 7.1 (Kütahya Azot Fb. Öncesi) olarak bulunmuştur.

10- Porsuk nehri sedimentlerinin ortalama katyon değişim kapasitesi 51.5'dir. En yüksek ve en düşük KDK değerleri 66 meq/100g (Vişnelik) ve 34.5 meq/100g (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) olarak bulunmuştur. Katyon değişim kapasitesinin, pH değerlerine paralel olarak yüksek olduğu görülmektedir.

11- Sedimentlerin ortalama elektriksel iletkenliği 1900 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dür. Sedimentler içerisinde en yüksek ve en düşük elektriksel iletkenlik sırasıyla 2886 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Alpu2) ve 976 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dir (Vişnelik).

12- Porsuk nehri sedimentlerinin toplam metal miktarlarına bakıldığında; Fe ve Mn miktarları, sınır değerlerinin oldukça üzerindedir. En yüksek Fe ve Mn sırasıyla 2.55 (Alpu2) ve 7.54 (Vişnelik) olarak bulunmuştur.

Cu ve Zn miktarları genel olarak sınır değerlerin altındadır. En yüksek Cu ve Zn, 2.31 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) ve 6.66'dır (Sabuncupınar Köprüsü).

Cd ve Pb miktarları genel olarak sınır değerlerin üstündedir. En yüksek Cd ve Pb, 0.06 (Beylikova) ve 6.96'dır (Sabuncupınar Köprüsü).

Ni ve Cr miktarları genel olarak sınır değerlerin üstündedir. En yüksek Ni ve Cr, 2.96 (Alpu2) ve 2.08'dir (Alpu2).

Co, miktarları genel olarak sınır değerlerin üstündedir. En yüksek Co miktarı 0.41 ile Alpu2 istasyonunda bulunmuştur. En yüksek ve en düşük Na ve K miktarları sırasıyla 13.5 (Eskişehir Pis Su Arıtma Sonrası) ve 39 (Beylikova) olarak bulunmuştur.

5. PORSUK HAVZASI ZEMİNLERİNİN ÖZELLİKLERİ

5.1 Geoteknik Özellikler

5.1.1 Su muhtevası (içeriği)

Porsuk havzası zeminlerine ait su muhtevası değerleri, 4. bölümde verilen bağıntılarla belirlenip Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Su muhtevası değerleri Şekil 5.1’de grafik olarak da gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Porsuk havzası zeminlerine ait su muhtevası değerleri

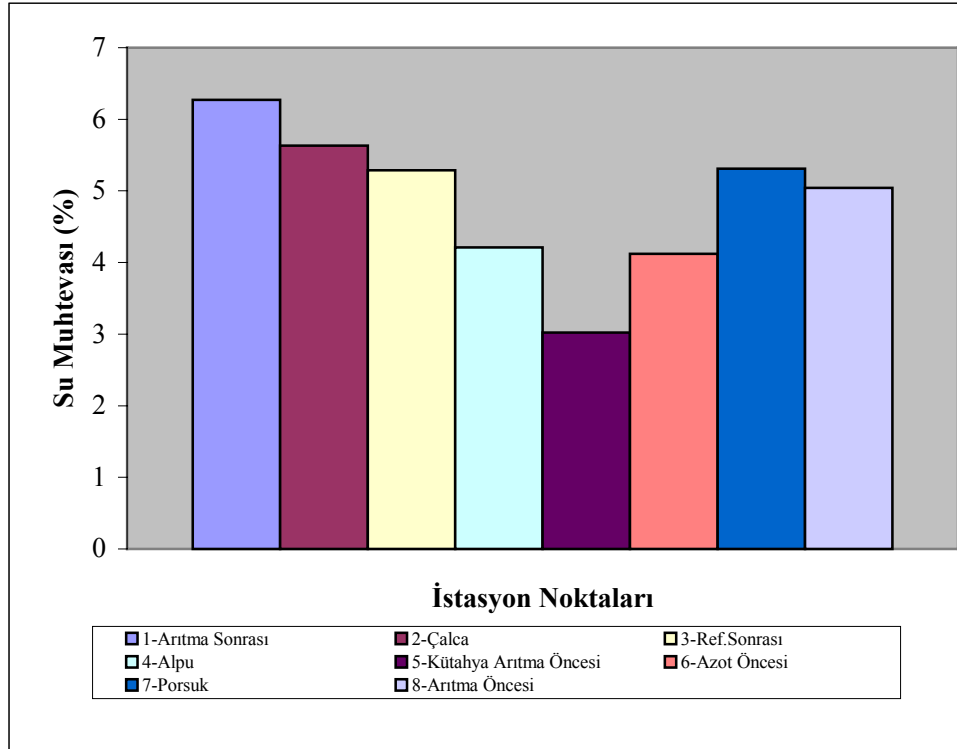
İstasyon	Su Muhtevası %		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Aritma Sonrası	6,10	6,43	6,27
2-Çalca	5,15	6,10	5,63
3-Ref.Sonrası	5,43	5,15	5,29
4-Alpu	2,99	5,43	4,21
5-Kütahya Arıtma Öncesi	3,04	2,99	3,02
6-Azot Öncesi	5,21	3,04	4,12
7-Porsuk	5,42	5,21	5,31
8-Aritma Öncesi	4,66	5,42	5,04

5.1.2 Dane özgül ağırlığı

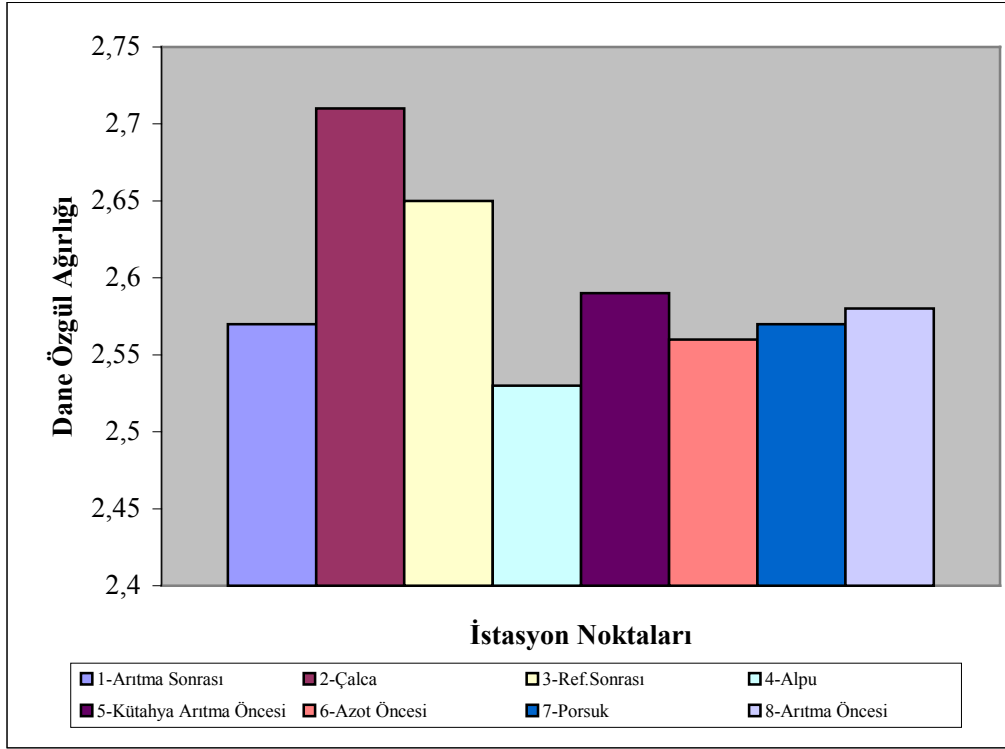
Havza zeminlerine ait dane özgül ağırlıkları Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Hesaplamalar 4.2a ve 4.2b bağıntıları kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar ayrıca Şekil 5.2’de grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 5.2. Havza zeminlerine ait dane özgül ağırlıkları

İstasyon	Dane Özgül Ağırlığı
1-Aritma Sonrası	2,57
2-Çalca	2,71
3-Ref.Sonrası	2,65
4-Alpu	2,53
5-Kütahya Arıtma Öncesi	2,59
6-Azot Öncesi	2,56
7-Porsuk	2,57
8-Aritma Öncesi	2,58



Şekil 5.1. Havza sedimentlerinin su muhtevası dağılımları



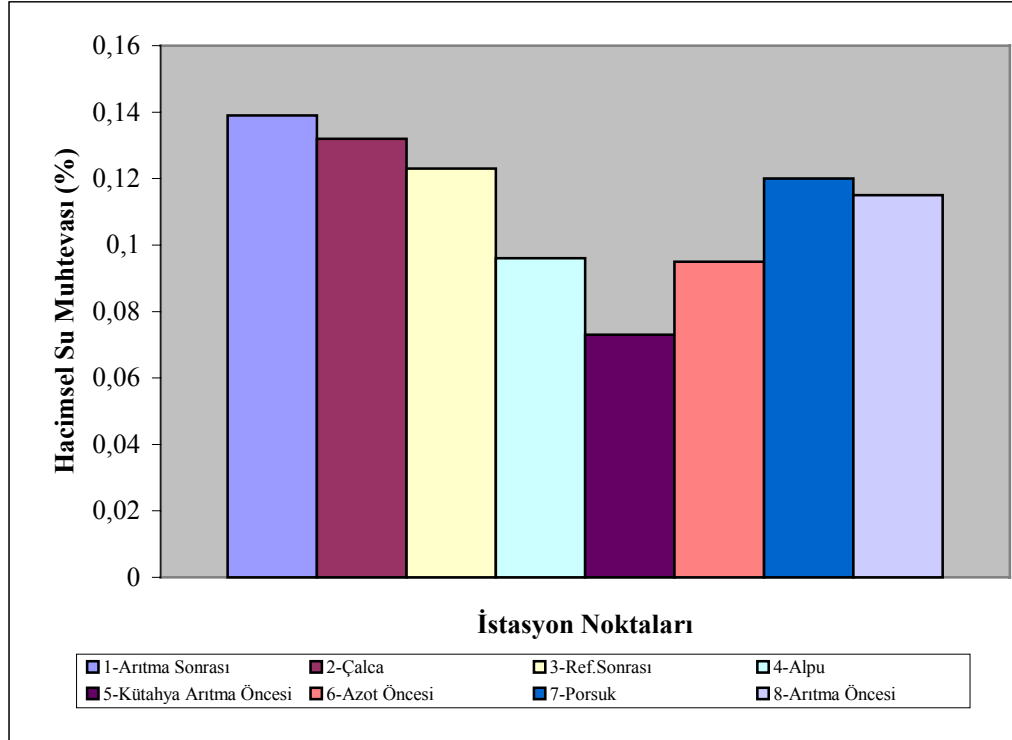
Şekil 5.2. Havza sedimentlerinin dane özgül ağırlığı dağılımları

5.1.3 Hacimsel su muhtevası

Havza zeminlerine ait hacimsel su muhtevaları Şekil 4.3a'da verilen excel hesap tablosundan yararlanılarak belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Hacimsel su muhtevaları Şekil 5.3'de grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3. Havza zeminlerine ait hacimsel su muhtevası değerleri

İstasyon	Hacimsel Su Muhtevası
1-Aritma Sonrası	0,139
2-Çalca	0,132
3-Ref.Sonrası	0,123
4-Alpu	0,096
5-Kütahya Arıtma Öncesi	0,073
6-Azot Öncesi	0,095
7-Porsuk	0,120
8-Aritma Öncesi	0,115



Şekil 5.3.Havza sedimentlerine ait hacimsel su muhtevası dağılımları

5.1.4 Organik madde miktarı, su içeriği, kuru madde, sabit madde miktarı

Havza zeminlerine ait su içeriği, katı madde miktarı, organik madde miktarı, sabit madde miktarları sırasıyla Çizelge 5.4.1,2,3,4 'de verilmiştir. Sonuçlar ayrıca grafiksel olarak da verilmiştir.

Çizelge 5.4.1. Havza sedimentlerine ait su içeriği değerleri

İstasyon	Su İçeriği %		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Aritma Sonrası	5,75	6,04	5,90
2-Çalca	4,90	5,15	5,03
3-Ref.Sonrası	2,90	2,95	2,93
4-Alpu	4,95	5,14	5,04
5-Kütahya Arıtma Öncesi	4,45	4,51	4,48
6-Azot Öncesi	7,55	8,11	7,83
7-Porsuk	2,72	2,76	2,74
8-Aritma Öncesi	5,97	6,13	6,05

Çizelge 5.4.2. Havza sedimentlerine ait katı madde miktarları

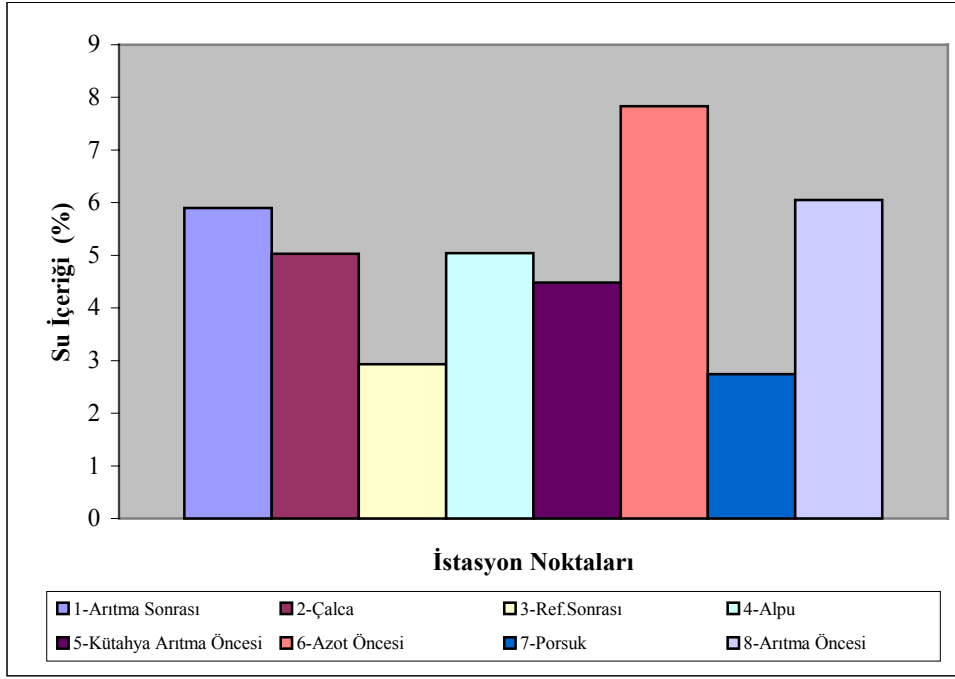
İstasyon	Katı Madde Miktarı		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Aritma Sonrası	93,96	94,25	94,10
2-Çalca	94,85	95,10	94,97
3-Ref.Sonrası	97,05	97,10	97,07
4-Alpu	94,86	95,05	94,96
5-Kütahya Arıtma Öncesi	95,49	95,55	95,52
6-Azot Öncesi	91,89	92,45	92,17
7-Porsuk	97,24	97,28	97,26
8-Aritma Öncesi	93,87	94,03	93,95

Çizelge 5.4.3. Havza sedimentlerine ait ateşte kayıp miktarları

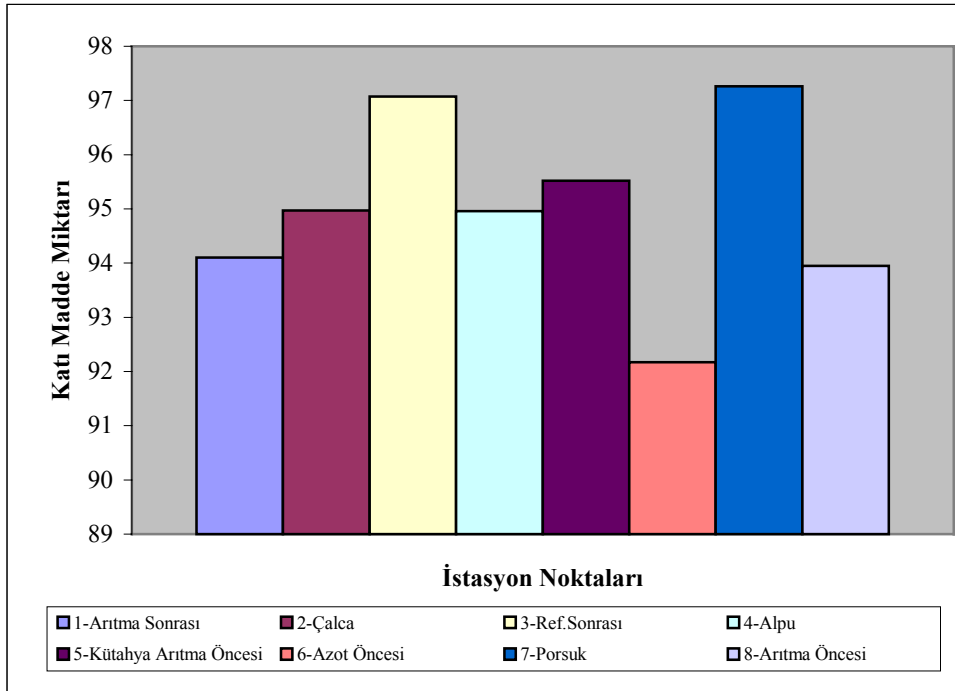
İstasyon	Ateşte Kayıp (Uçucu Madde)%		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Aritma Sonrası	2,17	3,14	2,66
2-Çalca	2,21	2,48	2,35
3-Ref.Sonrası	1,40	1,85	1,63
4-Alpu	2,36	2,95	2,66
5-Kütahya Arıtma Öncesi	2,17	2,84	2,51
6-Azot Öncesi	2,83	3,36	3,10
7-Porsuk	2,60	2,84	2,72
8-Aritma Öncesi	2,27	2,41	2,34

Çizelge 5.4.4. Havza sedimentlerine ait sabit madde miktarları

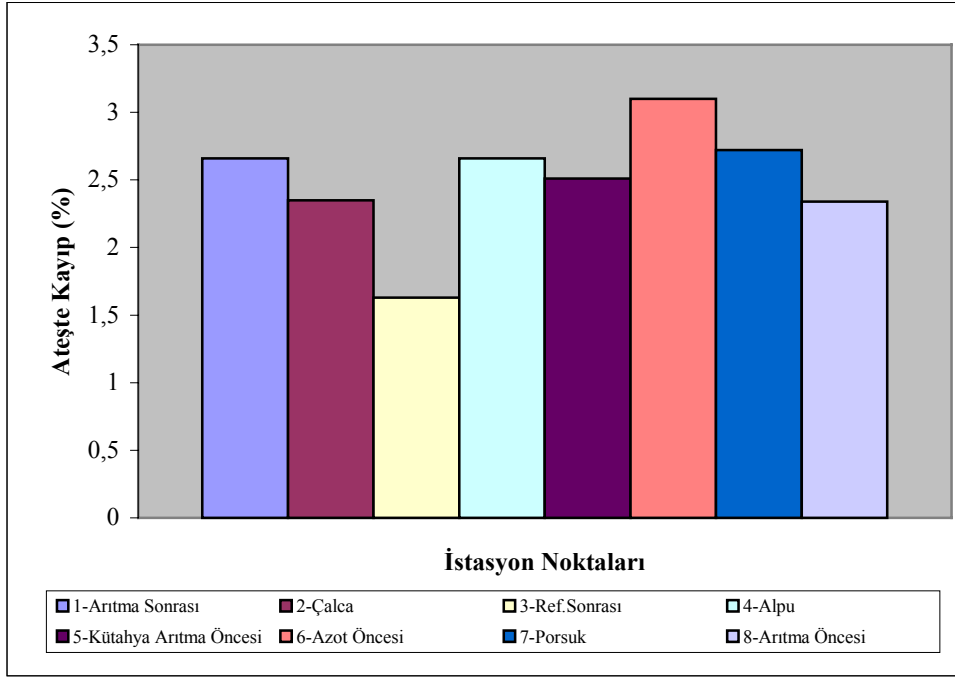
İstasyon	Sabit Madde Miktarı %		
	Min.	Maks.	Ort.
1-Aritma Sonrası	96,86	97,83	97,34
2-Çalca	97,52	97,79	97,65
3-Ref.Sonrası	98,15	98,60	98,37
4-Alpu	97,05	97,64	97,34
5-Kütahya Arıtma Öncesi	97,16	97,83	97,49
6-Azot Öncesi	96,64	97,17	96,90
7-Porsuk	97,16	97,40	97,28
8-Aritma Öncesi	97,59	97,73	97,66



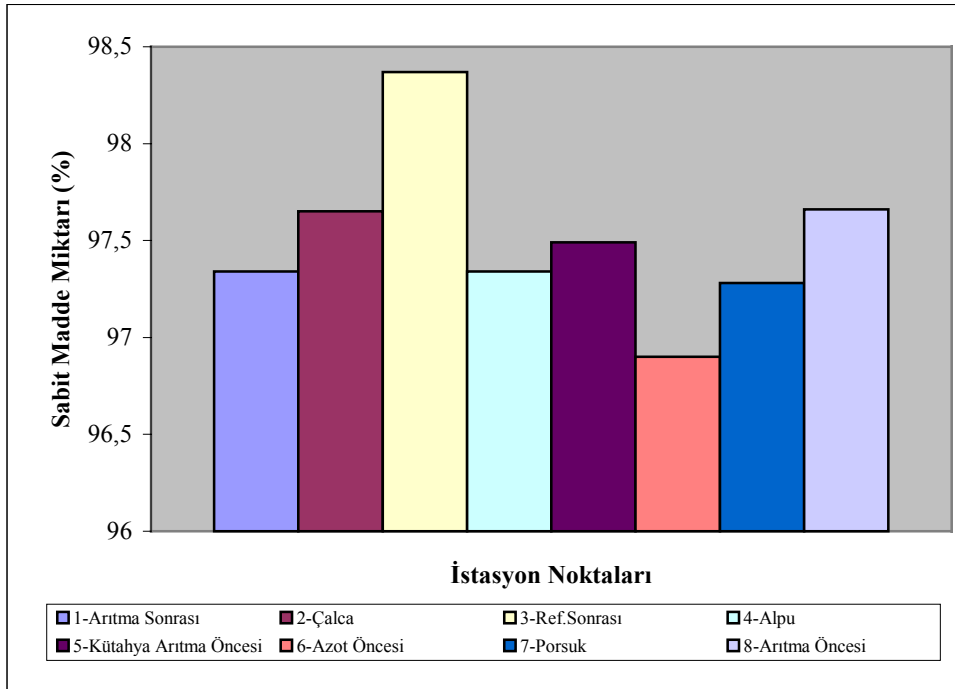
Şekil 5.4.1.Havza sedimentlerine ait su içeriği dağılımları



Şekil 5.4.2. Havza sedimentlerine ait katı madde miktarları dağılımları



Şekil 5.4.3. Havza sedimentlerine ait ateşte kayıp dağılımları



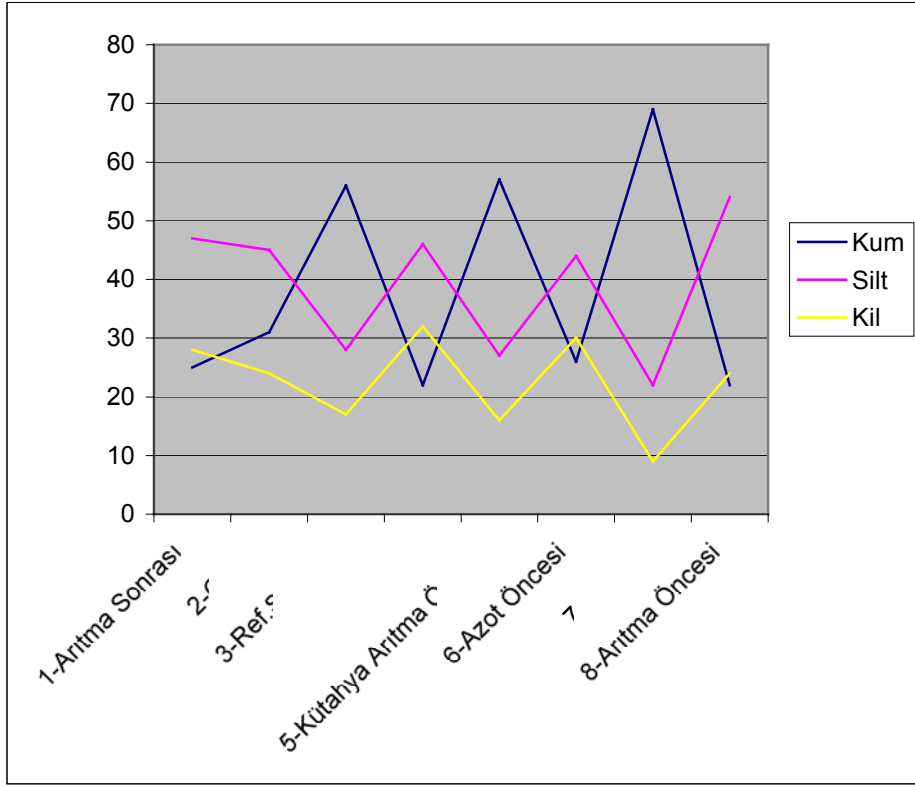
Şekil 5.4.4. Havza sedimentlerinin sabit madde dağılımları

5.1.5 Dane apı dağılımı

Elek analizi ve hidrometre deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar izelge 5.5’de ve Şekil 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Havza sedimentlerine ait dane çapı dağılımı

İstasyon	Dane apı (%)		
	Kum	Silt	Kil
1-Arıtma Sonrası	25	47	28
2-alca	31	45	24
3-Ref.Sonrası	56	28	17
4-Alpu	22	46	32
5-Kütahya Arıtma Öncesi	57	27	16
6-Azot Öncesi	26	44	30
7-Porsuk	69	22	9
8-Arıtma Öncesi	22	54	24



Şekil 5.5. Havza sedimentlerine ait dane çapı dağılımları

5.1.6 Atterberg kıvam limitleri

Havza sedimentlerine ait atterberg kıvam limitleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Havza sedimentlerine ait atterberg kıvam limitleri

İstasyon	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi
1-Aritma Sonrası	53	40	13
2-Çalca	49	36	13
3-Ref.Sonrası	31	25	6
4-Alpu	50	41	9
5-Kütahya Arıtma Öncesi	39	30	9
6-Azot Öncesi	55	41	14
7-Porsuk	38	29	9
8-Aritma Öncesi	54	41	13

5.1.7 Sınıflandırma özellikleri

Havza zeminlerine ait zemin sınıflandırması için Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) ve Amerikan Karayolları Sınıflandırması (AASHO) kullanılmış ve Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Havza sedimentlerinin sınıflandırılması

İstasyon	USCS	AASHO
1-Aritma Sonrası	OL	A-5
2-Çalca	OL	A-5
3-Ref.Sonrası	SM	A-4
4-Alpu	OL	A-5
5-Kütahya Arıtma Öncesi	SM	A-4
6-Azot Öncesi	OH	A-7-5
7-Porsuk	SM	A-4
8-Aritma Öncesi	OL	A-5

5.1.8 Porozite, boşluk oranı, kuru yoğunluk, doymun yoğunluk

Havza zemin numunelerine ait porozite, boşluk oranı, kuru yoğunluk, doymun yoğunluk değerleri Bölüm 4.1.8’de verilen bağıntılar kullanılarak elde edilmiş ve Çizelge 5.8’de sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 5.8. Havza sedimentlerinin fiziksel özellikleri

İstasyon	Porozite	Boşluk Oranı	Kuru Yoğunluk	Doygun Yoğunluk
1-Aritma Sonrası	0,14	0,16	2,213	2,352
2-Çalca	0,13	0,15	2,351	2,484
3-Ref.Sonrası	0,12	0,14	2,324	2,447
4-Alpu	0,10	0,11	2,286	2,383
5-Kütahya Arıtma Öncesi	0,07	0,08	2,402	2,475
6-Azot Öncesi	0,10	0,11	2,316	2,411
7-Porsuk	0,12	0,14	2,261	2,381
8-Aritma Öncesi	0,12	0,13	2,283	2,398

5.2 Kimyasal Özellikler

5.2.1 Sedimentlerin pH değerleri

Havza sedimentlerine ait pH değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

5.2.2 Katyon değişim kapasitesi

Havza sedimentlerine ait katyon değişim kapasitesi değerleri Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Havza sedimentlerine ait pH değerleri

İstasyon	pH
STS 4 (çok tehlikeli ve zararlı)*	6.0-9.0 dışında
STS 3 (tehlikeli ve zararlı)*	6.0-9.0
STS 2 (az tehlikeli ve zararlı)*	6.5-8.5
STS 1 (tehlikesiz ve zararsız)*	6.5-8.5
1-Aritma Sonrası	8,1
2-Çalca	9,3
3-Ref.Sonrası	8,8
4-Alpu	8,2
5-Kütahya Arıtma Öncesi	8,7
6-Azot Öncesi	8,4
7-Porsuk	8,7
8-Aritma Öncesi	8,6

Çizelge 5.10. Havza sedimentlerine ait KDK değerleri

İstasyon	KDK (meq/100g)
1-Aritma Sonrası	26
2-Çalca	48
3-Ref.Sonrası	40
4-Alpu	55
5-Kütahya Arıtma Öncesi	49.5
6-Azot Öncesi	47
7-Porsuk	49.5
8-Aritma Öncesi	61

5.2.3 Elektriksel iletkenlik değeri

Porsuk havza sedimentlerine ait elektriksel iletkenlik değerleri izelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Havza sedimentlerinin elektriksel iletkenlikleri

İstasyon	Elektriksel İletkenlik	
	$\mu\text{s/cm}$	ppm
1-Aritma Sonrası	324	161
2-alca	475	269
3-Ref.Sonrası	474	255
4-Alpu	1020	508
5-Kütahya Arıtma Öncesi	542	270
6-Azot Öncesi	468	233
7-Porsuk	545	272
8-Aritma Öncesi	1120	558

5.2.4 Toplam metal miktarı

Porsuk havza sedimentlerine ait toplam metal miktarları Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12.Havza sedimentlerinin toplam metal miktarları

Toplam Metal Miktarları (ppm)	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr	Co	Na	K
Sınır Değer	0,3	0,05	3	5	0,01	0,05	0,02	0,05	0,01	-	-
1-Aritma Sonrası	2,89	6,3	0,61	1,1	0,03	0,98	3,07	1,36	0,34	7	38,5
2-Çalca	2,23	4,98	0,4	1,31	0,05	1,07	1,37	0,79	0,31	7	32
3-Ref. Sonrası	1,52	3,08	0,25	0,88	0,05	1,67	0,65	0,35	0,27	5	27
4-Alpu	2,23	5,34	2,34	1,18	0,06	1,39	2,95	1,43	0,38	5,5	51
5-Kütahya Arıtma Öncesi	1,64	1,64	0,3	1,07	0,05	1,13	1,12	0,55	0,28	7	36,5
6-Azot Öncesi	2,43	4,46	0,4	1,18	0,06	1,72	1,32	0,64	0,2	6	34,5
7-Porsuk	1,42	4,25	1,77	1,35	0,06	0,67	0,68	0,39	0,31	7	38,5
8-Aritma Öncesi	2,67	6,63	0,48	1,02	0,05	1,54	3,3	1,55	0,45	5,5	41,5

5.3 Sonuçlar

Porsuk nehri sedimentleri için, yapılan deneylerden elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.13. Havza sedimentlerine ait geoteknik zellikler

İstasyon	w %	G _s	Dane apı (%)			Atterberg Limitleri			USCS
			Kum	Silt	Kil	LL	PL	PI	
1-Aritma Sonrası	6,27	2,57	25	47	28	53	40	13	OL
2-alca	5,63	2,71	31	45	24	49	36	13	OL
3-Ref.Sonrası	5,29	2,65	56	28	17	31	25	6	SM
4-Alpu	4,21	2,53	22	46	32	50	41	9	OL
5-Kütahya Arıtma Öncesi	3,02	2,59	57	27	16	39	30	9	SM
6-Azot Öncesi	4,12	2,56	26	44	30	55	41	14	OH
7-Porsuk	5,31	2,57	69	22	9	38	29	9	SM
8-Aritma Öncesi	5,04	2,58	22	54	24	54	41	13	OL

Çizelge 5.14. Havza sedimentlerine ait kimyasal zellikler

İstasyon	pH	KDK (meq/100g)	Eİ (ppm)
1-Aritma Sonrası	8,1	26	161
2-alca	9,3	48	269
3-Ref.Sonrası	8,8	40	255
4-Alpu	8,2	55	508
5-Kütahya Arıtma Öncesi	8,7	49.5	270
6-Azot Öncesi	8,4	47	233
7-Porsuk	8,7	49.5	272
8-Aritma Öncesi	8,6	61	558

1- Porsuk havza sedimentlerinin ortalama su muhtevası %4.86. En yüksek su muhtevası olarak %6.43 ile Arıtma Sonrası istasyonunda karşılaşılmıştır. En düşük su muhtevası %2.99 ile Alpu sedimentlerine aittir.

2- Havza sedimentlerinin ortalama özgül ağırlığı 2.59 olarak bulunmuştur. En düşük ve en yüksek özgül ağırlığı 2.53 (Alpu) ve 2.71'dir (Çalca).

3- Porsuk havza sedimentlerin %100 suya doygun kabulüyle yapılan hesap sonucunda, ortalama hacimsel su muhtevası 0.111 olarak bulunmuştur. En yüksek ve en düşük hacimsel su muhtevaları 0.139 (Arıtma Sonrası) ve 0.073'dür (Kütahya Arıtma Öncesi).

4- Porsuk havza sedimentlerinin ortalama su içeriği %5, en yüksek ve en düşük su içeriği %8.11 (Azot Öncesi) ile %2.72 (Porsuk) arasında bulunmuştur.

Havza sedimentlerinin ortalama katı madde miktarı %95, en düşük katı madde miktarı %91.89 (Azot Öncesi), en yüksek katı madde miktarı %97.28 (Porsuk) olarak bulunmuştur.

Porsuk havza sedimentlerinin ortalama uçucu madde (ateşte kayıp) miktarı %2.49, en yüksek ve en düşük uçucu madde miktarı %3.36 ile 1.49 arasında bulunmuştur.

Havza sedimentlerinin ortalama sabit madde miktarı %97.5'dir. Sonuçlar uçucu madde miktarına bağlı olarak, sırasıyla en düşük ve en yüksek sabit madde miktarları %96.64 ve %98.60 olarak bulunmuştur.

5- Havza sedimentlerinin dane çapı dağılımına bakıldığında kum yüzdesi en yüksek istasyon %69 ile Porsuk istasyonudur. En düşük kum yüzdesi ise %22 ile Alpu istasyonundadır.

Silt yüzdelere bakıldığında, en yüksek ve en düşük oranlar %54 (Arıtma Öncesi) ve %22 (Porsuk) olarak bulunmuştur.

Porsuk havza sedimentlerinde en yüksek ve en düşük kil oranları %32 (Alpu) ve %9 (Porsuk) olarak bulunmuştur.

6- Sedimentlerin ortalama likit limiti %46.12'dir. En yüksek ve en düşük likit limit değerleri sırasıyla, %55 (Azot Öncesi) ve %31 (Ref. Sonrası) olarak bulunmuştur.

Ortalama plastik limit %35.37'dir. Havza sedimentleri içerisinde en yüksek plastik limit oranı %41 ile Alpu istasyonuna, en düşük plastik limit oranı da %25 ile Ref. Sonrası istasyonuna aittir.

Porsuk havza sedimentlerinin ortalama plastisite indisi %10.75'dir. En yüksek ve en düşük plastisite indisleri, %14 (Azot Öncesi) ve %6 (Ref. Sonrası) olarak bulunmuştur.

7- Porsuk havza sedimentlerinin sınıflandırma özelliklerine bakıldığında sediment örneklerinin büyük çoğunluğu *organik siltler ve düşük plastisiteli organik siltli kiler* olarak görülmüştür.

8- Havza sedimentlerinin porozite, boşluk oranı, kuru yoğunluk ve doymuş yoğunluk gibi çeşitli fiziksel özelliklerine bakıldığında daha önce elde edilen diğer fiziksel özelliklerle paralellik görülmektedir. Sedimentlerin ortalama porozitesi 0.11'dir. En yüksek porozite 0.14 (Aritma Sonrası) ve en düşük porozite 0.07'dir (Kütahya Aritma Öncesi).

Sedimentlerin ortalama boşluk oranı 0.13'dür. En yüksek boşluk oranı 0.16 (Aritma Sonrası) ve en düşük boşluk oranı 0.08'dir (Kütahya Aritma Öncesi).

Porsuk havza sedimentlerinin ortalama kuru yoğunluğu 2.3'dür. En yüksek ve en düşük kuru yoğunluk değerleri sırasıyla 2.402 (Kütahya Aritma Öncesi) ve 2.213 (Aritma Sonrası) olarak bulunmuştur.

Havza sedimentlerinin ortalama doymuş yoğunluğu 2.41'dir. En yüksek ve en düşük doymuş yoğunluk değerleri sırasıyla 2.484 (Çalca) ve 2.352 (Aritma Sonrası) olarak bulunmuştur.

9- Sedimentlerin ortalama pH değeri 8.6'dır. Havza sedimentleri içerisinde en yüksek ve en düşük pH değerleri, 9.3 (Çalca) ve 8.1 (Aritma Sonrası) olarak bulunmuştur.

10- Porsuk havza sedimentlerinin ortalama katyon değişim kapasitesi 34.62'dir. En yüksek ve en düşük KDK değerleri 61 meq/100g (Aritma Öncesi) ve 26 meq/100g (Aritma Sonrası) olarak bulunmuştur. Katyon değişim kapasitesinin, pH değerlerine paralel olarak yüksek olduğu görölmektedir.

11- Sedimentlerin ortalama elektriksel iletkenliği 621 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dür. Sedimentler içerisinde en yüksek ve en düşük elektriksel iletkenlik sırasıyla 1120 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Aritma Öncesi) ve 324 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dir (Aritma Sonrası).

12- Porsuk havza sedimentlerinin toplam metal miktarlarına bakıldığında; Fe ve Mn miktarları, sınır değerlerinin oldukça üzerindedir. En yüksek Fe ve Mn sırasıyla 2.89 (Aritma Sonrası) ve 6.63 (Aritma Öncesi) olarak bulunmuştur.

Sedimentlerin Cu ve Zn miktarları sınır değerlerin altındadır. En yüksek Cu ve Zn, 2.34 (Alpu) ve 1.35'dir (Porsuk).

Havza sedimentlerinin Cd ve Pb miktarları sınır değerlerin üstündedir. En yüksek Cd ve Pb, 0.06 (Alpu) ve 1.72'dir (Azot Öncesi).

Porsuk havza sedimentlerinin Ni ve Cr miktarları sınır değerlerin üstündedir. En yüksek Ni ve Cr, 3.3 (Aritma Öncesi) ve 1.55'dir (Aritma Öncesi).

Co, miktarları genel olarak sınır değerlerin üstündedir. En yüksek Co miktarı 0.45 ile Aritma Öncesi istasyonunda bulunmuştur. En yüksek ve en düşük Na ve K miktarları sırasıyla 7 (Porsuk) ve 51 (Alpu) olarak bulunmuştur.

6. PORSUK NEHRİ SULARININ ÖZELİKLERİ

Son yıllarda su kalitesi gözlemleri, çevre ve su kirliliği üzerindeki yoğun endişeler üzerine daha da önem kazanmıştır. Su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla hükümetler tarafından kanunlar çıkarılmakta ve yüksek maliyetli projeler üretilmektedir.

Bu çalışmalara katkı da bulunmak amacıyla Porsuk nehrinden, sediment alımları sırasında su örnekleri de alınmıştır. Bu su örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik, organik madde miktarı, katyon değişim kapasitesi, toplam metal miktarları belirlenmiştir.

6.1 Porsuk Nehri Sularının pH Değeri

Porsuk nehir sularının pH değerleri, laboratuarda pH metre ile ölçülmüş ve Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

6.2 Porsuk Nehri Sularının Elektriksel İletkenlik Değeri

Porsuk nehrî sularının elektriksel iletkenlik değerleri, laboratuarda Conductivity meter ile ölçülmüş ve Çizelge 6.2’de sunulmuştur.

6.3 Porsuk Nehri Sularının Metal Miktarı

Porsuk Nehir sularının metal miktarları, ICP OES ve AA ile belirlenmiştir ve Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Porsuk Nehir sularının pH değeri

İstasyon	pH
STS 4 (Çok kirlenmiş su)*	6,0-9,0 dışında
STS 3 (Kirli su)*	6,0-9,0
STS 2 (Az kirlenmiş su)*	6,5-8,5
STS 1 (Yüksek kaliteli su)*	6,5-8,5
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	8,29
2-Sabuncupınar Köprüsü	7,86
3-Vişnelik	8,17
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	8,25
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	8,23
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	7,93
7-Alpu1	7,76
8-Alpu2	7,89
9-Beylikova1	8,34
10-Beylikova2	8,32

**Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete*

Çizelge 6.2. Porsuk Nehir sularının elektriksel iletkenlik değeri

İstasyon	Eİ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	1315
2-Sabuncupınar Köprüsü	966
3-Vişnelik	426
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	786
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	965
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	1245
7-Alpu1	1674
8-Alpu2	1696
9-Beylikova1	956
10-Beylikova2	935

Çizelge 6.3. Porsuk Nehir sularının metal miktarı

	Metal Miktarı-(ppm)								
	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	Cr	Mn	Na	K
STS 4 (çok tehlikeli ve zararlı)	>0.05	>2	>0.20	>0.20	>0.01	>0.05	>3	-	-
STS 3 (tehlikeli ve zararlı)	0.05	2	0.20	0.20	0.01	0.05	3	-	-
STS 2 (az tehlikeli ve zararlı)	0.02	0.50	0.05	0.05	0.005	0.02	0.5	-	-
STS 1 (tehlikesiz ve zararsız)	0.01	0.20	0.02	0.02	0.003	0.00	0.1	-	-
1-Kütahya Azot Fb. Öncesi	0.10	0.02	<0.01	0.09	0.03	<0.01	<0.01	26	6
2-Sabuncupınar Köprüsü	0.17	0.02	<0.01	0.03	0.04	<0.01	<0.01	23	11
3-Vişnelik	0.14	0.05	<0.01	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	19	13
4-Eskişehir Şeker Fb. Sonrası	0.04	0.05	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	23	13
5-Eskişehir Pis Su A. Öncesi	0.08	0.04	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	22	6
6-Eskişehir Pis Su A. Sonrası	0.07	0.04	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	21	7
7-Alpu1	0.14	0.04	<0.01	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	17	12
8-Alpu2	0.15	0.05	<0.01	0.09	<0.01	<0.01	<0.01	18	14
9-Beylikova1	0.07	0.03	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	13	9
10-Beylikova2	0.09	0.04	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	15	11

*Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687sayılı Resmi Gazete

6.4 Sonuçlar

1- Porsuk nehir sularının pH değeri ortalama 8.104 olarak bulunmuştur. Elde edilen en yüksek ve en düşük pH değerleri sırasıyla 8.34 (Beylikova1) ve 7.76 (Alpu1) olarak bulunmuştur.

2- Porsuk nehir sularının elektriksel iletkenlik değeri ortalama 1096.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunmuştur. En yüksek ve en düşük elektriksel iletkenlik değeri 1696 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Alpu2) ve 426 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Vişnelik) olarak bulunmuştur.

3- Porsuk nehir suyunda bir çok noktada Pn ve Ni derişimleri, Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Standartlarına göre çok yüksektir. Diğer metaller tehlikesiz ve zararsız su sınıfına girmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Porsuk havza ve nehir sediment örnekleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi özellikle Porsuk Nehir sedimentlerinin su muhtevaları oldukça yüksektir. Bunun sebebi , sediment içerisinde çürümüş bitki ve hayvan içerikli organik atıkların bulunmasıdır. Dolayısıyla sedimentlerin organik madde miktarları yüksek değerlerde bulunmuştur. Organik madde miktarı Kütahya'dan başlayarak Eskişehir Pis Su A. Sonrası'na kadar yüksek değerlerde gelmekte, bu istasyonda azaltılmakta ancak daha da artan değerler Alpu ve Beylikova istasyonlarında karşımıza çıkmaktadır. Sedimentlerin su muhtevalarının yüksek olması, Porsuk Nehri temizleme çalışmalarını olumsuz yönde etkileyecektir. Öncelikle yüksek su muhtevası akıcılığı arttıracığından temizleme sırasında, önemli bir çevre kirliliğine sebep olacaktır. Bunun için, geotüp gibi özel yöntemler kullanılmalıdır. Su muhtevası, oturma ve sızma gibi özellikleri etkilediğinden depolama alanlarının seçiminde dikkatli olunması, yağmur suları ile birlikte tekrar yer altı suyuna sızmanın engellenmesi gerekmektedir.

Porsuk havza ve nehir sedimentlerinin dane çapı dağılımlarına bakıldığında, kum ve silt, sedimentler içinde ağırlıkça yüksek orana sahiptir. Kum, silt ve kil taneleri suyun hızını kazanacağından akarsu boyunca taşınabilmekte ve kirlilik Porsuk Nehri boyunca genişleme imkanı bulabilmektedir. Porsuk havza sedimentleri USCS sınıflandırma sisteminde genel olarak OL (Organik siltler ve düşük plastisiteli organik silt-kil karışımları) sınıfındadır. Nehir sedimentleri ise OH (Ortadan yükseğe plastisiteli organik killer) sınıfındadır.

Porsuk havza ve nehir sedimentleri plastisite değerleri bize, havza sedimentlerinin az plastisiteli olduğunu, nehir sedimentlerinin ise genelde plastik, Alpu1 istasyonunun aşırı plastik olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar bize nehir sedimentlerinin sıkışma ve şişme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sedimentlerin yeniden değerlendirilmesi veya stabilize edilmesi düşünüldüğünde şişme potansiyeli dikkate alınmalı, kireç, uçucu kül, vb. stabilizörler ile stabilize edilerek şişmenin önlenmesi gerekmektedir.

Porsuk nehir sedimentlerinin katyon değişim kapasitesi, boşluk oranı ve sıkışabilirlik değeri yüksek, yoğunluğu düşüktür. Depolama alanında sediment kendi ağırlığı ile belirli bir sürede konsolide olabilecek bir özellik göstermektedir.

Kirliliğin azalmakta olduğu bölgelerde pH değerleri yükselmektedir. pH değerinde gözlenen bu değişim, sedimentlerde artan metal miktarları ile paralellik göstermektedir. Yoğun olarak kirletilen bölgelerde metal miktarları da artmaktadır. Toplam ağır metal miktarı açısından bakıldığında bütün sedimentlerin, Fe, Mn, Cd, Pb, Ni, Cr ve Co değerleri sınır değerlerden yüksektir. Kirletici kaynakların yoğunlaşmakta olduğu istasyonlarda elektriksel iletkenlik değerleri yükselmektedir.

Porsuk Nehir sularında sonbaharda ölçülen metal yükünün yüksek olduğu gözlenmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Standartlarına göre, Porsuk Nehir suyunda, bir çok noktada çok tehlikeli ve zararlı su sınıfı (STS 4) kurşun derişimi bulunmaktadır.

Porsuk havza ve nehir sedimentleri ve Porsuk nehir sularındaki kirliliğin son yıllarda yürütölen çalışmalarla büyük ölçüde temizlendiği ancak uzun yıllar kontrol edilmesi ve yapılan temizleme çalışmalarının yararlı olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmadaki istasyonlardan alınan parametreler ile daha önceki çalışmalardan elde edilen parametreler ve sonra yapılacak çalışmalardan elde edilecek parametreler karşılaştırılarak istasyon noktalarındaki parametre değişimleri gözlemlenebilir. Bu değişimlerin nedenleri araştırılarak gerekli önlemler alınabilir. Bununla birlikte, problemin temelini inilmeden, sadece günü kurtarmak amacıyla yapılan çalışmalar yerine daha kalıcı önlemler alınması yapılan temizleme çalışmalarının daha yararlı olmasını sağlayacaktır. Bunun için öncelikle akarsu havzasındaki eğimli arazilerin mümkün olduğunca tarıma açılmaması, sediment yığılmasının yoğun olduğu bölgelerde sediment trapler yapılması ve bölgedeki sanayi kuruluşlarının atıklarının kontrol altına alınması, ilk başta alınması gereken önlemlerdir. Bu çalışmada yapılamayan, ancak ileride yapılabilecek Pestisit araştırmaları ile, insan sağlığı açısından fizyolojik düzensizlikler, mutajenik, genotoksik ve kanserejenik etkiler daha iyi tahmin edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, G. (2004), *Kirlenmiş Porsuk Sedimentlerinin İlave Malzemelerle İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Eskişehir
- Akşam Gazetesi, (2 Nisan 2002)
- Akşam Gazetesi, (22 Mayıs 2002)
- Anh, M.T., Hong, L.C., Nguyen, N.V., Thi, C.L., Minh, T.L., Slooten, K.B. ve Tarradellas, J. (2003), *Micropollutants in the Sediment of the SaiGon-DongNai River: Situation and Ecological Risks*, Environmental Analysis, *Chimia* 57, No.9, 537-541
- Anonim (1991), *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Numune alma ve Analiz Metodları*, Resmi Gazete, Sayı:2078
- Anonim (1999), *Report of the Second International conference on Land Degradation And Desertification*, Khon Kaen, Tailand
- Aydın, M.N. ve Yıldız, S. (2004), *Konya Ana Tahliye Kanalında Ağır Metal Kirliliğinin ICP-AES Tekniği ile İncelenmesi*, I.Ulusal Çevre Kongresi, Sivas
- Aytekin, M. (2000), *DeneySEL Zemin Mekaniği*, Akademi Yayınevi, Trabzon, Türkiye
- Bakaç, M. ve Kumru, M. (2001), *Orta Gediz Havzasından (Ege Bölgesi) Toplanan Su, Sediment ve Toprak Örneklerinin İçerdiği Doğal Radyasyon Miktarı*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik ABD ve Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler ABD, İzmir
- Bakan, G. ve Şenel, B. (2000), *Samsun Mert Irmağı-Karadeniz Deşarjında Yüzey Sediman (Dip Çamur) ve Su Kalitesi Araştırması*, TÜBİTAK, No:24, 135-141

- Balkıs, N. (1997), *Erdek körfezi sedimentlerinin jeokimyası*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bayazıt, M. (1971), *Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği*, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, Sayı.835, 250 s
- Boyacıoğlu, M. (2004) , *İzmir Körfezi Sedimentlerinde Direkt Mutajenerin Belirlenmesi*, Su Ürünleri Dergisi, Sayfa.23-27
- Brohi, R., Topbaş, T. ve Karaman, R. (1998), *Çevre Kirliliği*, T.C.Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara
- Brown, L.R. ve Wolf, E.C. (1996), *Dünya Ekonomisinde Sessiz Kriz:Toprak Erozyonu*, Tubitak-Tema Yayın, No.2, Ankara
- Burak, S., Duranyıldız, İ. ve Yetiş, Ü. (1997), *Su Kaynaklarının Yönetimi*, Ulusal Çevre Eylem Planı, DPT, Ankara
- Cilgi, T. ve Jepson, P.C. (1992), *The direct exposure of beneficial invertebrates to pesticide sprays in cereal crops*, Ann. App. Biol. 121, 239-247
- Cole, G.A. (1983), *Textbook of Limnology*, The C.V. Mosby Company St.Louis, p.1-401,Toronto, London
- Courshee, R.J. (1960), *Some aspects of the application of insecticides*, Ann. Rev.ent.,5, 327-352
- Çeliker, S. ve Anaç, H. (2003), *Erozyon*, T.E.A.E-Bakış, Sayı.4, Nüsha.1
- DSİ (1998), *Porsuk Havzasında 1997-1998 yılları su kalite değerlendirmeleri*, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Şubesi Müdürlüğü, DSİ tip raporu, 84 s.
- Dursun, Y. (2003), *Akarsularda Sediment Taşınımı ve Fırat Nehri İçin Sediment Modellemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , Erzurum
- Eryılmaz, M., Eryılmaz, F., Aydın, Ş., Türker, A. ve Kırca, Z. (2006), *Çanakkale Boğazı'nın Güncel Çökel Dağılımı*, www.insankaynaklari.gokceada.com

- Giritlioğlu (1981), *Eskişehir Porsuk İçme Suyu Projesi, Su Kalite İncelemeleri*, İller Bankası, Ankara
- Gleick, P.H. (1993), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Oxford University Press, New York
- Gönüllü, M., Bayhan, H., Arslankaya, E., Kurt, U., Avşar, Y., Tosun, İ. ve Apaydın, Ö. (2001), *Mart 2001 İtibariyle Haliç Çamurunun Kirletici Özellikleri*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Gschwend (1987), *Air-Water and Sediment-Water Interfaces*, Boundary Exchange, University of Karlsruhe, Course Script., Edu.2
- Hjulstrom, F. (1935), *The Morphological Activity of Rivers as Illustrated by River Fyris*, Bulletin of Geological Institute, Uppsala, vol.25, Chap.3
- Hürriyet Gazetesi, (22 Şubat 2000)
- İki Eylül Gazetesi, 17 Nisan 2006
- İstikbal Gazetesi, (21 Aralık 2001)
- Kayabalı, K. (2002), *Geoteknik Mühendisliğine Giriş*, Gazi Kitabevi, Ankara, Türkiye
- Karabulut, M. (2004), *Yakın Mesafe Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanılarak Yüzey Sularının İncelenmesi*, 3.Coğrafi Bilgi Sistemleri, Bilişim Günleri, Türkiye
- Karabulut, A., Akıncı, M. ve Madenoğlu, S. (2004), *Ankara-Güvenç Gölet Havzası Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Su Erozyonu Sediment Korunumu Çalışması (I)*, 3.Coğrafi Bilgi Sistemleri, Bilişim Günleri, Türkiye
- Kocasoy, G. (1994), *Atıksu arıtma çamuru ve katı atık ve kompost örneklerinin analiz yöntemleri*, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kişi, Ö., Karahan, M. ve Şen, Z. (2003), *Nehirlerdeki Askı Maddesi Miktarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi*, İTÜ Dergisi, Sayı:3, s.43-54

- Koyuncu, H. (1998), *Stabilizasyon/Solidifikasyon Yöntemi ile İyileştirilmiş, Petrollü Sondaj Atıklarının Geoteknik, Fiziko-Kimyasal ve Mikro-Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Koyuncu, H. ve Güney, Y. (2002), *Porsuk Nehri Dip Sedimentlerinin Geoteknik Özellikleri*, Türkiye Kıyıları 02, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye
- Koyuncu, H. ve Güney, Y. (2003), *Proceedings of The First International Conference on Environmental Research and Assesment*, Bucharest, Romania
- Koyuncu, H., Yörükoğulları, E., Bakış, R., Yılmaz, G., Kürkçüoğlu, M. ve Özek, T. (2005), *Porsuk Nehri Dip Sedimentlerinin Geoteknik ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kirlenmiş Sedimentlerin İyileştirilmesi*, AÜBAP 030224
- Lee, H. ve Baraza, J. (1999), *Geotechnical characteristics and slope stability in the Gulf of Cadiz*, Marine Geology, 155, p.173-190
- Mcdougall, B.K. ve Ho, G.E. (1991), *A study of the eutrophication of the North Lake, Western Australia*, Wat.Sci.Tech., 23:163-173
- Moss, B. (1988), *Ecology of fresh waters*, Man and Medium 2nd Edition, Oxford Blackwell Scientific Publications, p.1-417, London
- Özaydın, K. (1997), *Zemin Mekaniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye
- Öztürk, F. (2002), *Yüzey Akış ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli İle Belirlenmesi*, Ankara Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara
- Papanicolaou, A.N., Strom, K., Schuyler, A. ve Talebbeydokhti, N. (2003), *The Role of Sediment Specific Gravity and Availability on Cluster Evolution*, Earth Surface Processes and Landforms 28, 69-86, Wiley InterScience
- Rendon, O. (1974), *Estimation of washload produced on certain small watersheds*, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 100, NHY7, Proc. Paper 10638

- Riley, E.T. ve Prepas, E.E. (1984), *Role of internal phosphorus loading into shallow, productive lakes in Alberta, Canada*, Can.J.Fish.Aquat.Sci., 41:845-855
- Sağdıç, M. (1997), *Porsuk Çayı Kirliliği*, TBMM, A.01.0.GNS.0.10.00.02-7/2902-7174/19426
- Sandıkçı A. (1996), *Porsuk Nehir Kirliliği*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya
- Scott, A.S. ve Gerhard, H.J. (2002), *Environmental Fluid Mechanics Part I: Mass Transfer and Diffusion*, Chapter 4 and 5., University of Karlsruhe, Copyright © MIT OCW
- Shaw, J.F.H. ve Prepas, E.E. (1990), *Relationships between phosphorus in shallow sediments and in the trophogenic zone of seven Alberta Lakes*, Wat.Res., Vol.24, No.5, pp.551-556
- Senjem, N., Moncrief, J., Raandall, G. ve Evans, S. (1996), *Sediment Problems and Solutions for the Minnesota River*, Minnesota Extension Service, University of Minnesota, FO-6671-C
- Su Dünyası, (Eylül, 2004)
- Tuncan, A., Tuncan, M, ve Koyuncu, H. (1996), *Petrollü Sondaj Atıklarının Toprak da Meydana Getirdiği Kirliliğin Fiziksel ve Kimyasal Etkilerinin Araştırılması*, TÜBİTAK, Yer deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu, proje No: KTÇAG-136
- Tüfekçioğlu, A., Sarıyıldız, T. ve Güner, S. (2004), *Sessiz Çalışan Filtreler: "Dere Kenarı Bitki Kuşakları" İşlevleri ve Ülkemiz Açısından Önemleri*, Artvin Orman Fakültesi, Artvin
- Türkmen, T. (2005), *Kocaeli Derince Pestisit Stoğu*, International POPs Elimination Project, Türkiye
- U.S. EPA. (1989), In Ecology Library, United States

- Uzuner, B.A. (1998), *Temel Zemin Mekaniği*, Teknik Yayınevi, Ankara, Türkiye
- Wall, G. ve Phillips, P. (1998), *Pesticides In The Hudson River Basin, 1994-96*, Northeastern Geology and Environmental Sciences, v.20, no.4, p.299-307
- Winters, W.J. (2000a), *Stress history and geotechnical and properties of sediment from the cape fear blake ridge dipair*, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 164DIAPIR
- Winters, W.J. (2000b), *Effects of Drying Methods and Temperatures on Water Content and Porosity of Sediment from the Blake Ridge*, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol.164
- www.agm.gov.tr
- www.eie.gov.tr
- www.epa.gov/safewater/contaminants/dw_contamfs/lindane.html
- www.epa.gov/pbt/ddt.html
- www.eskisehir.gov.tr
- www.odunpazari.bel.tr, (09.09.2004)
- www.tarim.gov.tr
- Yang, C.T. (1996), *Sediment Transport: Theory and Practice*, The Mc Graw-Hill Companies, Inc., 396s, Singapore
- Yıldız,M., Gürkan, .O, Turgut, C., Kaya, Ü. ve Ünal, G. (2005), *Tarımsal Savaşımında Kullanılan Pestisitlerin Yol Açtığı Çevre Sorunları*, TMMOB Ziraat Mühendisleri 6. Teknik Kongresi, Ankara