

24687

TC  
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
DENİZ BİLİMLERİ ve TEKNOLOJİSİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ TEKNOLOJİSİ ANA BİLİM DALI

DENİZ YAPILARI PROGRAMI

Yüksek Lisans Tezi

Tez Konusu:

Fethiye Limanı 'nda Sediment Problemi

Yapan:

İnş. Müh. Gürkan Özden

Yöneten:

Prof. Dr. Adnan Akyarlı


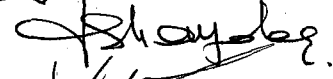

İZMİR, 1992

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi  
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü  
Müdürlüğüne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Deniz Teknolojisi Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adnan Akyarlı  
Üye : Doç. Dr. Arif Ş. Kayalar  
Üye : Yar. Doç. Dr. Yalçın Arısoy

Kod Nu :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Orhan Uslu  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

Sayfa Nu.

ÖNSÖZ.....	
TÜRKÇE ve İNGİLİZCE ÖZET.....	
1. GİRİŞ.....	1
2. FETHİYE LİMANI ve YAKIN ÇEVRESİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ...3	
2.1. Coğrafi ve Jeolojik Özellikler.....	3
2.2. Rüzgar Özellikleri.....	4
2.3. Dalga Özellikleri.....	6
2.4. Akıntı Özellikleri.....	7
2.5. Yağış Özellikleri.....	8
3. GEOTEKNİK ÖZELLİKLER.....	10
3.1. Giriş.....	10
3.2. Deniz Tabanı Zeminleri.....	10
Su Muhtevası ve Kıvam Limitleri.....	12
Özgül Ağırlık.....	15
Organik Madde.....	15
Elek Analizi.....	15
Ödometre Deneyi.....	22
Vane Deneyi.....	22
3.3. Kıyı Bölgesi Zeminleri.....	24
3.4. Tahliye Kanalı Zeminleri.....	26
3.5. Geoteknik İrdeme.....	28
4. SEDİMENTASYON.....	31
4.1. Giriş.....	31
4.2. Havza Erozyonu.....	32
4.2.1. Ünlversal Toprak Kaybı Denklemi.....	32
4.2.2. Fethiye İçin Yapılan Havza Yüzey Erozyonu Tahminleri..	35
4.3. Sığ Deniz Bölgesinde Birikim.....	40
4.4. Genel İrdeme.....	42
5. SİĞ DENİZ BÖLGESİNDE ZEMİN ve SULARIN BAZI FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	44
5.1. Zeminlerin Kimyasal Özellikleri.....	44
5.2. Deniz Suyu ve Kanal Sularının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	45

6.	SEDİMENTASYONA BAĞLI ÇEVRE SORUNLARI.....	49
6.1.	Giriş.....	49
6.2.	Sığ Bölgenin Denizcilik Faaliyetlerine Kapalı Olması.....	49
6.3.	Deniz Suyundaki Türbidite.....	50
6.4.	Deniz Suyu ve Deniz Tabanı Zeminlerinin Toksik Maddelerle Kirlenmesi.....	53
6.4.1.	Yüzey Aktif Maddeler.....	53
6.4.2.	Pestisidler.....	55
6.4.3.	Ağır Metaller.....	56
7.	DENİZ TABANININ TARANMASI.....	58
7.1.	Giriş.....	58
7.2.	Kovalı Tarama Esnasında Oluşan Bulut İçin Matematik Model.....	59
7.2.1.	Model Formülasyonu.....	60
7.2.2.	Model Uygulamaları.....	62
7.2.2.1	Modelin Kalibrasyonu.....	62
7.2.2.2	Veri Toplanması.....	64
7.2.2.3	Sonuçlar.....	65
7.2.2.4	Öneriler.....	66
7.2.3.	Modelin Fethiye Limanı İçin Uygulanması.....	67
7.3.	Tarama ve Dökü.....	70
7.3.1.	Tarama Malzemesinin Denize Dökümünü İrdleyen Bir Matematik Model.....	72
7.3.1.1	Matematik Modelde Hesap Adımları.....	73
7.3.1.2	Matematik Modelde Sınırlamalar, Girdiler ve Çıktılar..	77
7.3.2.	Denize Dökülen Tarama Malzemesinin Dökü Sahası İçinde İzole Edilmesi.....	78
7.3.2.1	Planlama Esasları.....	79
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	81
	REFERANSLAR.....	86

## ÖZET

Fethiye Limanı'nda (İç Körfez) sedimantasyon ve buna bağlı olarak bazı çevre problemleri gözlenmektedir. Geçmişte de sığ olan Limanın doğu yarısında deniz tabanı, 1959 yılında işletmeye açılan ve doğu sahillerinden Limana mansaplanan tahliye ve derivasyon kanalları vasıtasıyla taşınan sediment ile tedricen yükselmiştir. Sedimantasyona bağlı olarak çeşitli çevre problemleri ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, sedimantasyon olayının mekanizması, boyutları, sedimantasyona bağlı çevre problemleri ile kanallardan kaynaklanan ve bu olayla birlikte ele alınması gereken diğer çevre sorunları incelenmiş; problemlerin haline yönelik çözümler önerilmiştir.

## SUMMARY

Fethiye Bay, an attractive holiday resort of Mediterranean, has a severe sedimentation problem which makes east coast of the bay marshy and shoal, and thus creates environmental problems. Among the various problems, unsuitable conditions for navigation, turbidity of sea water after windy periods and contamination of bottom soils by various toxic substances coming through the drainage and derivation channels to the Fethiye Bay are examples worth to mention.

The goal of this study is to investigate shallow sea zone and its environment in order to determine problem sources and propose solution methods to the problem. With this goal, soil samples have been taken from the sea and channel bottoms, data of previously done investigations performed in the region have been evaluated, some methods have been used to forecast sediment yield and sea turbidity, and finally some solution methods to the problem have been proposed by the author.

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda gayem, Fethiye İlçesi'nde muhtelif çevre sorunlarına yol açan sedimantasyon problemini çeşitli yönleriyle ortaya koymak ve çözümler önermek oldu.

Geniş kapsamlı araştırma ve etüdlere gerektiren çalışmalarım esnasında bir çok şahıs ve kuruluşun kıymetli destek ve katkılarını gördüm.

Bir araştırmacı için bulunmaz bir fırsat olan böylesi bir konuyu bana yüksek lisans tez konusu olarak veren, çalışmalarım sırasında desteğini ve alakasını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Adnan Akyarlı'ya; tezimin geoteknik ile ilgili bölümleri ve konunun bütünü hakkında getirdiği önerileriyle önemli katkıları olan sayın Doç. Dr. Arif Şengün Kayalar'a; matematik modeller konusundaki yardımları için sayın Dr. Mehmet Erşan Ülküdaş'a; çözüm önerilerinde getirdiği orjinal yaklaşımları için DLH 7. Bölge Müdürü sayın Ayhan Üzerden'e; DLH 7. Bölge Müdür Yardımcısı sayın Veli Akçaoğlu'na; gerekli olan hiç bir veriyi vermekten kaçınmayarak tezimin meydana gelmesinde büyük rolleri olan DSİ XXI. Bölge Müdür Yardımcısı sayın Ethem Tanrıverdi ve DSİ Araştırma Merkezi Müdürü sayın Dr. Ergün Demiröz'e ve yardımcı olan bütün DSİ camiası mensuplarına; kendilerine müracaat ettiğim zaman alakalarını esirgemeyen başta belediye başkanı Üzer Olgun olmak üzere Fethiye Belediyesi sorumlularına; konu ile ilgili kaynak kitap, bildiri ve makaleleri göndermek suretiyle yardımcı olan sayın Erol Göksu'ya ve desteklerini esirgemeyen bütün dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Fethiye İlçesi'ne bu çalışma münasebetiyle yapmış olduğum etüd gezilerim sırasında çok samimi destek ve alakasını gördüğüm, zemin ve su örnekleri almaktan bölgenin gezilmesine varıncaya kadar yardımlarını esirgemeyen kıymetli dostum ve meslektaşım sayın Rafet Cengiz'e ayrıca teşekkür ederim. Bu münasebetle, arazi çalışmalarım sırasında gerek tekne gerekse kara vasıtası temin ederek yardımcı olan, ellerinden geleni esirgemeyen Fethiyeli dostlara da Rafet Cengiz'in şahsında teşekkür ederim.

Temmuz, 1992

## 1. GİRİŞ

Fethiye ilçesi Türkiye'nin güney batısında Muğla ili sınırları içinde yer alan turistik bir sahil kasabasıdır. Çevresinde yer alan dünyaca meşhur koy ve sahilleri dolayısıyla önemli miktarda yerli ve yabancı turist çeken bu belde, çeşitli alt yapı ve çevre problemleriyle karşı karşıya bulunmaktadır. İlçe merkezinin kıyısında yer aldığı Fethiye Limanı (İç Körfez), alt yapı ve çevre problemlerinin en yoğun gözlendiği bölgedir. Kapalı bir rezervuar olan Fethiye Limanı, yoğun bir şekilde su kirliliği ve sedimantasyon problemlerine maruzdur. Limana bağlanan derivasyon ve tahliye kanalları vasıtasıyla sulamadan dönen tahliye suları ve taşkınlarda oluşan sel suları bu bölgeye dökülmektedir. Buna bağlı olarak pestisitler, gübre artıkları ve sedimentler Liman'ın doğu yarısındaki sığ deniz bölgesinde birikmekte, bu bölgeden Liman'ın diğer kısımlarına yayılma istidadı göstermektedir. İlçenin pis su tahliye şebekesinin tam kapasiteyle işletilmeyişi sonucu, kanalizasyon sularının zaman zaman denize deşarj edilmesiyle, deniz suyuna muhtelif toksik maddeler geçmektedir.

Fethiye Limanı'nın sığ olan doğu yarısının güneyi ve bilhassa kuzey kesimleri, bu bölgelere açılan derivasyon ve tahliye kanalları yoluyla taşınan askı ve sürüntü maddelerinin birikmesi ile tedricen dolmaktadır. Bölgenin jeolojik oluşumu içinde Fethiye Ovası'nın devamı şeklinde gelişen bu sığlık kesimin doğal oluşum mekanizması, kanalların işletmeye açıldığı tarih olan 1959 yılından sonra değişikliğe uğramıştır. Kıyıda filtre görevi görerek taşkınlardan getirdiği sedimentin çökmesini sağlayan sulak alan kurutulmuş, geçmişte geniş bir alana yayılarak bu kısımda biriken sedimentler Murt Beli Derivasyon Kanalı vasıtasıyla tek bir noktadan enjekte olmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, Fethiye Bölgesi'nin genel özellikleri verildikten sonra, sığ bölgede biriken sedimentin özellikleri, boyutları, çevreye tesirleri, önlenme veya kontrol altına alınma çareleri, deniz içindeki sığlık kesimin taranması ve tarama malzemesinin depolanması kıyı liman ve geoteknik mühendisliği prensipleri içinde ele alınmıştır.

Sığ bölgede biriken sedimentin ve bölgedeki deniz tabanı zeminlerinin zemin mekaniği özelliklerinin tespit edilmesi için deniz ve kanal tabanlarından zemin örnekleri alınmış; ayrıca bölgenin kıyı şeridinde daha önce gerçekleştirilmiş geoteknik etüd rapor verileri ile DSİ yayımlanmamış etüd sonuçları değerlendirilmiştir.

Biriken sediment miktarı eski ve yeni tarihli batımetrik haritalardan hesaplanmıştır. Havza erozyonu, Universal Toprak Kaybı Eşitliği kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanılarak, sedimantasyonun kontrol altına alınmasına ilişkin çözümler önerilmiştir.

Sığ bölgenin denizcilik faaliyetlerine açılması ve turizm açısından daha elverişli bir konuma getirilmesi için yapılması gerekli olan deniz tabanı tarama işlemi sırasında oluşacak türbidenin derecesinin tahmini maksadıyla kurulmuş bir matematik modelin uygulaması yapılmıştır. Tarama malzemesinin döküleceği uygun sahalara araştırılmış ve iki alternatif önerilmiştir. Dökü sırasında deniz ortamına yapılan negatif etkilerin tahmininde kullanılan bir matematik modelin ana hatları verilmiştir. Bu modelin kullanılmasında karşılaşılan güçlüklerle ilgili araştırmalar devam etmektedir. Dökülen tarama malzemesinin dökü sahasının dışına yayılmasının önlenmesinde uygulanan yöntemler tanıtılmış ve tatbikatta uyulacak genel kurallar verilmiştir.

Sedimantasyon problemi ile bağlantılı olarak, Liman'a deşarj olan sular ile taşınan toksik maddelerin türleri ve konsantrasyonlarının belirlenmesi için X-Ray analizi yapılmış, ayrıca diğer kuruluşlarca yapılmış etüdlere raporlarından faydalanılmıştır. Mevcudiyeti tespit edilenler ile mevcut olma ihtimali yüksek toksik maddelerin oluşturacakları çevre problemleri ayrıca incelenmiştir.

Sonuçlar ve Öneriler Bölümü'nde genel değerlendirmeler yapılmış ve sorunların ortadan kaldırılmasına yönelik çözüm önerileri verilmiştir.



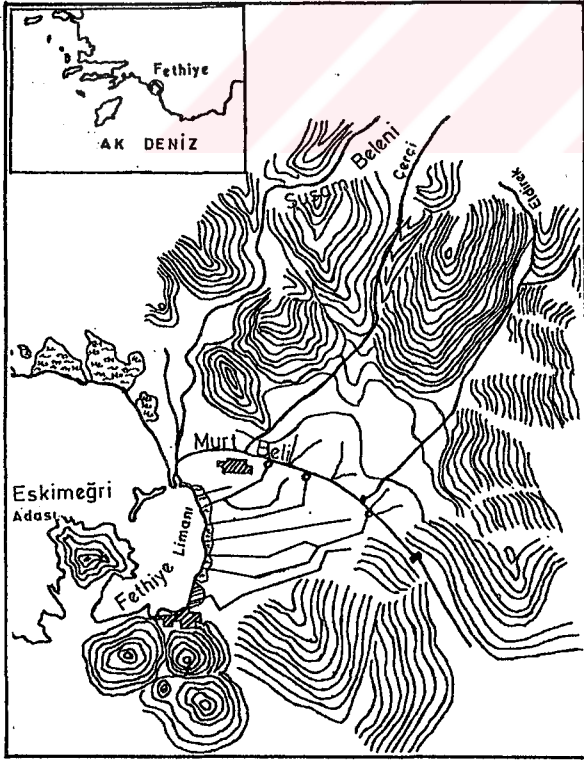
## 2. FETHİYE LİMANI ve YAKIN ÇEVRESİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Coğrafi ve Jeolojik Özellikler

Fethiye Limanı, Türkiye'nin güneybatısında  $36^{\circ}37'$  ila  $36^{\circ}40'$  Kuzey enlemleri ve  $29^{\circ}03'$  ila  $29^{\circ}09'$  Güney boylamları arasında yer almaktadır.

Fethiye Limanı'nın girişinde limanın doğu ve batı kıyıları arasında Eskimeğri (Şövalye) Adası uzanmaktadır. Eskimeğri Adası Fethiye Körfezi (Dış Körfez) ile Fethiye Limanı arasında bir dalga-kıran fonksiyonu görerek ,Fethiye Limanı'nda dalga oluşumunu ve akıntı şartlarını kontrol eder. Bu şartlar altında Fethiye Limanı kapalı bir havza olarak kabul edilebilir (Şekil 2.1).

Liman ve bunun doğusunda yer alan düz Fethiye Ovası tepeler ve alçak dağlarla çevrili durumdadır. Tepelik ve dağlık arazide eğim oldukça yüksektir ve % 15 ila % 40 arasında değişen değerler almaktadır.



Şekil 2.1. Fethiye Limanı coğrafi özellikleri

Fethiye Ovası sulama sistemi içinde yer alan bir adet derivasyon kanalı (Murt Beli) ile yedi adet tahliye kanalı, Fethiye Limanı'nın doğu sahillerinden denize dökülmektedir. Murt Beli Derivasyon Kanalı'na irili ufaklı doğal dereler mansaplanmaktadır. Bunlardan, Susambeleni, Çerçi ve Eldirek dereleri sediment taşıma kapasitesi ve debi yönünden en önemlileridir (Şekil 2.1).

Fethiye'deki hakim jeolojik formasyonlar kalker, gıst, kumtaşı konglomera ve alüvyonal birikimlerdir. Bölge zeminleri Türkiye'de ikinci dereceden aşınabilir zeminler sınıfına girmektedir (Atalay, 1978).

## 2.2. Rüzgar Özellikleri

Fethiye Bölgesi etkili rüzgar hızı ve yönleri, bu bölgede 1979 yılında gerçekleştirilen bir proje çalışmasında (Ege Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü, 1979) belirlenmiştir. İşlemler, Fethiye gözlem istasyonunda Ocak 1965 - Aralık 1972 dönemine ait ortalama rüzgar hızları ve bu hızlara karşı gelen toplam esme sayıları için yürütülmüştür. Etkili rüzgar hız ve yönleri, maksimum esme sayılarına, izdüşümler yöntemine, esme sayılarının ağırlıklı olarak hesaba katıldığı izdüşümler yöntemine, en büyük hız kriterine göre belirlenmiştir. Aynı çalışmada, ayrıca uzun süreli günlük verilere göre günlük hız ve yönlerin sıklık analizi yapılmış; çift değişkenli olasılık dağılımları yine aylara ve yılın tamamına göre belirlenmiştir. Çizelge 2.1'de yukarıda sayılan yöntemlere göre belirlenen etkili rüzgar hız ve yönleri verilmektedir.

ÇİZELGE 2.1. ETKİLİ RÜZGAR HIZ ve YÖNLERİ

Yöntem İsmi	AYLAR												Ort Yıl
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Maksimum Esme Sayıları	ENE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	WSW	SW
İzdüşümler Yöntemi	1.8 ENE	1.9 WSW	2.1 WSW	2.2 SW	2.3 SW	2.7 SW	3.0 SW	2.7 SW	2.6 SW	2.2 SW	1.8 WSW	1.9 ENE	2.2 SW
Esme sayıları Ağ.İzdüşümler	2.2 S	2.3 S	2.5 SW	2.8 S	2.8 S	3.2 S	3.4 SSW	3.1 SW	3.0 WSW	2.6 SSW	2.1 SSW	2.2 NNE	2.7 S
En büyük hız Kriteri	2.7 SSW	2.8 SSW	2.9 S	3.1 SSW	3.9 SSW	4.2 S	3.9 S	3.8 WSW	4.8 NW	3.1 WSW	2.8 N	2.7 NE	3.2 SSW

Yukarıdaki çizelgeden görüldüğü üzere yörede hakim rüzgar yönü SW (Güneybatı) dir. Etkili rüzgar hızı 2.2-2.7 m/sn arasındadır. Uzun süreli günlük rüzgar verilerine göre yapılan sıklık analizi sonucunda marjinal rüzgar hızı ve marjinal yön olasılıkları belirlenmiştir. Buna göre;

Marjinal rüzgar hızı Nisan - Ekim döneminde 3.0 - 6.0 m/sn, Kasım - Mart döneminde 2.0 - 4.0 m/sn aralığında kalmaktadır.

Marjinal rüzgar yönü Nisan ve Mayıs aylarında S, SW, W ve NW, bunların içinde en baskını SW olmaktadır. Diğer aylarda marjinal rüzgar yönü S, SW ve W olmaktadır. Bu aylarda da baskın yön SW'dir.

Bu analiz sonuçlarına göre 6.0 m/sn'den daha şiddetli rüzgar esme olasılığı oldukça zayıftır. Aynı şekilde E ve N yönlerinden rüzgar esme ihtimali düşüktür. NW yönünden de Nisan, Mayıs ve bir ölçüde Haziran aylarının dışında rüzgar esmesi beklenmemektedir. Fethiye Limanı'nın coğrafi konumu dikkate alındığında, sığ bölgede en olumsuz etkiyi yaratacak olan kuzey ve kuzeybatıdan kuvvetli rüzgarların esme ihtimali % 0.7 - % 7 gibi çok düşük değerler arasında kalmaktadır.

### 2.3. Dalga Özellikleri

Bilindiği kadarıyla Fethiye Limanı'nda dalga ölçüm çalışmaları yapılmamıştır. Bu sebepten, Fethiye Limanı'nda oluşabilecek belirgin dalga özelliklerini tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu maksatla SMB dalga tahmin yöntemi kullanılmıştır. Fethiye Limanı kapalı su olduğundan, kabarma boyu hesabında kabarma alanı dikkate alınmıştır (Ege Üniversitesi İnş. Fak., 1980). Sığ deniz bölgesi sınırında Çalış Mevkii'ne yakın bir nokta dikkate alınarak yürütülen kabarma boyu hesapları Çizelge 2.2'de özetlenmektedir.

ÇİZELGE 2.2. KABARMA BOYU HESAPLARI

Yer: Fethiye Limanı		Yön: SW		
açı (°)	cosα <sub>1</sub>	r <sub>1</sub> (m)	x <sub>1</sub> (m)	x <sub>1</sub> .cosα <sub>1</sub> (m)
-45.0	0.707	3000	2121	1500
-37.5	0.793	3000	2379	1887
-30.0	0.866	3150	2741	2384
-22.5	0.924	3400	3142	2903
-15.0	0.966	1925	1860	1796
- 7.5	0.991	2000	1982	1964
0.0	1.000	1375	1375	1375
7.5	0.991	1875	1858	1841
15.0	0.966	1750	1691	1633
22.5	0.924	2000	1848	1708
30.0	0.866	1200	1044	908
37.5	0.793	1100	872	692
45.0	0.707	875	619	437
Toplam	11.502			21028
Kabarma Boyu = 21028 / 11.502 = 1828 m				

Yukarıda verilen kabarma boyu,  $d= 15.0$  m su derinliği ve  $U=4.0$  m/sn -  $7.0$  m/sn rüzgar hızlarına göre SMB yöntemine göre belirlenen belirgin dalga özellikleri Çizelge 2.3'de sunulmaktadır.

ÇİZELGE 2.3. BELİRGİN DALGA ÖZELLİKLERİ

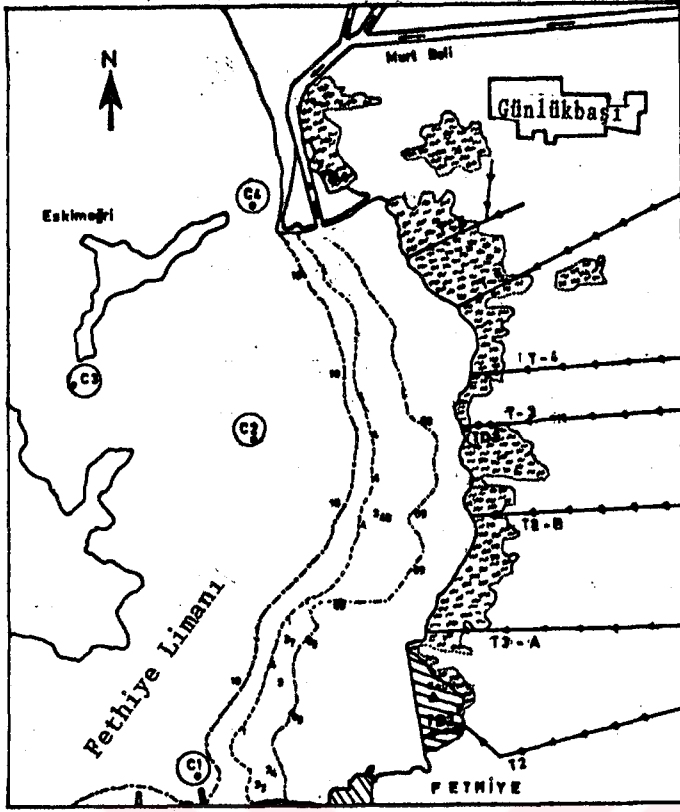
Rüzgar Hızı m/sn	Dalga Yüksekliği $H_b$ (cm)	Dalga Periyodu $T_b$ (sn)	Minimum Esme Süresi $t_{min}$
4.0	9.0	1.28	40'41''
7.0	17.0	1.73	30'14''

SMB yöntemi ile SW yönünden  $4.0$  m/sn ve  $7.0$  m/sn hızlarında esen rüzgarlarda Liman'da oluşabilecek dalga yükseklikleri  $9.0$  ve  $17.0$  cm çıkmaktadır. Kısa kabarma boyu ve sığ su şartları oldukça düşük olan bu değerlerin elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu bulgular yöredeki balıkçıların beyanlarıyla da teyid edilmektedir. Ancak, aynı balıkçılara göre Liman içinde zaman zaman  $50$  cm yüksekliğindeki dalgalar gözlenebilmektedir.

Benzer analizler W, NW ve WNW yönleri için de yapıldıktan sonra, bu yönlerden gelen dalgalar Liman ağzında refraksiyon ve difraksiyona uğradıktan sonra Liman içinde gerçekleşecek dalga yükseklikleri araştırılmalıdır. Refraksiyon analizi ayrıca SW yönü için de yapılmalıdır.

#### 2.4. Akıntı Özellikleri

Liman'da akıntı hızı oldukça düşüktür. Geçmişte burada yapılan kısa süreli akıntı ölçümlerinde (Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi, 1980), akıntı hızı Mayıs-Haziran döneminde yüzeyde  $0.02-0.03$  m/sn, yüzeyden  $15.0$  m derinliğe kadar  $0.06-0.08$  m/sn; Eylül döneminde yüzeyde  $0.11$  m/sn,  $10$  m derinliğe kadar  $0.26$  m/sn olarak ölçülmüştür. Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Akıntı ölçümü yapılan noktalar (C1 C2 C3 C4)

## 2.5. Yağış Özellikleri

Fethiye DMİ meteoroloji istasyonu 31 yıllık aylık ve yıllık ortalama yağış gözlemleri (Ege Ün. İnş. Müh.,1979) Çizelge 2.4'de verilmektedir. Çizelge'den görüldüğü gibi maksimum yağışlar Aralık Ocak ve Şubat aylarında gerçekleşmektedir.

DSİ tarafından aynı istasyona ait günlük en büyük yağış değerleri dikkate alınarak Murt Beli Derivasyon Kanalı'na mansaplanan belli başlı derelerin, DSİ sentetik metoduna göre hesaplanan taşkın debileri aşağıda verilmektedir:

Susambeleni Deresi:	$Q_{10} = 38.45 \text{ m}^3/\text{sn}$ ; $Q_{25} = 67.03 \text{ m}^3/\text{sn}$
	$Q_{50} = 85.82 \text{ m}^3/\text{sn}$ ; $Q_{100} = 108.00 \text{ m}^3/\text{sn}$
Çerçi Deresi	: $Q_{10} = 28.25 \text{ m}^3/\text{sn}$ ; $Q_{25} = 43.59 \text{ m}^3/\text{sn}$
	$Q_{50} = 57.11 \text{ m}^3/\text{sn}$ ; $Q_{100} = 72.36 \text{ m}^3/\text{sn}$
Eldirek Deresi	: $Q_{10} = 30.77 \text{ m}^3/\text{sn}$ ; $Q_{25} = 47.48 \text{ m}^3/\text{sn}$
	$Q_{50} = 62.20 \text{ m}^3/\text{sn}$ ; $Q_{100} = 78.80 \text{ m}^3/\text{sn}$

ÇİZELGE 2.4. FETHİYE BÖLGESİ YAĞIŞ GÖZLEMLERİ

Fethiye 1939-1970 (31 yıllık)	
Aylar	Yağış Yüksekliği (mm)
Ocak	226.3
Şubat	146.7
Mart	92.7
Nisan	34.4
Mayıs	25.6
Haziran	3.4
Temmuz	4.8
Ağustos	1.8
Eylül	15.9
Ekim	69.4
Kasım	127.2
Aralık	245.2
Yıllık	993.5

### 3. GEOTEKNİK ÖZELİKLER

#### 3.1. Giriş

Fethiye Limanı sedimantasyon problemine getirilecek çözüm önerileri, bölgede depolanan taban zeminlerinin karakteristiklerine yakından bağlıdır. Deniz suyu sediment konsantrasyonunun tahmini, uygun tarama yönteminin seçimi, tarama sonrasında gerçekleştirilmesi gereken kıyı koruma yapıları ile, rekreasyon amaçlı taban iyileştirme çalışmalarının planlanması ve projelendirilmesi için sığ bölge zemin parametrelerinin tespit edilmesi gereklidir.

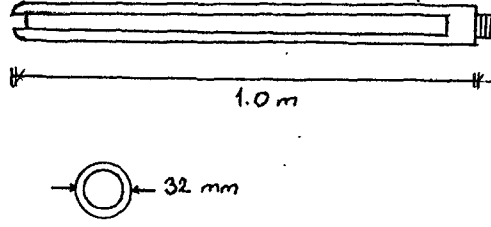
Bu amaçla, sığ bölgedeki deniz tabanından imkânlar nispetinde zemin örnekleri alınmıştır. Kıyı bölgesindeki zemin özelliklerinin belirlenmesinde geçmiş dönemlerde bölgede gerçekleştirilmiş olan geoteknik etüdlere ait raporlardan faydalanılmıştır. Limana sediment taşıyan kanalların taban zeminlerinin karakteristiklerinin tayini için DSİ Araştırma Dairesi tarafından hazırlanmış olan zemin etüdü raporlarından yararlanılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde deniz tabanı, kıyı bölgesi ve kanal tabanı zeminleri üzerinde yapılmış geoteknik etüdlere sonucunda toplanan veriler sunulacak ve genel değerlendirme yapılacaktır.

#### 3.2. Deniz Tabanı Zeminleri

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları esnasında deniz tabanından sıyrıcı tüp sondajı (slot sondajı) yöntemiyle zemin örnekleri alınmıştır. Eldeki imkanlar ve arazi şartları ancak bu yöntemin kullanılmasına müsaade etmiştir. Deniz tabanının çok yumuşak olması nedeniyle derinlere çakılacak sondaj tijlerini geriye çıkartacak ağır hidrolik çekici kullanılması mümkün değildir. Yumuşak taban şartları için geliştirilmiş özel hidrolik çekici ekipman bulunmadığı için elle örnek alma yöntemlerinden sıyrıcı tüp sondajı kullanılmıştır. Bu yöntemde, sıyrıcı tüp zemine batırılıp çevrilmek suretiyle içi zemin örneği ile doldurularak yüzeye çekilmektedir. El ile deniz tabanından ancak

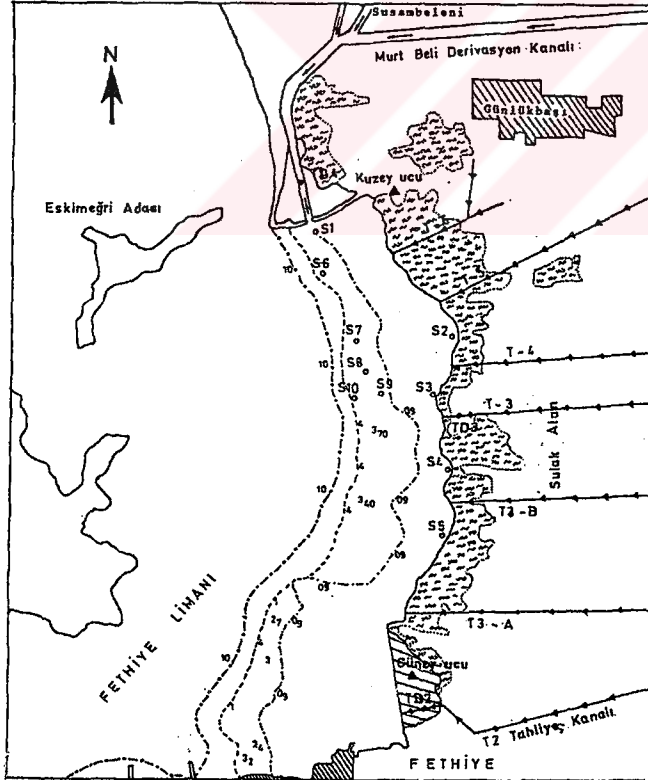


3.0 m derinliğe kadar inilebilen bu yöntem ile örselenmiş örnekler elde edilmiştir. Sıyırıcı tüp detayı Şekil 3.1 verilmektedir.



Şekil 3.1. Sıyırıcı tüp detayı

Yukarıda anlatılan yöntemle yapılan 10 adet sondajın konumları Şekil 3.2 de gösterilmektedir. Sondaj konumları mümkün olduğu kadar eşit aralıkta ve deniz tabanı zeminindeki değişiklikler yeteri kadar temsil edilecek şekilde seçilmiştir.



Şekil 3.2. Deniz tabanında yapılan sondaj konumları

Slot sondajlarından alınan zemin örnekleri üzerinde aşağıda sıralanan zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiştir:

1. Su muhtevası tayini
2. Kıvam limitleri
3. Özgül ağırlık tayini
4. Organik madde tayini
5. Kombine granülometri analizi
6. Tek yönlü ödometre deneyi
7. Vane deneyi

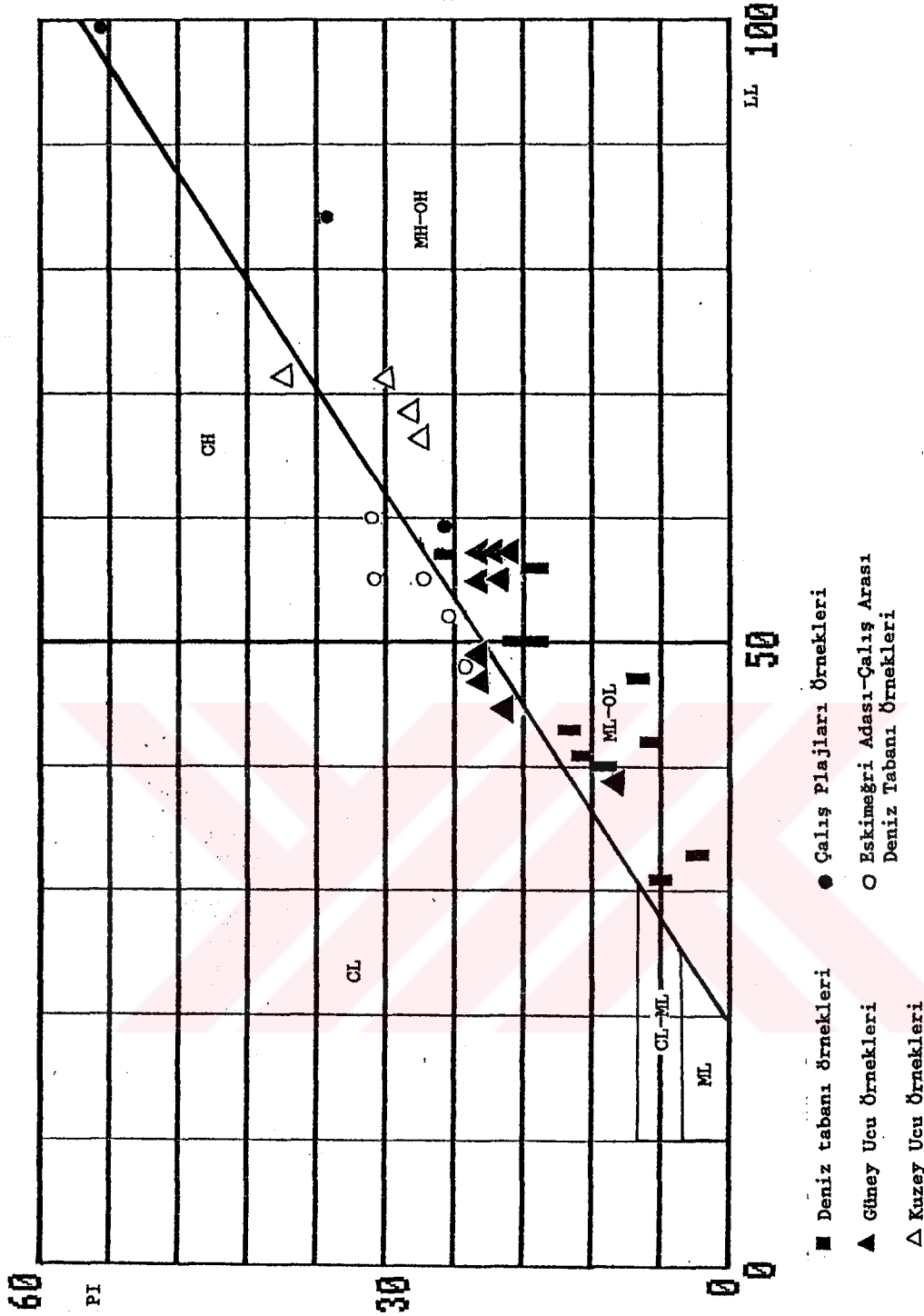
Laboratuvar zemin mekaniği deneyleri, ele alınan problemin çözümü için gerekli olan parametrelerin tayini maksadıyla belirli bir mantık çerçevesi dahilinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin planlanmasını yönlendiren başlıca unsurlar tarama yöntemi seçimi, tarama çamurunun değerlendirilmesi, deniz tabanı karakteristiklerinin belirlenmesi ve kıyı koruma yapılarının dizaynı olmuştur.

**Su muhtevası ve Kıvam Limitleri:** Su muhtevası tayinleri 12 ayrı noktada değişik derinliklerden alınan 25 adet zemin örneği üzerinde yapılmış ve bunların doğal su muhtevalarının geniş bir aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Kumlu zeminlerde % 13 - % 29 değişim aralığında yer alan doğal su muhtevaları, siltli zeminlerde % 41 - % 86 aralığında bulgulanmıştır. Aynı örnekler üzerinde yapılan kıvam limiti deneylerinde likit limit % 33 - % 57, plastik limit % 29 - % 34, rötire limiti % 18 - % 33 aralıklarında gerçekleşmiştir. Doğal zeminlerin likit kıvamda olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 3.1'de su muhtevası ve kıvam limiti sonuçları özetlenmektedir.

ÇİZELGE 3.1. SU MUHTEVASI VE KIVAM LİMİTİ DENEYLERİ BULGULARI

örnek #	derinlik (m)	su muhtevası w (%)	LL (%)	PL (%)	RL (%)	
S1	/1	0.00	13	-	-	-
	/2	0.00-1.00	13	-	-	-
	/3	1.00-2.00	21	-	-	-
S2	/1	0.00	44	-	-	-
	/2	0.00-0.50	55	-	-	-
	/3	0.50-1.00	80	-	-	-
S3	0.00	58	43	29	26	
S4	/1	0.00	56	41	34	
	/2	0.00-1.00	86			
S5	/1	0.00	49	33	30	27
	/2	0.00-1.00	65	50	33	23
S6	/1	0.00	26	-	-	-
	/2	0.00-1.00	23	-	-	-
	/3	1.00-2.00	29	-	-	-
	/4	2.00-3.00	41	31	25	18
S7	/1	0.00	60	46	38	33
	/2	0.00-1.00	44	33	30	28
	/3	1.00-2.00	50	41	28	24
	/4	2.00-3.00	47	50	31	24
S8	0.00	27	43	29	23	
S9	0.00	73	56	34	23	
S10	0.00	73	57	32	27	

**FETHİYE LİMANI ZEMİNLERİNİN PLASTİSİTE KARTINDAKİ YERİ**



Şekil 3.3. Deniz tabanı ve kıyı çizgisi zeminlerinin plastisite kartındaki yeri

Şekil 3.3'deki plastisite kartında bu çalışma kapsamında alınmış deniz tabanı örneklerinin yanısıra, bölgede önceki yıllarda gerçekleştirilmiş deniz ve kıyı etüdüleri sırasında toplanmış zemin numunelerine ait değerler de yer almaktadır. Her biri değişik sembollerle gösterilen bu zemin örneklerinden "sığ bölge deniz tabanı örnekleri" olarak adlandırılan grubun ML-OL bölgesinde kümelendiği görülmektedir. Diğer zemin örnekleri ise MH-OH, CL ve CH sınıflarında yer almaktadırlar.

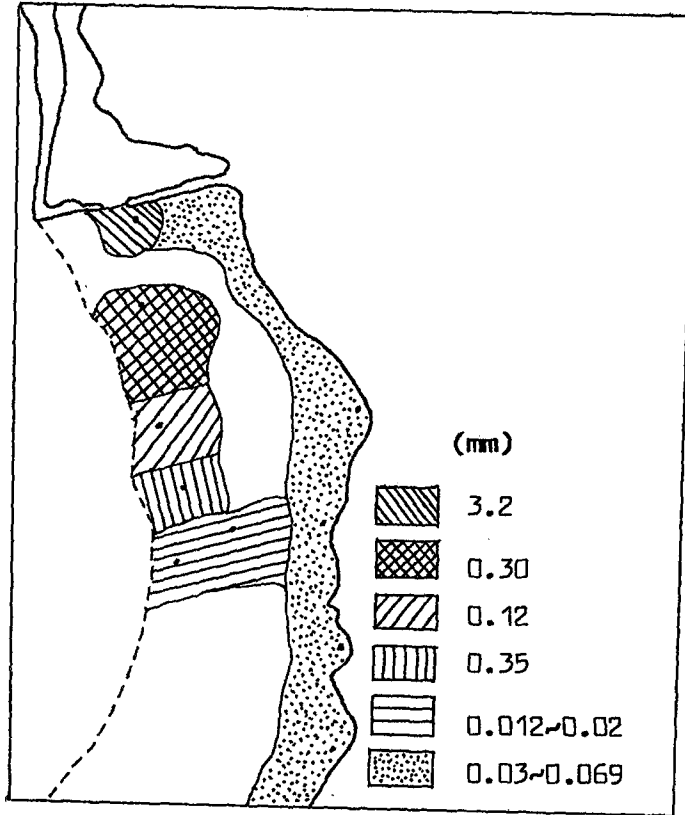
Özgül ağırlık : Deniz tabanı zeminlerinin sınıflandırılmasında ve menşelerinin belirlenmesinde önemli bir parametre de özgül ağırlıktır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda bölge zeminlerinin 2.57-2.85 gibi geniş bir aralıkta değişen özgül ağırlıklara sahip olduğu bulgulanmıştır. Yüksek olan özgül ağırlık değerleri, sedimantasyon ile biriken zeminlerde ağır metal bulunabileceği ihtimalini akla getirdiği için, özgül ağırlığı yüksek çıkan bazı örnekler üzerinde X-Ray analizi ile ağır metal taraması yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları ilgili bölümde verilecektir.

Organik madde : Organik madde tayini deneyleri sonucunda yüksek sayılabilecek değerler elde edilmiştir. Örnekler doğal hallerinde kokulu ve koyu gri renktedirler. Bu sebeplerden deniz tabanı zeminlerinin sınıflandırılmasında organik plastik zemin sembolleri de kullanılabilir. Özgül ağırlık ve organik madde tayini deneylerinin toplu sonuçları Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

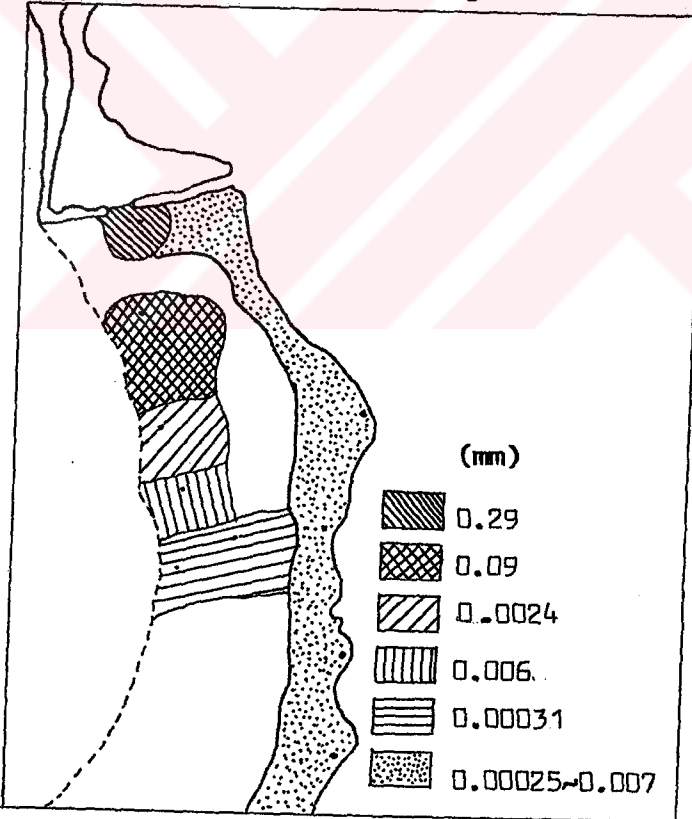
Elek analizi : Taban zeminlerinin elek analizi deneyleri sonucunda belirlenen  $d_{50}$ ,  $d_{10}$ ,  $d_{90}$  (medyan çap, efektif dane çapı ve % 90'nın küçük olduğu dane çapı) ile elek analizi katsayısı  $S_0 [(d_{75}/d_{25})^{\frac{1}{2}}]$  değerlerinin plan dağılımları tabandan itibaren 0.0 - -1.0 m aralığı için 3.4 - 3.7 şekillerinde sunulmaktadır. Dane çapı dağılımı diyagramları Şekil 3.8'de toplu olarak verilmektedir.

ÇİZELGE 3.2. ÖZGÜL AĞIRLIK VE ORGANİK MADDE TAYİNİ DENEYLERİ TOPLU SONUÇLARI

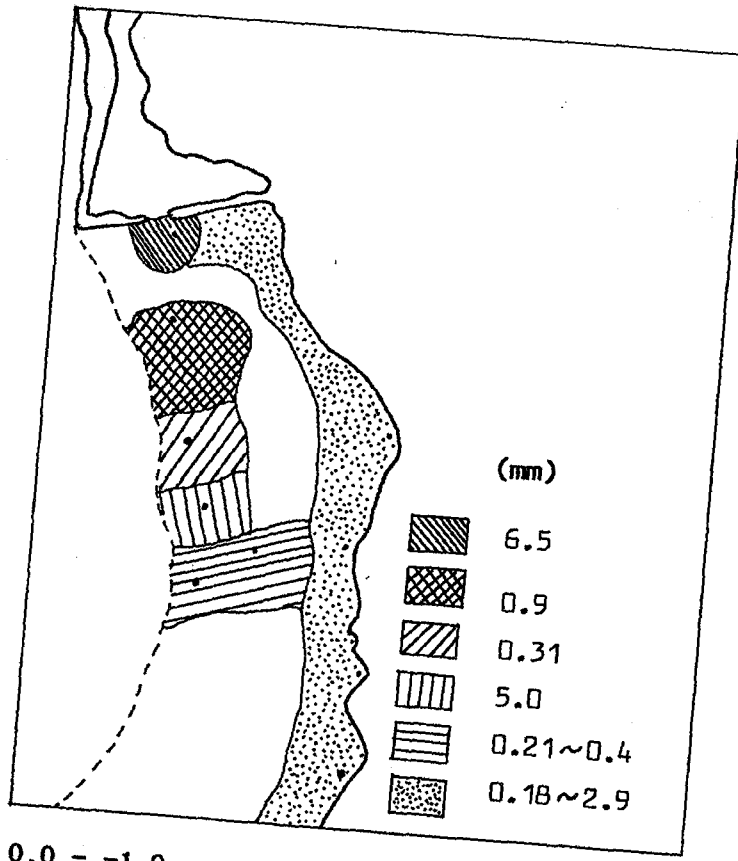
örnek #	derinlik (m)	organik madde O (%)	özgül ağırlık G	
S2	/1	0.00	4.3	2.67
	/2	0.00 -0.50	4.0	2.62
	/3	0.50 -1.00	3.1	2.57
S3		0.00	3.1	2.68
S4	/1	0.00	4.3	2.82
	/2	0.00 -1.00	4.1	2.58
S5	/1	0.00	4.9	2.75
	/2	0.00 -1.00	3.2	2.75
S6	/1	0.00	4.1	2.85
	/2	0.00 -1.00	2.5	2.89
	/3	1.00 -2.00	5.8	2.75
	/4	2.00 -3.00	2.85	2.80
S7	/1	0.00	3.6	2.68
	/2	0.00 -1.00	4.3	2.80
	/3	1.00 -2.00	4.1	2.66
	/4	2.00 -3.00	3.1	2.70
S8		0.00	3.6	2.72
S9		0.00	2.6	2.72
S10		0.00	2.8	2.69
Pasa Arkı	-I-	0.4		2.84
	-II-	0.7		2.79



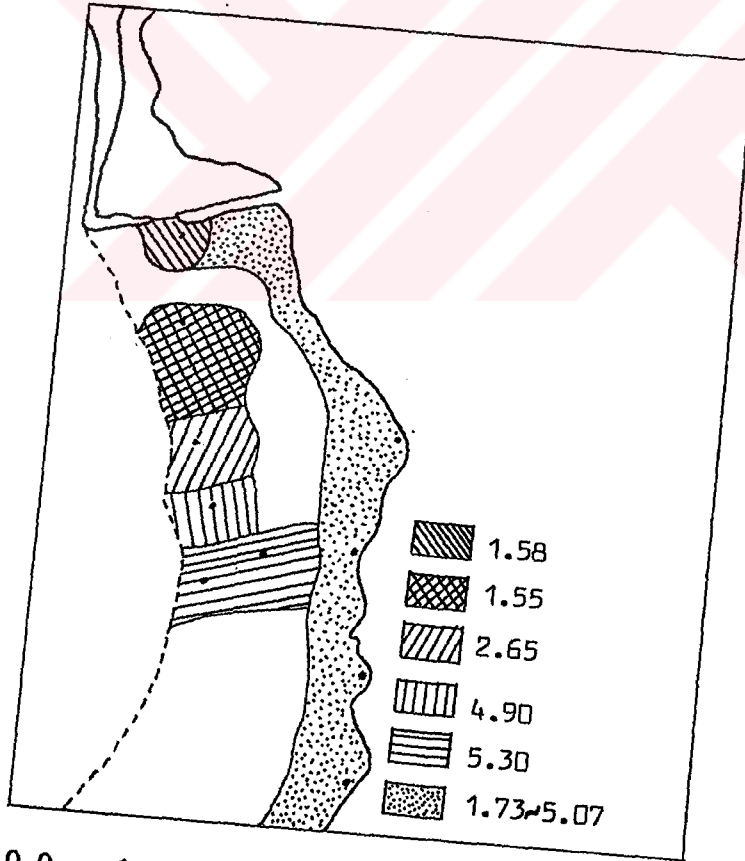
Şekil 3.4. 0.0 - -1.0 m aralığında deniz tabanı zeminleri medyan çapının ( $d_{50}$ ) plan dağılımı



Şekil 3.5. 0.0 - -1.0 m aralığında deniz tabanı zeminleri efektif dane çapının ( $d_{10}$ ) plan dağılımı



Şekil 3.6. 0.0 - -1.0 m aralığında deniz tabanı zeminlerinin  $d_{90}$  plan dağılımı



Şekil 3.7. 0.0 - -1.0 m aralığında deniz tabanı zeminlerinin elek analizi katsayısı ( $S_o$ ) plan dağılımı



Deniz tabanı zeminlerinin kombine granülometrik analizleri sonucu oluşturulan 3.4 - 3.7 şekillerinden sığlık bölgede sediment birikiminin seyri takip edilebilmektedir. Bölgeden alınan örnek sayısı mahdut olduğu için taralı bölgelerin sınırları yaklaşık kabul edilmelidir.  $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{90}$  ve  $S_0$  değerlerinin anılan şekillere göre yorumu şöyledir:

$d_{10}$  (malzemenin % 10 nun geçtiği elek çapı) :

Sığlık bölgenin kuzeyinde zeminin % 10'u 0.29 mm'den geçmekte, güneye doğru inildikçe 0.09 mm mm'den <0.0031 mm değerlerine ulaşılmaktadır. Doğu sahillerinde  $d_{10}$ , 0.00025 ve 0.007 mm arasında değişmektedir.  $d_{10}$  değerlerinin doğu sahillerinde kil-silt skalasında değişmesine rağmen sahilden açıkta kuzey-güney doğrultusunda ince kum-silt-kil skalasında değişmesi, sedimantasyonun bu bölgede oluştuğunu ve ince malzemenin doğu sahillerinde biriktiğini göstermektedir.

$d_{50}$  (malzemenin % 50'sinin geçtiği dane çapı) :

Burada da sığlık bölgede kuzey-güney doğrultusunda güneye doğru  $d_{50}$  azalarak 3.2 mm'den 0.012 mm değerlerine azalmaktadır. Doğu sahillerinde 0.03-0.069 mm arasında değişmektedir.  $d_{50}$  açıkta kuzey-güney doğrultusunda iri kum-orta kum-ince kum-silt skalasında yer almakta, doğu sahillerinde orta kum-ince kum-silt skalasına girmektedir.

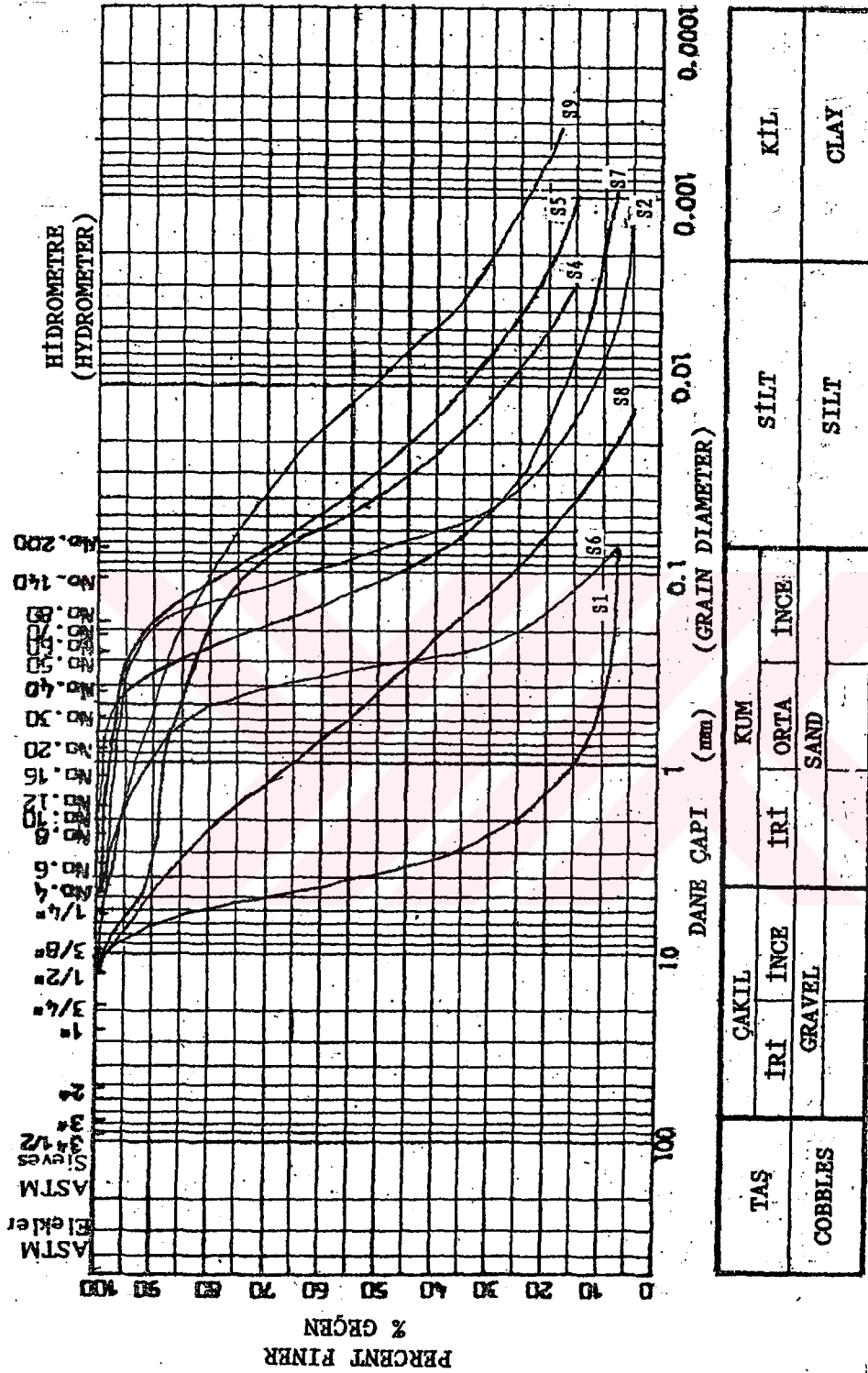
$d_{90}$  (malzemenin % 90'ının geçtiği dane çapı) :

Sığlık bölgede kuzey-güney doğrultusunda  $d_{90}$  güneye doğru azalarak 6.5 mm'den 0.21 mm'ye düşmektedir. Doğu sahillerinde 0.18-2.9 mm arasında değişmektedir.  $d_{90}$  açıkta kuzey-güney doğrultusunda ince çakıl-kum skalasına girerken, doğu sahillerinde kum skalasında yer almaktadır.

$S_0$  elek analizi katsayısı :

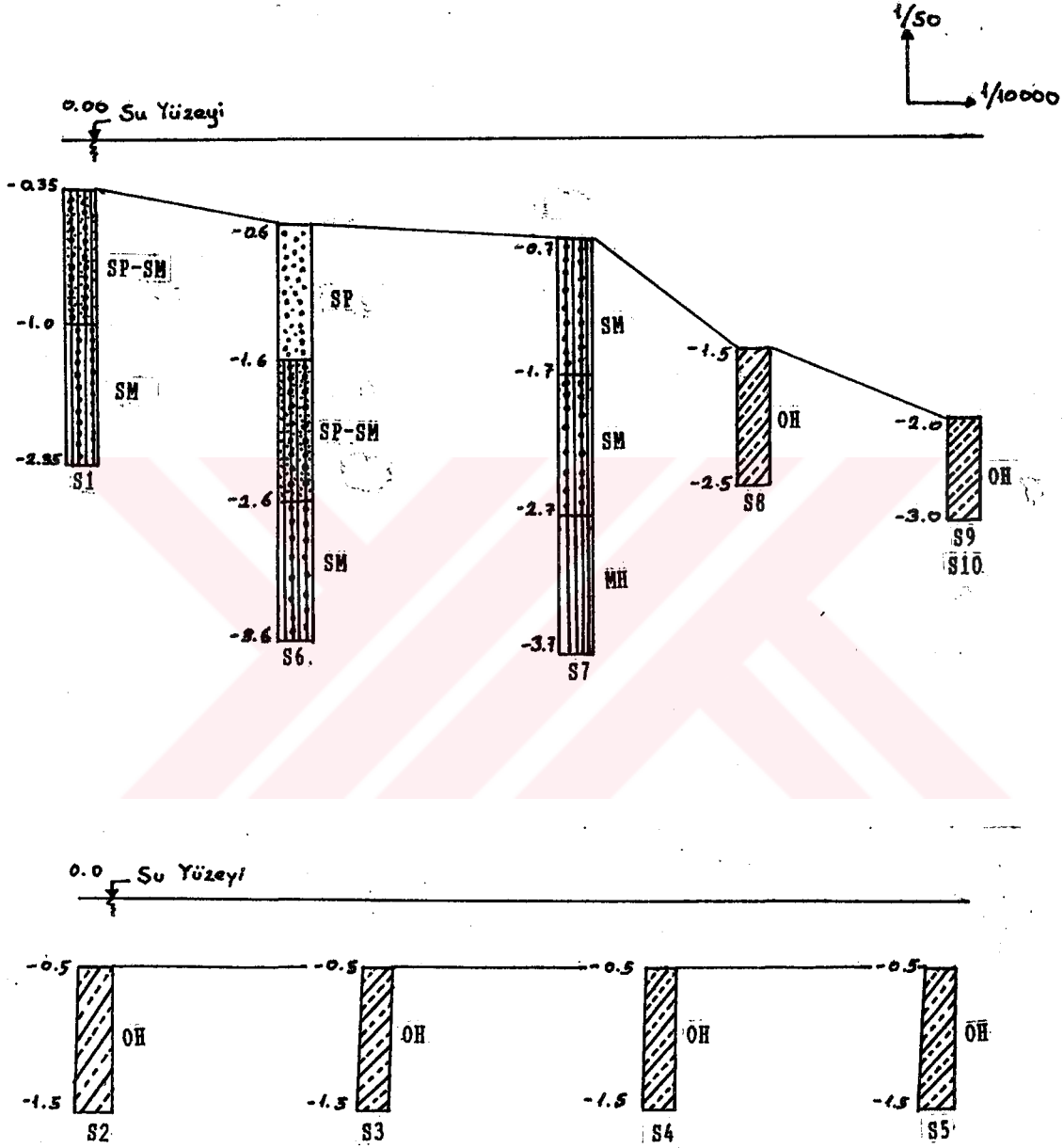
$S_0$ 'ın 2.0'den küçük değerlerinde fena derecelenme, 2.0 den büyük değerlerinde daha üniform derecelenme söz konusudur.

İncelenen zemin örneklerinin dane çapı dağılımı diyagramları Şekil 3.8'de toplu olarak görülmektedir.



Şekil 3.8. Deniz tabanı zeminlerinin tipik dane çapı dağılımı grafikleri

Birleşik Zemin Sınıflandırması esaslarına uygun olarak yapılan sınıflandırma deneyleri sonucunda, deniz tabanı zeminlerinin maksimum -3.0 m kotuna kadar belirlenen profilleri Şekil 3.9'de verilmektedir. Burada seçilen iki adet zemin profili yer almaktadır.



Şekil 3.9. Deniz tabanı zemin profilleri

Ödometre deneyi : Yoğrulmuş örnekler üzerinde doğal su muhtevalarında gerçekleştirilen ödometre deneylerinden Çizelge 3.3 de sunulan sonuçlar elde edilmiştir:

ÇİZELGE 3.3. ÖDOMETRE DENEYİ BULGULARI

örnek #	derinlik (m)	Sıkışma İndeksi $C_e$	Sıkışma Katsayısı $C_c/(1+e_0)$
S2/3	0.00 - 1.00	0.608	0.163
S4/2	0.00 - 1.00	0.276	0.084
S7/3	2.00 - 3.00	0.486	0.180

ÇİZELGE 3.3. (Devamı)

örnek #	derinlik (m)	konsolidasyon katsayısı, $C_v$ ( $m^2/yıl$ )
S2/3	0.00 - 1.00	6.08 - 9.10
S4/2	0.00 - 1.00	2.15 - 5.53
S7/3	2.00 - 3.00	0.342 - 0.634

ÇİZELGE 3.3. (Devamı)

Basınç kademesi ( $kg/cm^2$ )	hacimsel sıkışma katsayısı, $m_v$ ( $cm^2/kg$ )		
	S2/3	S4/2	S7/3
0.01 - 0.10	0.797	1.292	1.157
0.10 - 0.25	0.410	0.253	0.344
0.25 - 0.50	0.209	0.068	0.214
0.50 - 1.00	0.124	0.065	0.075
1.00 - 2.00	0.066	0.030	0.128
2.00 - 4.00	0.035	0.015	0.031
4.00 - 8.00	0.019	0.009	0.018

Vane deneyi : Deniz tabanı zeminlerinin drenajsız kayma mukavemetini belirlemek amacıyla, doğal su muhtevalarında yoğrulmuş olarak hazırlanan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar vane deneyleri sonucunda, doğal su muhtevalarında Çizelge 3.4'deki değerler elde edilmiştir.

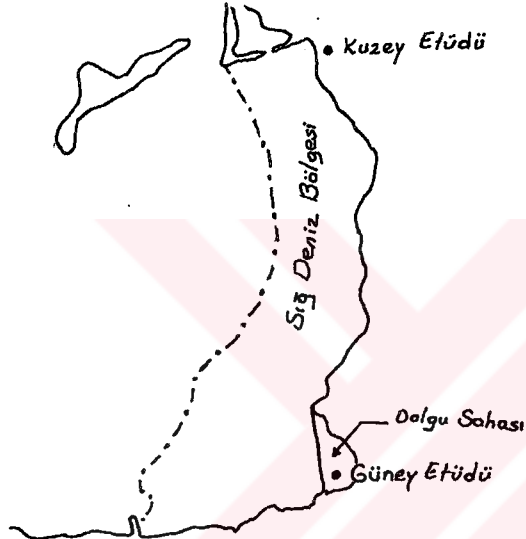
ÇİZELGE 3.4. DRENAJSIZ KAYMA MUKAVEMETİ DEĞERLERİ

örnek #	derinlik (m)	dre. k. mu. $S_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
S2	/3	0.00- 1.00	0.024
S4	/2	0.00- 1.00	0.045
S5	/2	0.00- 1.00	0.048
S6	/4	2.00- 3.00	0.043
S7	/1	0.00	0.024
S7	/2	0.00- 1.00	0.018
S7	/3	1.00- 2.00	0.046
S7	/4	2.00- 3.00	0.037
S9		0.00	0.041
S10		0.00	0.030

Çizelge 3.3'de görüldüğü gibi doğal su muhtevalarında yoğrulmuş örneklerin laboratuvar vane deneyinde elde edilen drenajsız kayma mukavemetleri 0.018 ila 0.045 kg/cm<sup>2</sup> gibi çok düşük değerler almaktadır.

### 3.3. Kıyı Bölgesi Zeminleri

Kıyı bölgesinde denize 100 m mesafede yapılmış iki adet geoteknik etüde (Kayalar ve Ülküdaş; 1985 ve 1990) ait sondajlar ve deney sonuçları denizde ulaşılması kolay olmayan derin zemin tabakaları hakkında oldukça yeterli bilgi vermektedir. Zira kıyı bölgesi ile deniz tabanı arasında büyük kot farkı bulunmamaktadır ve hemen deniz kıyısında bulunan bu zemin tabakalarının uzantılarının deniz tabanında da yer alması beklenmektedir. Sığ deniz bölgesinin kuzey ve güney ucunda gerçekleştirilmiş olan bu etüdlerin konumları Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

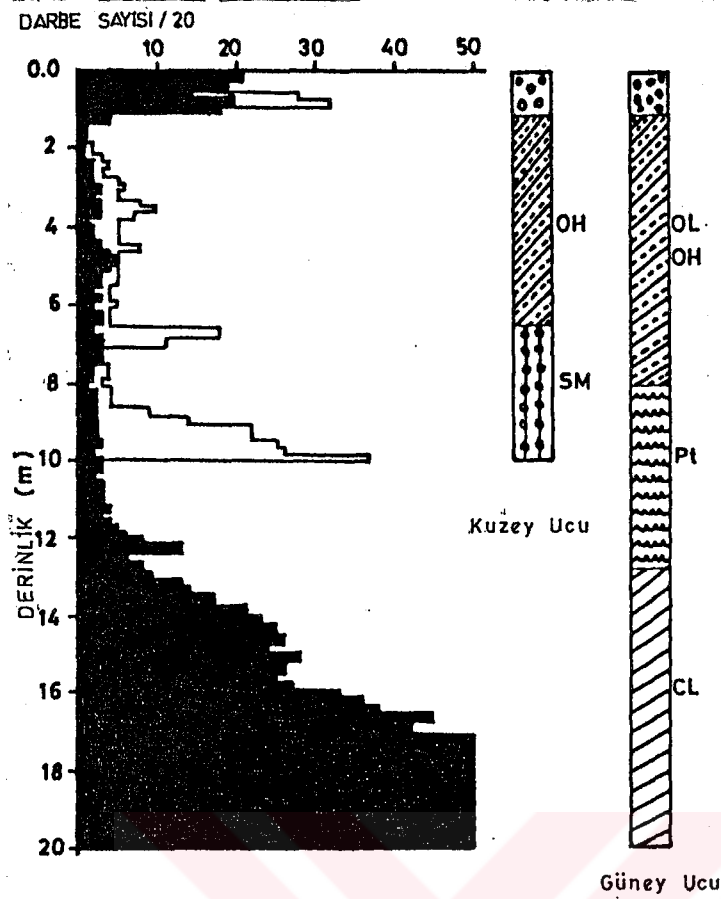


Şekil 3.10. Kıyı çizgisinde geoteknik etüd yapılan konumlar

Anılan geoteknik etüdlere arazi ağır tip dinamik penetrasyon testleri gerçekleştirilmiş, bu testler esnasında slot tüp yöntemiyle yapılan sondajlar ile örselenmiş zemin örnekleri alınmıştır.

Kullanılan ağır tip dinamik penetrometre Alman standartlarına (DIN 4094) uygundur. Çekiç ağırlığı 50 kg, düşme yüksekliği 50 cm, penetrometre koni enkesit alanı 15 cm<sup>2</sup>, tepe açısı 90°, çakma çubuğu çapı 3.2 cm ve uzunluğu 100 cm dir. Çakma hızı 30 darbe/dakika olup dinamik penetrasyonlar zemine 20 cm nüfuziyet için gerekli darbe sayısı olarak kaydedilmektedir.

Bu etüdlere ait iki adet tipik penetrasyon sayısı-derinlik grafiği ve sondaj logları toplu halde Şekil 3.11'de sunulmaktadır.



Şekil 3.11. Dinamik penetrasyon diyagramları ve sondaj logları

Her iki noktada zemin yüzeyinden 1.0 m derinliğe kadar bir dolgu tabakası mevcuttur. Güneydeki penetrasyon noktasında dolgu tabakasının altında 7.0 m kalınlığında koyu gri yumuşak-çok yumuşak yüksek plastisiteli organik silt ve kil tabakası (OH), 5.0 m kalınlığında koyu gri turba (Pt) zemin tabakasının üzerinde yer almaktadır. Bu iki tabaka normal konsolidedir. 13.0 m ve 20.0 m arasında aşırı konsolide kırmızı kahverengi, sert-çok sert, inorganik, kumlu, siltli kil (CL) tabakası bulunmaktadır. Kuzeydeki penetrasyon noktasında dolgu tabakasının altında 5.5 m kalınlığında gri renkli çok yumuşaktan orta yumuşağa ince kum bantları içeren yüksek plastisiteli organik silt (OH) tabakası mevcuttur. Organik silt tabakası, 10.0 m derinliğe kadar görülen ardışık orta sıkı non-plastik silt (ML) ve çok gevşekten sıkıya siltli kum (SM) tabakalarının üzerinde yer almaktadır.

Sondajlardan alınan örselenmiş zemin örneklerinin zemin mekaniği

laboratuvar deneyleri bulguları güney ve kuzey etüd noktaları için Çizelge 3.5 ve 3.6'da sırasıyla özetlenmektedir.

ÇİZELGE 3.5. KIYI ÇİZGİSİ GÜNEYİNDE ZEMİN MEKANIĞI DENEY SONUÇLARI

derinlik (m)	1.0 - 8.0	8.0 - 13.0	13.0 - 20.0
G	2.57	2.30	2.67
w (%)	45 - 58	78 - 134	17 - 33
LL (%)	38 - 57	.....	45 - 49
PL (%)	27 - 37	.....	25 - 28
PI (%)	11 - 22	.....	20 - 21
-No.4 (%)	100	100	.....
-No.200 (%)	57 - 93	61 - 66	61 - 90
B.Z.S	OL - OH	Pt	CL
O (%)	8	19	.....
$C_o/(1+e_o)$	0.24	0.34	.....
$S_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.08	0.26	.....
$R_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	6.9 - 28.0	8.8 - 33.0	46 - 218

ÇİZELGE 3.6. KIYI ÇİZGİSİ KUZEYİNDE ZEMİN MEKANIĞI DENEY SONUÇLARI

derinlik (m)	1.0 - 6.5	6.5 - 10.0
G	2.52	2.65
w (%)	47 - 71	.....
LL (%)	67 - 71	.....
PL (%)	41 - 42	.....
PI (%)	25 - 30	.....
-No.4 (%)	100	66 - 96
-No.200 (%)	61 - 70	12 - 20
B.Z.S	OH	SM
$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.16 - 0.24	.....
$R_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	7 - 88	88 - 154

#### 3.4. Tahliye Kanalı Zeminleri

Limana dökülen tahliye kanalları ve Murt Beli Derivasyon Kanalı vasıtasıyla taşınan sedimentin zemin mekaniği özelliklerini tayin maksadıyla DSİ tarafından kanal tabanlarından ve kanalların denize döküldükleri noktalardan zemin örnekleri alınmıştır. Bu çalışma



kapsamında kanal zemin özellikleri hakkında büyük ölçüde DSİ'nin yayımlanmamış teknik raporlarından faydalanılmış, Etibank ve Yaşar Arı Krom Tesisleri pasa arkından ise yazar tarafından numune alınıp incelenmiştir.

Konu ile ilgili olarak incelenen raporlarda çoğunlukla dane çapı dağılımı diyagramları mevcuttur. Çok sınırlı sayıda örnek üzerinde kıvam limiti deneyleri ve hidrometre analizi yapıldığı anlaşılmaktadır. Kanal mecralarında örneklerin ne şekilde alındığı bilinmediği için, bu analiz sonuçlarını, taşınan malzeme hakkında ancak genel bir bilgi verebileceği düşünülmektedir.

Doğal mecralar ve tahliye kanallarına ait zeminlerin özellikleri Çizelge 3.7'de toplu olarak verilmektedir.

ÇİZELGE 3.7. DOĞAL MECRALAR VE TAHLİYE KANALLARININ TABAN ZEMİNİ ÖZELLİKLERİ

Mecra Adı	Konum	Kilometre	Özgül Ağırlık G	Granülometrik Özellikler		USC
				-No.4	-No.200	
		(km)	-	%	%	
Murt Beli	Deniz Birleşimi	0+0	2.74	95.3	50.2	ML
Murt Beli	Denizden 50 m içeride	0+050	2.71	99.1	60.1	SM
Murt Beli	Çalış Köprüsü (mamba)	0+250	----	49.7	1.5	GP-SP
Murt Beli	Susambeleni ile birleşim	0+750	2.73	87.7	50.0	SM
Murt Beli	-----	1+067	----	53.4	7.9	GP-GM
Murt Beli	-----	4+000	----	54.1	0.1	SP
Murt Beli	-----	4+059	----	34.4	1.1	GP
Murt Beli	-----	10+281	----	43.4	7.9	GW-GM
Murt Beli	(mansap)	15+000	2.69	40.4	1.2	GW

ÇİZELGE 3.7. (Devam)

Mecra Adı	Konum	Kilometre	Özgül Ağırlık G	Granülometrik Özellikler		USC
				-No.4	-No.200	
		(km)	-	%	%	
Murt Beli	(mamba)	15+000	2.71	94.7	10.3	SW-SM
Murt Beli	-----	21+000	---	68.8	7.7	SP-SM
Susambeleni	Murt Beli ile birleşim	0+0	2.56	54.6	3.8	SW
Susambeleni	-----	2+145	2.80	98.6	60.2	---
Susambeleni	-----	7+000	2.62	36.4	2.7	GW
Susambeleni	-----	8+039	2.84	99.6	37.0	SM-SC
Susambeleni	-----	8+080	2.83	99.2	77.2	---
T2 Tahliyesi			2.66	99.9	79.9	---
T3 Tahliyesi			2.67	69.1	8.0	SP-SM
T3 Tahliyesi			2.66	96.0	76.9	---
Etibank Pasa Arkı			2.84	100.0	83.4	ML
Yaşar Arı Pasa Arkı			2.79	100.0	99.8	ML

### 3.5 Geoteknik İrdeme

Fethiye Limanı doğu yarısında yer alan sığ deniz bölgesi ve bu bölgenin kıyısında yürütülen geoteknik inceleme ve araştırmalar başlıca iki ana başlık altında yürütülmüştür:

1. Bölge zeminlerini sınıflandırmak
2. Bölge zeminlerinin mukavemet ve oturma parametrelerini belirlemek

Gerçekleştirilen çalışmaların yukarıda anılan ana başlıklar altında toplanması problemin çözümü aşamalarına ışık tutacaktır.

1. Sedimentasyonun meydana geldiği sığ deniz bölgesinde örnek alınan 3.0 m derinliğe kadar karşılaşılabilecek olan yaygın formasyonlar kumlar, siltli kumlar ve organik siltlerdir. Ancak bazı konumlarda sert zemin yüzeyleri mevcuttur. Yöre sakinlerine göre eski eser kalıntısı olan bu topuklar tarama çalışmalarına başlanmadan önce ayrıntılı incelemeye tabi tutulmalıdır.

Organik siltlere sığlık bölgenin kıyı kesiminde rastlanmıştır. S2, S3, S4, S5 sondaj noktalarında kil yüzdesi S2 noktası dışında % 10 nun üzerindedir ve derine doğru indikçe artmaktadır. Kıyıda açıkta S9 ve S10 örnek noktalarında da organik siltler vardır ve buralarda kil yüzdesi % 20 nin üzerindedir. Bu bölgeden taranacak zeminlerin depolama alanlarında fazla oturma yapması ve kil davranışı göstermesi beklenmelidir.

Kumlar ve kumlu siltlere S2, S6, S7 ve S8 sondaj noktalarında rastlanmıştır. S2 ve S6 noktalarında yüzeyden 2.0 m derinliğe kadar kum içinde ilerlenmiş, 2.0 m'den itibaren siltli kumlara ulaşılmıştır. S7 ve S8 noktalarında yüzeyden itibaren inceleme derinliği boyunca siltli kumlar vardır. Bu zeminlerde genel olarak silt yüzdesi % 30 civarında olduğu için silt davranışı göstermeleri beklenir.

Sığ deniz bölgesinde el sondajı ile ulaşılabilen 3.0 m derinliğin altında yaklaşık 7.0 - 8.0 m derinliklere kadar organik siltlere rastlanması beklenmelidir. Kıyı bölgesi geoteknik etüdlерinde (Bölüm 3.3) elde edilen zemin profillerinin denize doğru derinleşerek devam etmesi beklenen bir hususdur. Nitekim deniz tabanında yapılan sondajlar da bu görüşü teyid etmektedir. Sedimentasyonun hissedilir seviyede olmadığı kıyı bölgesinde yüzeyden itibaren organik siltler varken sedimentasyonun yoğun olduğu S1, S6 ve S7 noktalarında 2.0 - 3.0 m kalınlığındaki sedimanter kum ve siltli kum tabakalarında derine inildikçe silt yüzdesi, dolayısıyla plastisite artmaktadır.

Şekil 3.3'de sığ bölge deniz tabanı zeminleri ile bu bölgenin çevresindeki zeminlerin plastisite kartındaki yerleri gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere deniz tabanı zeminleri hemen hemen

kesin sayılacak ölçüde ML-OL grubunda kümelenmektedir. MH-OH grubuna giren deniz tabanı örnekleri sedimantasyon bölgesi dışında kalan S9 ve S10 noktaları ile S5 (0.0 - 1.0 m) ve S7 (2.0 - 3.0 m) noktalarına aittir. Bu durum, sedimantasyon bölgesindeki deniz tabanı zeminlerinin orijininin farklı olduğunu teyid etmektedir.

Deniz tabanı zeminlerinin bir kısmının kıyı bölgesi zeminlerinden farklı özgül ağırlıklara sahip olması orijin farklılığı ile ilgili diğer bir bulgu sayılabilir. Deniz tabanı zeminlerinin özgül ağırlıkları 2.57-2.72 ve 2.75-2.89 olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yüksek özgül ağırlık değerleri kıyı bölgesinde yüzey örneklerinde ve sedimantasyon noktalarında (S6, S7) derinlik boyunca bulgulanmıştır. Diğer noktalarda düşük özgül ağırlıklar bulgulanmıştır ki bu değerler 2.52-2.67 olarak bulgularan kıyı bölgesi zeminlerine ait özgül ağırlıklar ile uyum içindedir. S7 noktasında 2.00 - 3.00 m arasından alınan silt yüzdesi ve plastisitesi yüksek zemin örneğinin özgül ağırlığı 2.70 olarak bulunmuştur. Bu bulgu da sedimantasyon bölgesinde 3.0 m derinliklerden itibaren yerli zeminlere girildiğine dair şimdiye kadar oluşmuş görüşü kuvvetlendirmektedir.

2. Deniz tabanından alınan zemin örneklerinin drenajsız kayma mukavemetleri pratik olarak yok kabul edilebilecek 0.018 - 0.045 kg/cm<sup>2</sup> değerleri arasında gerçekleşmiştir. Çok yumuşak kıvamda bulunan siltli zeminler taşıma gücü bakımından çok zayıftır. Tarama sırasında bu zeminler ve çok gevşek yerleşim sıklığındaki kumlu zeminler önemli bir müşgilat göstermeyeceklerdir. Şevli tarama halinde detaylı stabilite analizi yapılmalıdır.

Yöredeki siltli zeminler önemli derecede oturma kapasitesi özeliği gösterdiğinden kıyı düzenleme yapılarında uygun sistemlerin seçimi önemlidir. Tarama sonrası dökü mahallindeki dolgu zeminlerde önemli oturmalar beklenmelidir.

## 4. SEDİMENTASYON

### 4.1. Giriş

Fethiye Limanı'na sediment taşınması iki mekanizma ile olmaktadır. Bunlardan bir tanesi kış aylarında kıyı boyu akıntıları ile limanın kuzeydoğusundaki deniz kulağını ve kum burnunu da oluşturan sediment taşınmasıdır. İkincisi ise Murt Beli Derivasyon Kanalı'na bağlanan dere ve akarsuların yüzey erozyonu ve taban oyulması sonucu taşıdıkları sedimentin Murt Beli vasıtasıyla Fethiye Limanı'na iletilmesidir.

Sedimentasyon problemi önemli ölçüde ikinci mekanizmanın sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Birinci mekanizmanın ikincinin yanında oldukça küçük sayılabilecek etkisi ancak ayrıntılı araştırmaların neticesinde ortaya konulabilir. Gözlenebilen sedimentasyon Liman'a dökülen kanalların inşaatından hemen sonra oluşmaya başladığından, kıyı boyu akıntıları ile biriken sedimentin etkisinin daha uzun dönemde ele alınması doğru olacaktır. Bu nedenle, Murt Beli Derivasyon Kanalı vasıtasıyla sediment yüklerini Fethiye Limanı'na ileten doğal mecraların havzalarından su erozyonuyla taşınan yıllık sediment miktarının tahmin edilmesi önem kazanmaktadır.

Sığ deniz bölgesinde oluşan sedimentasyonun sınırlarının ve miktarının 1956 ve 1991 yıllarındaki ölçümlere göre hazırlanmış olan batımetrik haritaların mukayesesinden elde edilmesi mümkündür. Bu sayede havza erozyonu tahminlerinin de bir kontrolü yapılmış olacaktır.

Bu bölümün ilerleyen kısımlarında önce doğal mecraların havza erozyonu tahminleri ele alınacak, daha sonra sığ deniz bölgesindeki sedimentasyon miktarının belirlenmesi işlenecektir. Bölümün sonunda sonuçların karşılaştırılması ve irdeleme yapılacaktır.

#### 4.2. Havza Erozyonu

Her yıl milyonlarca ton verimli üst toprağın aşınarak taşınmasına ve geride daha çok verimsiz toprak iskelet maddelerinin kalmasına sebep olarak çeşitli çevre problemlerinin oluşmasına zemin hazırlayan hidrolik erozyonun bir tarladan veya bir havzadan meydana getirdiği toprak kaybının kantitatif olarak tespiti çalışmaları uzun yıllardır devam etmektedir.

Genellikle, Akdeniz ve yarı-kurak iklim özellikleri gösteren ve yağışların şiddet-süre ilişkileri ile topografik durumu hidrolik erozyona elverişli olan ülkemizde, toprak kaybının belirlenmesi üzerine yapılan araştırmalar oldukça yenidir. Ülkemizde yeterli bir sediment ölçüm ağının henüz mevcut olmayışı önemli bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır. Oysa, erozyon tehlikesinin büyüklüğünü hissedip toprak kaybı ölçümlerine ve toprak muhafaza tedbirleri almaya başlayan ilk ülke olarak ABD'de uzun yıllar devam eden denemeler ile, önceleri meyil, toprak tipi ve bitki örtüsünün erozyona etkisi incelenmiş, daha sonra da teraslama, şeritsel ekim, sel oyuntusu kontrolü çalışmaları yapılmıştır (Doğan O. ve Güçer C., 1976).

Bu amaçla Wischmeier ve Smith (1965) tarafından geliştirilen Universal Toprak Kaybı Denklemi öncelikle tarım arazilerinden toprak kaybını bulmak ve buna göre uygun bitki türlerinin ekimini önermek için düşünülmüştür. Ayrıca tarım arazilerinin önemli bir sediment kaynağı olduğu havzalarda sediment yükünün hesabı için de önerilmiştir (Williams J. ve Berndt H., 1972). Bugüne dek yapılan modifikasyonlar sonucu Universal Denklem, yağışların oluşturduğu yüzeysel erozyon ve oluk erozyonu ile bir arazi veya havzadan meydana gelmesi muhtemel toprak kaybını belirlemede yaygın olarak kullanılan en gelişmiş bir toprak kaybı eşitliğidir.

##### 4.2.1. Universal Toprak Kaybı Denklemi

Universal Denklem;

$$A = R.(K.L.S.C.P) \dots\dots\dots(1)$$

ile ifade edilir.

Yukarıdaki denklemde yağış (R), toprak (K), meyil uzunluğu (L), meyil derecesi (S), bitki amenajmanı (C) ve toprak muhafaza tedbirleri (P) faktörlerinin bilinmesi ile toprak kaybı kolaylıkla hesaplanabilir.

Yağış erozyon indisi (R) : Herhangi bir yağışın erozyon potansiyeli, bu yağışın toplam kinetik enerjisi ile 30 dakikalık maksimum şiddetleri çarpımının 100'e bölümüne eşittir. Yağış erozyon indisi denilen bu değer,

$$R = \frac{E_p \cdot I_m}{100} \dots\dots\dots(2)$$

formülü ile ifade edilir. Burada R:yağış erozyon indisi (ton-m/ha),  $E_p$ :toplam kinetik enerji (ton-m/ha) ve  $I_m$ :yağışın 30 dakikalık maksimum şiddeti (cm/saat) olmaktadır.

Türkiye'de havzalara göre ortalama yıllık erozyon indeksleri dağılımını gösteren bir harita Topraksu Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanmıştır (Doğan O. ve Güçer C., 1976).

Toprak aşınma faktörü (K) : Toprak aşınma faktörü universal toprak kaybı eşitliğinde % 9 meyil ve 22.1 m meyil uzunluğundaki bir arazi ünitesinde birim erozyon indisi ile hektardan kaybolan toprağın ton olarak ifadesidir. Erozyona tesir eden diğer faktörlerin sabit olması halinde farklı özelliklere sahip olan topraklar farklı derecelerde aşınırlar. Toprak aşınma faktörünün değişim aralıkları Çizelge 4.1'de verilmektedir.

ÇİZELGE 4.1. K FAKTÖRÜNÜN DEĞİŞİM ARALIĞI

K Faktörleri	Aşınma Derecesi
0.00 < K < 0.05	Çok az
0.05 < K < 0.10	Az
0.10 < K < 0.20	Orta
0.20 < K < 0.40	Kuvvetli
0.40 < K < 0.60	Çok kuvvetli

Meyil uzunluğu ve meyil derecesi faktörleri (LS) : Meyil uzunluğu (L) ve meyil derecesi (S) faktörleri bir arada

$$LS = \frac{I^{1/2}}{100} (1.36 + 0.97*s + 0.138*s^2) \dots \dots \dots (3)$$

formülü ile ifade edilir. Burada LS:universal denklemde kullanılan topoğrafik faktörü, I:meyil uzunluğunu (m), s:meyil derecesini (%) göstermektedir.

Bitki amenajman faktörü (C) : Universal denklemdeki bitki amenajman faktörü, belirli şartlar altında mahsul alınan bir tarladan meydana gelen toprak kaybının, devamlı nadas altındaki bir tarladan oluşan eşdeğer toprak kaybına oranı olarak ifade edilmektedir.

Toprak muhafaza tedbirleri faktörü (P) : Belli bir toprak koruma işlemi altında meydana gelen toprak kayıplarının, aynı şartlar altındaki devamlı nadas tarladan meydana gelen toprak kayıplarına oranıdır. Toprak muhafaza faktörünün arazi meyline ve kullanım şekline göre değişimi Çizelge 4.2'de görülmektedir.

ÇİZELGE 4.2. TOPRAK MUHAFAZA TEDBİRLERİ FAKTÖRÜ (P)

Arazi Meyli (%)	Tesviye Eğrilerine Paralel Ziraat	Tesviye Eğrilerine Paralel Şerit Ekim	Teras
1.1 - 2.0	0.60	0.30	0.30
2.1 - 7.0	0.50	0.25	0.25
7.1 - 12.0	0.60	0.30	0.30
12.1 - 18.0	0.80	0.40	0.40
18.1 - 24.0	0.90	0.45	0.45

Sediment iletim katsayısı ( $D_r$ ) : Mecralarda mansaba iletilecek sediment yükü, yüzey erozyon değeri sediment iletim katsayısı ile çarpılarak bulunur. Bu katsayı,

$$D_r = 0.627*SLP^{0.403} \dots \dots \dots (4)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Yukarıdaki formülde SLP katsayısı,



$$SLP = \frac{N}{\sqrt{1/SLP_1} + \sqrt{1/SLP_2} + \dots + \sqrt{1/SLP_1}} \dots\dots\dots(5)$$

ile hesaplanmaktadır. Formülde, N eşit uzunlukta bölünmüş mecrası sayısını ; SLP<sub>i</sub> kanal meylini göstermektedir.

#### 4.2.2. Fethiye İçin Yapılan Havza Yüzey Erozyonu Tahminleri

Murt Beli Derivasyon Kanalı'na bağlanan Susambeleni, Çerçi, Eldirek ve Kösebükü derelerinde körfezi etkileyen sediment taşınımı söz konusudur. Susambeleni, Çerçi ve Eldirek derelerinin hidrolojileri ve yağış alanları bakımından sediment taşıma potansiyelleri daha fazladır. Aşağıdaki bölümlerde bu üç derenin havzaları tanıtılmakta (DSİ Yayınlanmamış Rapor, 1991), Universal Denklem ile yüzey erozyonu tahminleri verilmektedir.

**Susambeleni Deresi :** Yağış alanı yaklaşık 74,44 km<sup>2</sup> genişliğindedir. Havzasında bozuk koru niteliğinde kızılçam ormanları bulunan bu derenin memba kısımlarında Orman Bakanlığı'nca orman yenileme çalışmaları yapılmaktadır. Susambeleni ana mecrasında, yamaç arazi-den ve mecralardan kaynaklanan aşırı olmayan miktarda rüsubat mevcuttur. Çakıl ve taş iriliğindeki bu rüsubat, devamlı sarfiyatlarla mansaba taşınmakta ve DSİ tarafından düzenlenen yatakta birirmektedir. Kum ve silt inceliğindeki kısmı ise Murt Beli Derivasyon Kanalı vasıtasıyla körfeze ulaşmaktadır.

**Çerçi Deresi :** Yağış alanı yaklaşık 24,72 km<sup>2</sup> 'dir. Yukarı havzasında bozuk karakterli kızılçam koru ormanları mevcuttur. Dere mecrası yer yer ana kayaya oturmuş bulunmaktadır. Mecrada bulunan kum, çakıl ve taş iriliğinde bol miktardaki rüsubatın kaynağını yüzeysel erozyon, kayalık kesimlerde gelişen fiziksel ayrışma ve yamaçlardaki moloz akıntıları oluşturmaktadır. Derenin memba kısımlarından sarfiyatlarla mansaba intikal eden rüsubat, eğimin de düşmesiyle karayolu köprüsünün yaklaşık 500 m membaından itibaren yatakta birirmektedir. Çerçi Deresi Murt Beli Derivasyon Kanalı'na mansaplanarak ince rüsubatını bu kanal vasıtasıyla körfeze taşımaktadır.

Eldirek Deresi :Yağış alanı yaklaşık 19.90 km<sup>2</sup> 'dir. Bu derenin yukarı havzası da bozuk koru vasfındaki kızılçam ormanlarıyla örtülmüştür. Yamaç arazi ve mecralardan kaynaklanan kum, çakıl ve taş iriliğindeki rüsubat, sarfiyatlarla mansaba taşınarak stabilize yol ile derenin kesiştiği yerde membaya doğru yatak içinde birikmektedir. Bu kesimde gelişmiş güzel alınmış malzeme nedeniyle hafriyat boşlukları mevcuttur. Dere, kum ve silt iriliğindeki ince rüsubatını Murt Beli Derivasyon Kanalı vasıtasıyla körfeze ulaştırmaktadır.

Havza Yüzey Erozyonu Hesapları Sonuçları :Susambeleni Deresi 18 adet, Çerçi ve Eldirek dereleri 12'şer adet morfolojik üniteye ayrılmışlardır. Her morfolojik ünite için topoğrafik faktör (LS), 1/25000 ölçekli haritalardan faydalanılarak belirlenmiştir. Toprak aşınma faktörü Çizelge 4.1'de verilen üç değişik toprak grubundan seçilmiştir. Bunun sebebi K faktörünün arazi verilerine göre belirlenemeyişidir. Toprak muhafaza faktörü (P) için Çizelge 4.2'den % 2.1 - % 7.0 değerlerine karşılık gelen 0.50 değeri alınmıştır. Toprak amenajman faktörü (C) ormanlık bölgelerde 0.03 ila 0.15 arasında olmaktadır. Gerçekte arazi verilerine göre belirlenmesi gereken bu değer, bu çalışmada yaklaşık olarak 0.15 alınmıştır. Yağış erozyon indisi (R) Türkiye Ortalama Yıllık Erozyon İndeksleri Dağılım Haritası'ndan 256.6 ton-m/ha olarak alınmıştır. Morfolojik ünitelerin yağış alanları, toplam yağış alanını ünite sayısına bölmek suretiyle birbirine eşit alınmıştır. Her ünitenin meyil uzunluğu 1.0 km'dir.

Susambeleni, Çerçi ve Eldirek derelerinin yukarıda anlatılan şekilde hesaplanan meyil, topoğrafik faktör, sediment iletim katsayısı ve yıllık havza erozyonları sırasıyla Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5 de sunulmaktadır. Bu çizelgelerde yıllık havza erozyonu değerlerine K faktörü dahil değildir. Havza erozyonunun bu faktöre göre değişimi ayrıca yorumlanacaktır.

**ÇİZELGE 4.3. SUSAMBELENİ DERESİ HAVZA EROZYONU SONUÇLARI**

Meyil (%)	LS	Yıllık Erozyon $A = R.C.LS.P.Alan$ (t/yıl)
35	64.62	514,233.53
16	16.51	131,383.40
10	7.86	62,548.37
6.1	3.93	31,274.20
3.4	1.98	15,756.47
2.5	1.47	11,697.97
3.5	2.04	16,233.93
3.0	1.74	13,846.60
4.4	2.63	20,929.03
2.8	1.63	12,971.23
2.2	1.32	10,504.30
4.1	2.42	19,257.90
2.0	1.22	9,708.53
2.5	1.47	11,697.97
4.4	2.63	20,929.03
1.3	0.90	7,162.03
0.3	0.53	4,217.63
0.3	0.53	4,217.63
Toplam Havza Erozyonu: $A_T = 918,569.77$ t/yıl		

Her bir morfolojik ünitenin alanı : Alan = 413.5 ha

Sediment iletim katsayısı :  $D_r = 0.15$

Mansaba iletilen sediment yükü (Q) :  $D_r . A_T = 137,785.47$  t/yıl

LS: Topografik faktör; R: Yağış erozyon indisi;

P: Toprak muhafaza tedbiri katsayısı; C: Toprak amenajman faktörü

ÇİZELGE 4.4. ÇERÇİ DERESİ HAVZA EROZYONU SONUÇLARI

Meyil (%)	LS	Yıllık Erozyon $A = R.C.LS.P.Alan$ (t/yıl)
17.5	19.16	75,959.23
8.5	6.19	24,540.07
8.0	5.68	22,518.20
5.5	3.44	13,637.77
5.5	3.44	13,637.77
4.5	2.69	10,664.43
4.5	2.69	10,664.43
0.5	0.59	2,339.03
2.5	1.47	5,827.77
2.2	1.32	5,233.10
2.4	1.42	5,629.53
1.5	0.99	3,924.83
Toplam Havza Erozyonu: $A_T = 194,576.17$ t/yıl		

Her bir morfolojik ünitenin alanı : Alan = 206 ha

Sediment iletim katsayısı :  $D_r = 0.16$

Mansaba iletilen sediment yükü (Q) :  $D_r . A_T = 31,132.19$  t/yıl

LS: Topoğrafik faktör; R: Yağış erozyon indisi;

P: Toprak muhafaza tedbiri katsayısı; C: Toprak amenajman faktörü

ÇİZELGE 4.5. ELDİREK DERESİ HAVZA EROZYONU SONUÇLARI

Meyil (%)	LS	Yıllık Erozyon $A = R.C.LS.P.Alan (t/yıl)$
21	26.12	83,359.33
15	14.85	47,392.27
6.5	4.27	13,627.27
6.5	4.27	13,627.27
5.2	3.21	10,244.40
4.5	2.69	8,584.87
3.1	1.80	5,744.53
2.2	1.32	4,212.63
3.0	1.74	5,553.03
2.2	1.32	4,212.63
1.7	1.08	3,446.70
1.8	1.13	3,606.27
Toplam Havza Erozyonu: $A_T = 203,611.20 t/yıl$		

Her bir morfolojik ünitenin alanı : Alan = 165.83 ha

Sediment iletim katsayısı :  $D_r = 0.17$

Mansaba iletilen sediment yükü (Q) :  $D_r . A_T = 34,613.87 t/yıl$

LS: Topografik faktör;

R: Yağış erozyon indisi;

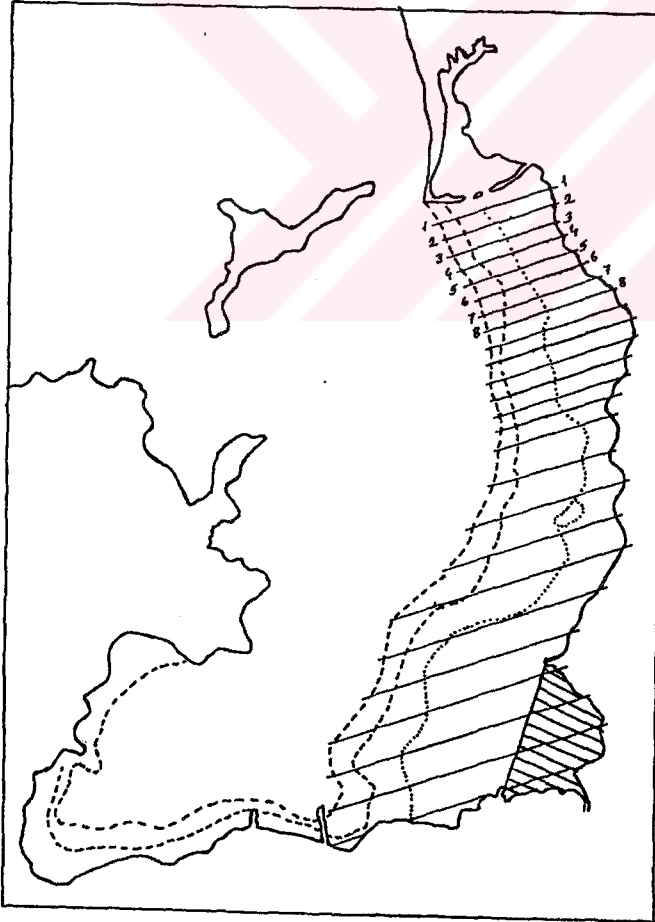
P: Toprak muhafaza tedbiri katsayısı; C: Toprak amanjman faktörü

Susambeleni, Çerçi ve Eldirek derelerinden mansaba iletilen toplam sediment yükü, toprak aşınma faktörü (K) faktörü hesaba katılmadığında 203,531.53 ton/yıl olmaktadır. Bu değere mecralarda taban oyulması ile taşınan sediment yükü dahil değildir. Mecra yataklarında detaylı zemin analizleri yapılmadığı için yatak yükü hesaplanmamıştır.

#### 4.3. Sığ Deniz Bölgesi'nde Birikim

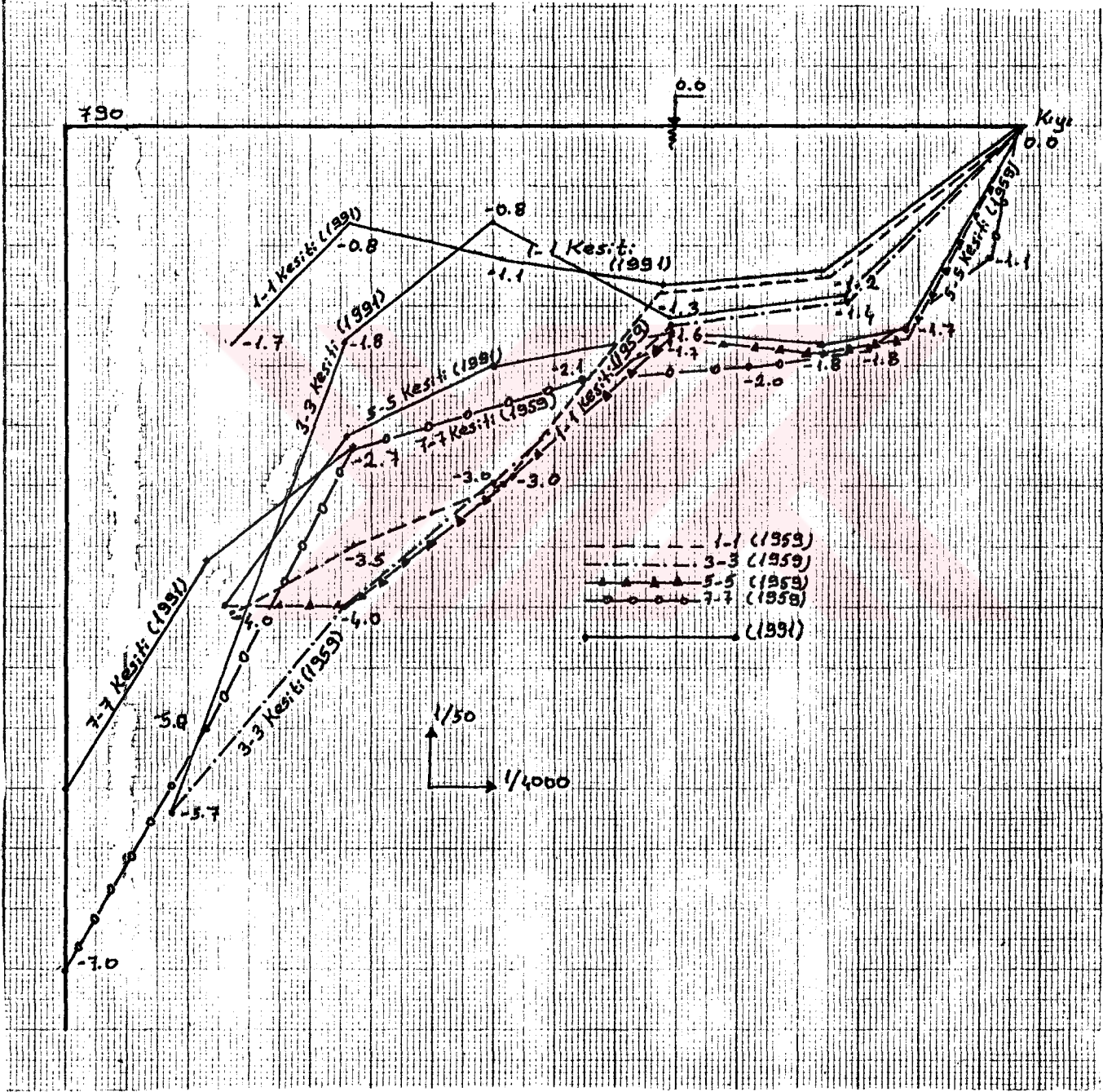
Sedimentasyonun yoğun olarak gözlemlendiği sığ deniz bölgesinde tahliye kanallarının açıldığı 1959 yılından günümüze dek biriken sediment miktarı, bölgeye ait eski ve yeni tarihli batımetrik haritaları karşılaştırmak suretiyle belirlenmiştir.

Bu amaçla 1956 tarihli mesahalara dayanan bir oşinografik harita (T.Dz.K.K. Oşinografi Dairesi, 1989) ile Mayıs 1991 tarihli mesahalara göre hazırlanmış batımetrik harita (DSİ Harita Müdürlüğü, 1992) mukayese edilmiştir. Fethiye Limanı'nın doğusundaki sığlık kesimde Çalış Mevkii'nden ilçe merkezine kadar enkesitler alınarak deniz taban seviyelerinin değişimi incelenmiştir. Sedimentasyonun yoğun olarak gözlemlendiği bölgede daha hassas değerlendirme yapmak için enkesitler daha sık alınmıştır. Enkesit konumları ve taban seviyesinde değişimin gözlemlendiği enkesitler Şekil 4.1'deki harita üzerinde görülmektedir.



Şekil 4.1. Enkesit konumları

Seçilen enkesitlerde deniz taban seviyesinde 1956 ve 1991 yılları arasında meydana gelen değişim Şekil 4.2'de sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Deniz taban seviyesindeki değişim



Enkesit alanlarına ve enkesitler arası mesafeye bağı olarak deniz tabanı üzerindeki su kütlesi hacimleri Simpson yöntemi ile hesaplanmıştır. Bölgede biriken sediment hacmi, 1956 ve 1991 yılına ait su kütleleri hacimleri arasındaki fark olmaktadır. Enkesit alanları Çizelge 4.6'de verilmektedir.

ÇİZELGE 4.6. 1956 VE 1991 TARİHLİ ENKESİT ALANLARI

Enkesit Alanları		
Enkesit #	1956 Yılı Haritasından	1991 Yılı Haritasından
1 - 1	1013.6	516.80
2 - 2	1137.7	640.35
3 - 3	1283.1	947.10
4 - 4	1724.6	1198.00
5 - 5	1341.5	1100.30
6 - 6	2052.6	1499.80
7 - 7	1680.7	1481.50
8 - 8	1978.7	1978.70

Yukarıdaki çizelgede verilen enkesit alanlarına göre 1956 ve 1991 seneleri için hesaplanan su kütlesi hacimleri sırasıyla 911,822.92 ve 668,088.75 m<sup>3</sup> olmuştur. Biriken sediment hacmi, su kütleleri hacimlerinin farkından  $V_{sed} = 243,734$  m<sup>3</sup> olarak hesaplanmaktadır.

#### 4.4. Genel İrdeleme

Havza erozyonu hesaplarında K faktörü dikkate alınmadan ya da bir başka deyişle K=1 alınarak bulunan 203,531.53 ton/yıl değerindeki mansap sediment yükü, toprak türüne göre seçilen K faktörlerine göre aşağıdaki değerlere inmektedir:

Kuvvetli aşınabilir toprakta K=0.30  $Q_{0.30} = 61,059.46$  ton/yıl

Orta derecede aşınabilir K=0.15  $Q_{0.15} = 30,529.73$  ton/yıl

Az aşınabilir toprakta K=0.075  $Q_{0.075} = 15,264.87$  ton/yıl



DSİ kanallarının işletmeye açıldığı 1959 yılından 1991'e kadar geçen 32 yıl zarfında Fethiye Limanı'na taşınan sediment miktarı, K katsayısına göre değişen yukarıdaki yıllık sediment yükleri 32 ile çarpılarak bulunur. Böylece bulunan toplam sediment miktarları,  $\sigma_n=1.50/m^3$  birim hacim ağırlık değerine bölünerek toplam hacimler elde edilir:

$$V_{0.30} = 1,302,592 \text{ m}^3$$

$$V_{0.15} = 651,301 \text{ m}^3$$

$$V_{0.075} = 325,651 \text{ m}^3$$

Görüldüğü gibi K faktörü ile sediment miktarı arasında doğru orantı bulunmaktadır. Yukarıdaki sonuçlara göre sığ deniz bölgesinde hesaplanan  $243,734 \text{ m}^3$ 'lük sediment hacmi ile en yüksek uyumu gösteren havza erozyonu değerinin  $V_{0.075} = 325,651 \text{ m}^3$  olduğu söylenebilir. Ancak, taşınan bu sedimentin bir bölümünün Murt Beli Derivasyon Kanalı'ndaki düşük eğim nedeniyle bu kanalın yatağında birikeceği düşünülürse  $V_{0.30}$  ve  $V_{0.15}$  değerlerinin gerçek durumu daha iyi yansıttığı söylenebilir.  $V_{0.15} = 651,301 \text{ m}^3$  değeri alındığında sığ deniz bölgesinde hesaplanan değer ile arasında  $407,567 \text{ m}^3$  lük bir fark bulunmaktadır. Bu değer 32 rakamına bölündüğünde kanalda yılda  $12,737 \text{ m}^3$  ( $19,106$  ton) miktarında sedimentin biriktiği söylenebilir. Bu değer kanallarda yapılan temizleme çalışmaları dikkate alındığında gerçekçi gözükmektedir.

Bu bölümde yapılan havza erozyonu hesapları sonucunda sediment yükünün seçilen katsayılara bağlı olarak büyük ölçüde değiştiği görülmüştür. Bu sebeple, daha hassas sonuçların arazi verilerine göre elde edileceği aşikârdır. Buna rağmen seçilen katsayılara bağlı olarak bulunan sediment miktarları denize ulaşacak rüsubat hakkında bir merteye vermektedir. Sedimentasyon probleminin çözümüne yönelik metodları yönlendirmesi açısından bu çalışmadan amaçlanan da böyle bir merteye elde etmektir.

## 5. SIĞ DENİZ BÖLGESİNDE ZEMİN ve SULARIN BAZI FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

### 5.1. Zeminlerin Kimyasal Özellikleri

Sedimentasyon ile sığ deniz bölgesinde biriken zeminlerin, özgül ağırlıklarının genelde beklenen değerlerin üzerinde gerçekleştiği 3. Bölüm'de belirtilmişti. Özgül ağırlığın yüksek olması zemin yapısında metal bileşenlerinin mevcudiyetini gösteren kriterlerden biri sayılmaktadır.

Sığ deniz bölgesi zeminlerinde metal varlığını araştırmak için seçilen iki adet zemin örneğine Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde X-Ray analizi uygulanmıştır. Örneklerden biri sığ deniz bölgesinde S6 sondajına, diğeri Etibank Ferro-Krom tesisleri Pasa Arkı'nın Murt Beli Derivasyon Kanalı'na bağlandığı noktaya aittir. Ferro-Krom tesisleri muhtemel ağır metal kaynağı olabileceğinden, zemin örneklerinden biri bu işletmenin pasa arkından seçilerek deniz zemin örneği ile bu örnekteki metal bulguları arasında paralellik olup olmadığı incelenmiştir. Çizelge 5.1'de bu örneklerin X-Ray analizi bulguları verilmektedir.

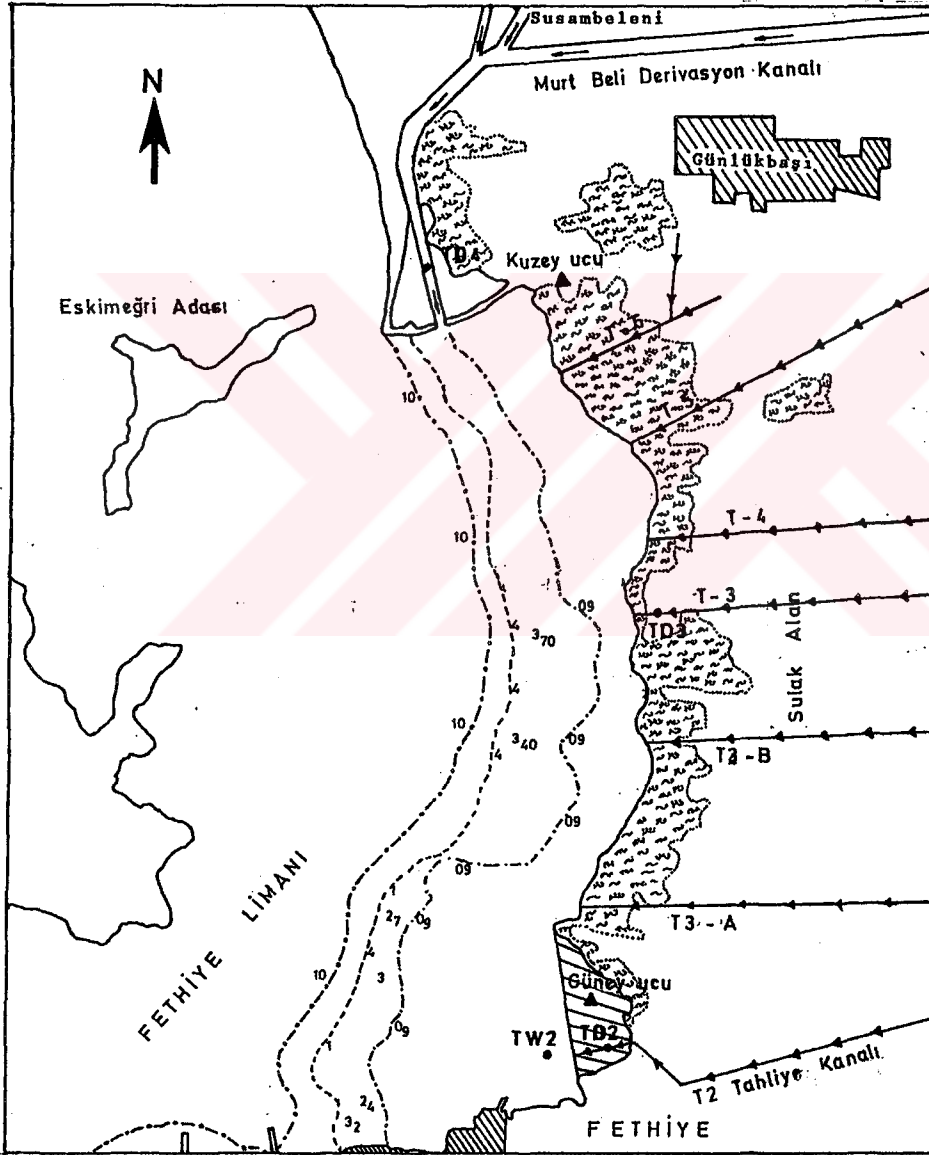
ÇİZELGE 5.1. X-RAY ANALİZİ BULGULARI

Örnekler	Özgül Ağırlık G	Derinlik (m)	Metaller
S6	2.89	0.0-1.00	Cr, Fe, Ni
Pasa Arkı	2.84	0.00	Cr, Fe, Ni, Mn

İncelenen zemin örneklerinde bulgularanan metallere Cr (krom), Ni (nikel) ve Mn (manganez) ağır metal sınıfına girmektedir. İki örneğe ait bulgular arasında paralellik olduğu görülmektedir. İncelenen zemin örneklerinin büyük kısmının özgül ağırlıkları 2.70 ve daha üzerinde bulgulanmıştır. X-Ray Analizi pahalı bir işlem olduğundan diğer örnekler incelenememiştir. Anılan ağır metallerin zemin örnekleri içindeki konsantrasyonlarının belirlenmesi için, atomik absorpsiyon deneyi yapılması gerekmektedir.

## 5.2. Deniz Suyu ve Kanal Sularının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

DSİ ve DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından tahliye kanallarından, Susambeleni Deresi'nden, Murt Beli Derivasyon Kanalı'ndan ve denizden su örnekleri alınarak analizleri yapılmıştır (DSİ Hizmet İçi Rapor, 1991), (DEÜ Çevre Müh. Böl., Yayınlanmamış Rapor, 1989). Şekil 5.1'de örnek noktalarının konumları görülmektedir.



Şekil 5.1. Su örneklerinin alındığı noktalar

DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait olan raporda iki adet tahliye kanalına ve deniz suyuna ait pH, toplam azot, toplam fosfor yüzey aktif madde ve askıda katı madde konsantrasyonları mevcuttur. DSİ raporunda ağır metal konsantrasyonları bulunmaktadır. Çizelge 5.2'de DEÜ, Çizelge 5.3'de ise DSİ raporu verileri toplu olarak sunulmaktadır.

ÇİZELGE 5.2. DENİZ ve KANAL SULARININ BAZI ÖZELLİKLERİ

kons.:(mg/lt)	Deniz (T2 Ağızı)	T2 Kanalı	T3 Kanalı	Murt Beli
pH	8.14	8.60	8.57	8.27
AKM	232.00	80.00	20.00	76.00
Yüzey Aktif Madde	0.40	1.75	0.19	-
Toplam Azot	9.00	13.40	9.50	-
Toplam Fosfor	0.13	0.18	0.19	-

ÇİZELGE 5.3. KANAL ve MECRA SULARINDA METAL KONSANTRASYONLARI

Metaller (mg/lt)	T2 Kanalı	Pasa Arkı Murt Beli Çıkışı	T4 Kanalı Deniz Çıkışı	Yaşar Arı Pasa Arkı
Toplam Kurşun	0.020	0.043	0.021	0.018
Toplam Çinko	0.013	0.110	0.034	0.031
Toplam Krom	0.006	0.010	< 0.005	0.270
Toplam Mangan	-	-	-	-
Toplam Demir	-	-	-	-
Toplam Bakır	0.007	0.007	0.018	0.010
Toplam Arsenik	-	-	-	-
Toplam Civa	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	0.0015
Toplam Kadmiyum	-	-	-	-

ÇİZELGE 5.3. DEVAM

Metaller (mg/lt)	T3 Kanalı Deniz Çı.	T3-A Kanalı Deniz Çıkışı	T2 Kanalı Deniz Çıkışı	T3-B Kanal Deniz Çık.
Toplam Kurşun	0.022	0.024	0.030	0.031
Toplam Çinko	0.029	0.062	0.270	0.098
Toplam Krom	0.019	0.011	< 0.005	0.012
Toplam Mangan	-	-	-	-
Toplam Demir	-	-	-	-
Toplam Bakır	0.008	0.009	0.009	0.012
Toplam Arsenik	-	-	-	-
Toplam Civa	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
Toplam Kadmiyum	-	-	-	-

ÇİZELGE 5.3. DEVAM

Metaller (mg/lt)	Murt Beli Deniz Çı.	Murt Beli-Susam Beleni Birleşim	Susambeleni Murt Beli Çıkışı
Toplam Kurşun	0.030	0.020	0.022
Toplam Çinko	0.055	0.046	0.027
Toplam Krom	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Toplam Mangan	-	-	-
Toplam Demir	-	-	-
Toplam Bakır	0.034	0.012	0.007
Toplam Arsenik	-	-	-
Toplam Civa	< 0.0005	0.0007	< 0.0005
Toplam Kadmiyum	-	-	-

Çizelge 5.2'de verilen metal konsantrasyonları atomik absorpsiyon analizi ile belirlenmiştir. Çizelge'de adı geçen metallerin demir hariç hepsi ağır metal sınıfına girmektedir. Kadmiyum, Arsenik ve mangana analiz edilen örneklerde rastlanmamıştır. Civa, bakır, krom, çinko ve kurşun bütün su örneklerinde bulgulanmıştır. Bu ağır metallerin, canlı hayatı üzerinde oldukça önemli toksik etkisi vardır.

## 6. SEDİmantASYONA BAĞLI ÇEVRE Sorunları

### 6.1. Giriş

Sığ deniz bölgesinde sedimantasyon sonucu ortaya çıkan çevre sorunları üç ana başlık altında toplanabilir:

1. Sığ deniz bölgesinin denizcilik faaliyetlerine kapalı olması
2. Deniz suyundaki türbidite
3. Deniz suyu ve zeminin pestisitler, ağır metaller ve evsel atıklarla kirlenmesi

Yukarıda sayılan çevre sorunlarının bileşkesi, Fethiye Limanı'nın doğu yarısının turizm maksatlı faaliyetlere kapalı kalması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki alt bölümlerde çevre sorunları anlatılacaktır.

### 6.2. Sığ Bölgenin Denizcilik Faaliyetlerine Kapalı Olması

Fethiye Limanı, doğal bir liman olarak deniz vasıtalarının sürekli ve geçici olarak barınması için çok elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Yat turizminin gittikçe önem kazandığı düşünülürse, Fethiye Limanı'nın doğal bir yat limanı olarak değerlendirilmesi gerek yöre sakinlerine, gerekse ülke ekonomisine büyük yararlar sağlayacaktır.

Yat limanı olarak en uygun mevki Fethiye Limanı'nın doğu yarısıdır. Ancak geçmişte de oldukça sığ olan bu bölgenin sedimantasyon sonucu dolarak deniz seyrine imkan vermeyecek hale gelmesi ile, bölgede değil yatların küçük botların seyri ve barınması dahi mümkün olmamaktadır.

Fethiye Limanı'nın hemen dışında başlayan Çalış Plajları ilçe merkezine en yakın turistik bölgedir. Bu bölgeye karayoluyla ulaşım yapılabiliyorsa da denizden ulaşım daha caziptir. Ne var ki yolcu taşıyan teknelerin sığ deniz bölgesinden geçerek Murt Beli Derivasyon Kanalı ile Çalış Plajları'na ulaşmaları suyun çok sığ olması nedeniyle problemlidir. Sığ bölgede, küçük teknelerin kuyruk suyuyla açılan dar ve dolambaçlı bir kanal dışında Murt Beli

Derivasyon Kanalı'na ulaşacak bir deniz yolu bulunmamaktadır. Bu kanal da ilk taşkında gelecek sediment ile dolacak ve bölgede ulaşım yapılamayacaktır. Fethiye Limanı doğu yarısında yat limanı inşaatı ve deniz seyri için yapılması, bu bölgede sedimentasyonun kontrol altına alınmasına ve sığ bölgenin taranarak gerekli derinliklerin elde edilmesine bağlıdır.

### 6.3. Deniz Suyundaki Türbidite

Sığ deniz bölgesinde deniz suyu halen bulanık görülmüştür. Bu durum turistik açıdan arzu edilmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Deniz suyundaki türbiditenin iki bileşeninin olduğu söylenebilir. Bunlar, kanallar ile denize taşınan askıda katı maddenin bir kısmının çökelmeyerek süspansiyonda kalması ve deniz tabanındaki ince daneli malzemenin dalgalar etkisiyle tabandan süspansiyona geçmesidir.

Fethiye Limanı'na kil ve silt boyutlarındaki ince daneli malzeme Çizelge 5.2'de verilen askıda katı madde konsantrasyon değerlerine ve yörede yapılan gözlemlere göre, Murt Beli ve T2 kanalları ile taşınmaktadır. AKM konsantrasyonu T2 Kanalı'nda 80 mg/lt, Murt Beli Derivasyon Kanalı'nda 76 mg/lt ve T2 Kanalı'nın hemen ağzında deniz içinde 232 mg/lt dir. Bu değerlerin hepsi temiz deniz suyu AKM değeri olan 30 mg/lt'nin (Resmî Gazete, 1988) çok üzerindedir. AKM konsantrasyonlarının elde edildiği su örnekleri 28 Haziran 1989 etiketini taşımaktadır. Yağışlı mevsimlerde AKM konsantrasyonlarının yükselmesi beklenir. T2 kanalı ilçe merkezinden geçerek denize ulaşmaktadır. Yüksek AKM konsantrasyonunun sebebi kanala deşarj edilen kanalizasyon suları ve evsel atıklar olabilir. Kanaldan gelen askıda katı maddeler deniz içinde dalga etkisiyle çökelmiyerek süspansiyonda kalmakta ve AKM konsantrasyonu çok yüksek değere erişmektedir. Sulamadan dönen suların denize deşarj edildiği kanallardan biri olan T3 kanalında AKM konsantrasyonu 20 mg/lt ile müsaade edilen limitin altındadır. Bu değer ile yerinde yapılan gözlemler birleştirildiğinde, T2 dışındaki tahliye kanallarından Limana önemli ölçüde sediment taşınımı olmadığı düşünülmektedir.



Deniz tabanı zeminlerinin yüzeyde önemli bir kısmı organik siltlerden meydana gelmekte, sedimentasyonun yoğun olduğu S1, S6 ve S7 noktaları civarında kum ve siltli kumlar gözlenmektedir. Yüzeyden derinlere inildikçe dane boyları küçülmektedir.

Deniz tabanındaki malzemenin dalga etkisiyle harekete geçmesi için gerekli sürüklenme hızı Hallermeier (1980) tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir (Shore Protection Manual, 1984) :

$$u_{max}(-d) = [ 8 (\gamma_s / \gamma - 1) g d_{50} ]^{0.5} \dots \dots \dots (1)$$

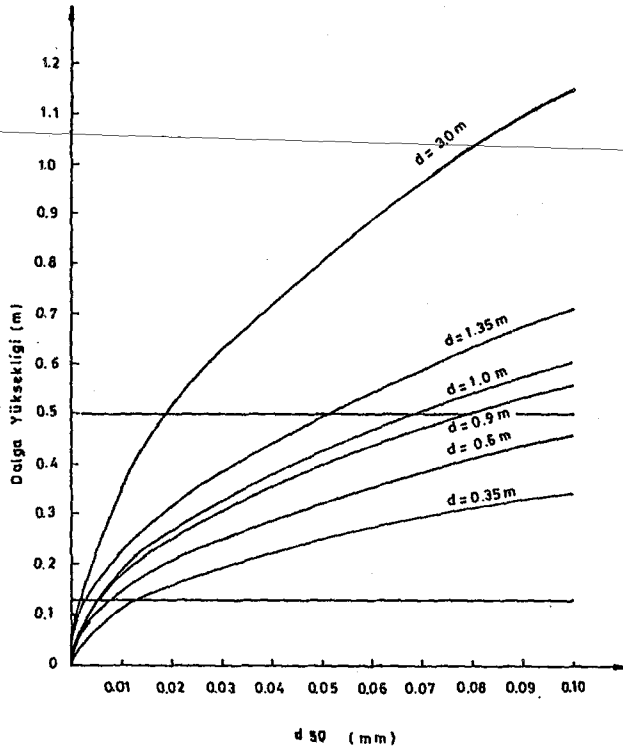
Yukarıdaki formülde  $d_{50}$ : zemin medyan çapı,  $g$ : yer çekimi ivmesi,  $\gamma_s$ : zemin özgül ağırlığı,  $\gamma$ : deniz suyu özgül ağırlığı ve  $u_{max}$ : deniz tabanında dalga tesiri ile oluşacak sürüklenme hızı olmaktadır.  $u_{max}$  sürüklenme hızı; dalga periyodu (T), dalga yüksekliği (H), dalga boyu (L) ve su derinliği (d) bilindiği takdirde küçük genlikli dalga teorisinden yola çıkılarak;

$$\frac{u_{max}(-d) * T}{H} = \frac{\pi}{\sinh(2\pi d/L)} \dots \dots \dots (2)$$

denklemleri ile belirlenebilir. Daha sonra, geriye doğru gidilerek  $d_{50}$ 'nin hesaplanması mümkün olabilir.

Hallermeier bu bağıntıyı kumlu zeminler için önermiştir. Sığ deniz bölgesinde taban zeminlerinin kohezyonu pratik olarak sıfır sayılabileceğinden, bu yöntemin deniz suyundaki türbiditeyi incelemek için kullanılması mümkündür.

(1) ve (2) denklemleri kullanılarak sığ deniz bölgesinde su derinliği, dalga yüksekliği ve  $d_{50}$  arasında kurulan ilişki Şekil 6.1'de görülmektedir. Şekildeki eğriler, değişik derinliklerde belirli dalga yükseklikleri ve harekete geçecek dane çapları arasındaki bağı ifade etmektedir.



Şekil 6.1. Dane hareketi için dalga yüksekliği,  $d_{50}$  ve su derinliği diyagramı

Şekilden görüldüğü gibi, tahmin edilen 17 cm dalga yüksekliğinde,  $d_{50} < 0.01$  mm olan zemin tabakaları 0.35 m 'den küçük su derinliklerinde dahi harekete geçmektedir. Limanda zaman zaman gözlenebilen 50 cm dalga yüksekliğinde ise 1.0 m su derinliğinde  $d_{50} < 0.1$  mm olan zemin tabakaları yerinden oynamaktadır. Su derinliği arttıkça  $d_{50}$  'nin giderek küçüldüğü görülmektedir.

Elde edilen sonuçlardan, sığ deniz bölgesinin mevcut su derinliklerinde ve zemin şartlarında büyük ölçüde bulanık kalacağı anlaşılmaktadır. Zira S1, S6, S7 ve S8 haricindeki sondaj noktalarında  $d_{50} < 0.1$  mm olmaktadır. Zemin örneklerinde, No:200 elekten geçen yüzdesi % 7 ila % 77 arasında değişmektedir. İncelenen örneklerin drenajsız kayma mukavemetleri pratik olarak sıfır kabul edildiğinden, malzemelerin bu kısımları süspansiyona geçeceklerdir.

Bölgeye yat limanı inşaatı yapıldığı takdirde, tarama yapılması gerekecektir. Bu durumda minimum su derinliği 3.0-4.0 m'ye çıkacaktır. Şekil 6.1'den 3.0 m su derinliğinde  $d_{50} < 0.02$  mm olan zemin tabakalarının harekete geçeceği görülmektedir. Sığ bölgede 3.0 m ve 10.0 m derinlikleri arasında silt zeminler mevcuttur.

Bu nedenle bölge taranıp derinleştirildikten sonra da tabanda dane hareketi olacaktır. Su derinliği fazla olduğundan, harekete geçen bu zeminler su yüzeyine kadar yükselmeyebilir. Ancak akıntılarla Liman içinde yayılıp deniz tabanını kaplamaları söz konusudur.

Askıda katı maddeler buldukları sularda birikintilere, dip çamuru oluşumuna ve bulanıklığa sebep olurlar. Dip çamuru oluşumu, su ortamlarının tabanında gelişen (bentik) canlıların hayatını engeller. Askıdaki katı maddeler organik kökenli iseler, oluşan dip çamuru zamanla anaerobik ayrışmaya uğrayarak deniz tabanındaki canlı hayatına olumsuz etkide bulunurlar. Askıda katı maddeler sulardaki bulanıklığı artırmak suretiyle ışık geçirgenliğini azaltırlar. Bunun sonucunda sağlıklı bir ekosistem için gerekli olan fotosentez respirasyon dengeleri bozulur (Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, 1989). Bütün bunlar, sığ bölgedeki türbiditenin göze hoş gelmeyen görüntüsü yanında canlı hayatına yaptığı olumsuz tesirlerdir.

Türbiditenin olumsuz tesirlerini ortadan kaldırmak için, öncelikle kanallardan askıda katı madde taşınımı, AKM konsantrasyonu 30 mg/lt'nin altında olacak şekilde azaltılmalıdır. Deniz tabanında yüzeydeki zeminlerin harekete geçmesini engellemek üzere taban  $d_{50} > 0.1$  mm olan kum tabakasıyla örtülerek ıslah edilmelidir.

#### 6.4. Deniz Suyu ve Deniz Tabanı Zeminlerinin Toksik Maddelerle Kirlenmesi

Bölüm 5 'de muhtelif çizelgelerde görüldüğü üzere DSİ tahliye kanalları ile Murt Beli Derivasyon Kanalı vasıtasıyla Fethiye Limanı'na canlı hayatı üzerinde toksik etkisi bulunan maddeler deşarj olmaktadır. Takip eden alt bölümlerde bu toksik maddeler ve Fethiye Limanı'nda arz ettikleri durum ele alınacaktır.

##### 6.4.1. Yüzey Aktif Maddeler

Düşük konsantrasyonlarda bile yüzey gerilimini düşürücü etki gösteren maddeler yüzey aktif madde olarak isimlendirilmekte, sabunları, deterjanları ve emülsiyonları içermektedir (Türkiye

Çevre Vakfı, 1989). Bu maddelerin en önemlisi ve en çok kullanılanı, deterjanlardır. Sentetik yüzey aktif maddeler, sert suda sabunun dezavantajlarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Sert sularda sabunun temizleme etkinliğini gösterebilmesi için bir kısmının kalsiyum, magnezyum ve bazı diğer metalik iyonlarla birleşmesi gerekmektedir. Deterjanlar, genel olarak suda parçalanabilen düz zincirli ve suda çok zor parçalanabilen, hatta parçalanmayan halkalı zincirli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Eysel ve endüstriyel atıksularla uzaklaştırılan deterjan artıkları deşarj edildikleri alıcı ortamlarda etkilerini sürdürürler. Özellikle akarsularda ve denizlerde konsantrasyonun önemli ölçüde artmasıyla bu ortamlardaki flora ve fauna olumsuz bir şekilde etkilenir. Deterjanlarda bulunan dodesilbenzen (DDB) hammaddesi, tabiatta yıllarca kalabilen, biyolojik olarak ayrışamayan "sert deterjan" yüzey aktif maddesidir.

Fethiye İlçesi kanalizasyon deşarj hattındaki pompa istasyonları elektrik kesintilerinde çalışmadığı zaman, şehir kanalizasyonu denize deşarj olmaktadır. Limana taşınan yüzey aktif maddenin kaynağı önemli ölçüde bu olaydır. Kanal kenarlarındaki kanalizasyon şebekesine dahil olmayan kaçak yapıların atıkları da bilhassa T2 yoluyla denize ulaşmaktadır. Yatlardan pompalanan sintonine suları bir diğer kirlilik kaynağıdır.

T2 kanalındaki yüzey aktif madde konsantrasyon değeri 1.75 mg/lt' dir. Bu değeri, Su Kirliliği Yönetmeliği uyarınca Sınıf 1 sular için 0.5 mg/lt, Sınıf 2 sular için 1 mg/lt, Sınıf 3 ve Sınıf 4 sular için 1.5 mg/lt olarak verilen deterjan limitlerinin oldukça üzerindedir. Yüzey aktif madde konsantrasyonu T2 Kanalı'nın hemen ağzında 0.40 mg/lt olarak hissedilir mertebede bulunmaktadır. Toplam fosfor konsantrasyonunun T2 Kanalı'nda 0.18 mg/lt, T3 Kanalı'nda 0.19 mg/lt olarak bulunması (Sınıf 2 suları limit değeri olan 0.16 mg/lt'nin üzerinde), denize deşarj edilen sularda yüzey aktif maddelerin müsaade edilen değeri aştığını ya da zorladığını gösteren diğer bir kriterdir.

#### 6.4.2. Pestisidler

Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan yapay organik kimyasal maddeler ile tarım alanlarında kullanılan pestisid ve herbisidler, suda doğal olarak güç parçalanmış bileşiklerdir. Bu tür bileşiklerin bir kısmı canlı bünyelerinde ağır metallerle benzer şekilde birikim yapar ve toksik etkilere neden olurlar; diğer bir kısmı ise canlı bünyelerinde mutajenik ve kanserojen etkiler yaparlar. Geniş bir biçimde tarım yapılan arazilerde kullanılan tarım ilaçları genellikle çok dayanıklı olduklarından, ayrışmaları yıllarca sürebilir. Bunlar hem toprak, hem de dolaylı olarak su kaynaklarının önemli ölçüde kirlenmesine sebep olurlar (T.Ç.S. Vakfı, 1989).

Sulara çeşitli yollarla karışmış düşük yoğunluktaki birçok pestisid kalıntısından balıkların olumsuz şekilde etkilendikleri ve davranışlarında farklılıklar meydana geldiği anlaşılmıştır. Öldürücü olmayan dozların ise hayati organlarda bazı patolojik semptomlar meydana getirdiği görülmüştür. Pestisid bakiyelerinin suda eseri miktarda (milyonda kısım) bulunması halinde bile, akuatik canlıların besin zincirinde çok önemli yeri olan zoo ve phyto planktonun gelişmeleri önlenemez. Pestisidlerin etkisiyle ölen organizmalar dibe çökerek birikirler. Çürümeye esnasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> veya zehirli gazlar, diğer akuatik organizmaların bu bölgelere yaklaşmasına mani olurlar. Halen pestisid kalıntıları için açık denizlerde yakın bir tehlike söz konusu değildir. Ancak drenaj ve sulama kanalları, dar körfezler, bazı göl ve durgun sular ile kuyu sularında değişik oranlarda pestisid kalıntılarında rastlanmaktadır. Fethiye Limanı da durgun sular sınıfına girmektedir ve pestisid birikimi için müsait bir ortam oluşturmaktadır.

Denize dökülen kanal sularının ve deniz suyunun pestisit analizi sonuçları bulunmamaktadır. Fethiye Ovası'nda yoğun bir şekilde seracılık ve meyve-sebze ziraati yapıldığından pestisitler geniş kullanım alanı bulmaktadır. Denize deşarj olan sulama suları ile deniz suyu ve zeminlerinde pestisit bulunması kuvvetli bir ihtimaldir.

### 6.4.3. Ağır Metaller

Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların içinde bazen eser miktarlarda bazen de yüksek konsantrasyonlarda metaller bulunur. Metaller boşaltım ortamlarındaki canlı yaşamı üzerinde, konsantrasyonları ile doğru orantılı olarak toksik etki yaparlar. Eser miktarlarda bile sakıncalı olabilen bu maddeler arasında en önemli grubu "ağır metaller" diye adlandırılan Sb, Mn, Hg, Ni, Se, T, U, V, Zn gibi elementler oluşturur. Özellikle kadmiyum, civa, kurşun ve krom gibi ağır metaller, besin zinciriyle girdikleri canlı bünyelerinden doğal fizyolojik mekanizmalarla atılamadıkları için birikime uğrar ve bünyede belirli sınır konsantrasyonların aşılması halinde toksik etki yaparlar. Bu birikim sonucunda sulara yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir. Hatta bu tür su ürünleriyle beslenen insanların yaşamı da tehlikeye girebilir (Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, 1989).

Yapılan analiz ve toplanan veriler sonucunda, Fethiye Limanı sığ bölge zeminlerinde Cr, Ni, Mn; sığ deniz bölgesine deşarj olan kanal sularında ise Pb, Zn, Cr, Cu ve Hg bulgulanmıştır. Zemin içinde bulunan ağır metallerin konsantrasyonları belirlenememiştir. Kanal sularındaki değerler ise Bölüm 5'deki çizelgelerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge 6.1'de temiz deniz suyunda izin verilen ağır metal konsantrasyonları ile kanal sularında bulgulanmış değişim aralıkları sunulmaktadır.

ÇİZELGE 6.1. KANAL SULARINDA TOPLU AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI

Ağır Metaller (mg/lt)	Temiz Deniz Suyu Limit Değerleri	Tahliye Kanallarındaki Konsantrasyon Değerleri
Toplam Kurşun	0.00003 - 0.0016	0.018 - 0.043
Toplam Çinko	0.0015 - 0.010	0.013 - 0.27
Toplam Krom	0.00013 - 0.00025	0.005 - 0.27
Toplam Bakır	0.0005 - 0.0035	0.007 - 0.034
Toplam Civa	0.00015 - 0.00027	< 0.0005

Çizelge 6.1'den görüldüğü gibi denize deşarj olan tahliye kanalları sularındaki ağır metal konsantrasyon değerleri temiz deniz suyunda müsaade edilen limitlerin oldukça üzerindedir. Bu ağır metallerin deniz suyunda ve taban zeminlerindeki konsantrasyonlarının ileride yapılacak araştırmalarla belirlenmesi, yapılacak faaliyetlerin planlanması açısından büyük önem arz etmektedir.

Sığ deniz bölgesine deşarj olan yukarıdaki ağır metallerin oluşturdukları çevre problemleri aşağıda kısaca özetlenmektedir (T.Ç.S. Vakfı, 1989):

**Kurşun :** Doğal su ortamlarında çok düşük konsantrasyonlarda bulunan bu metal, sulara patlayıcı madde üretimi, fotoğrafçılık işlemleri ve boyalardan geçmekte ve kemik dokusunda birikerek kurşun zehirlenmesine yol açmaktadır.

**Bakır ve Çinko :** Doğal sulara bulunmayan bu metaller, sulara endüstri atıklarından geçer. Genellikle çinkoya bakırdan daha sık ve fazla miktarda rastlanılmaktadır. Bu metaller özellikle balıklarda toksisite oluşturdukları için, su ortamlarında istenmezler. Örneęin çinko, 0.15 mg/lt konsantrasyonda bile balıklar için öldürücü olabilmektedir.

**Krom :** Doğal sulara çok düşük konsantrasyonlarda bulunan krom, içme ve sulama sularında toksik etkisi sebebiyle istenmez. Su ortamlarına metal piklaj işlemlerinden, deri, boya ve cam endüstrilerinden verilen atıksularla ulaşmaktadır.

Fethiye Limanı'nda yukarıda anlatılan ağır metal mevcudiyetine bağlı çevre problemlerinden bir kısmı meydana gelmiştir. Liman içinde balık cinsi ve sayısı son derece azalmış durumdadır. İnsan sağlığı açısından bu sulara yüzmek fevkalade mahzurludur. Halen Liman dahilinde yüzmeye yarışlarının yapılması yasaklanmış bulunmaktadır.



## 7. DENİZ TABANININ TARANMASI

### 7.1. Giriş

Fethiye Limanı'ndaki sığ deniz bölgesinin navigasyon ve rekreasyon maksatlarıyla taranması sedimantasyon sonucunda meydana gelen sığlaşma probleminin çözülmesinde en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır.

Deniz tabanında tarama çalışmaları taban kotunu istenilen seviyeye indirmek için yapılmaktadır. Türkiye'de DLHİ tarafından kovalı ve pnömatik olmak üzere iki değişik yöntemle tarama yapılmaktadır. Bunlardan pnömatik yöntem, taban zeminlerinin emici tarak gemileri kullanılarak emilmesi ve pompalar vasıtasıyla basılması esasına dayanmaktadır. Fethiye Limanı'nda sığ deniz bölgesinde emme ucunun taban sathında sabitlenmesinin zorluğu sebebiyle düzgün bir taban yüzeyi elde edilemeyeceği, taranacak malzemenin kirlilik içermesi ve karaya döküm imkanlarının sınırlı olması gibi üç önemli faktör pnömatik yöntemin kullanılmasını mümkün kılmamaktadır. Kovalı tarama yöntemi bu problem için en uygun çözüm olarak görülmektedir. Zira mevcut su derinliği kovalı tarak gemilerinin çalışması için yeterlidir (minimum su derinliği : 3.0 m) ve kovalı tarama ile istenilen taban profilini elde etmek daha kolay olmaktadır.

Sığ deniz bölgelerinde gerçekleştirilen tarama çalışmalarının yakın çevreye olan tesirlerinden birisi deniz suyunda aşırı bulanıklık meydana gelmesidir. Tarama yapılan bölgedeki akıntı, su derinliği, taban zemini özellikleri ve tarama kriterleri bulanıklığı doğrudan etkileyen parametrelerdir. Meydana gelen bulanıklık esnasında sediment bulutunun konsantrasyonunun ve boyutlarının önceden tahmin edilmesi ve tarama sırasında hesaplanmış değerlerin ölçümlerle de desteklenmesi çevreye yapılacak tesirlerin en aza indirilmesini sağlayacaktır. Sığ deniz bölgesinin taranması sırasında meydana gelecek bulanıklığın Fethiye Limanı dahilinde çevreye yapacağı tesirleri yukarıda anlatıldığı şekilde tahmin etmek için bu probleme has bir matematik modelden (Kuo, Hayes, 1991) faydalanılmıştır.

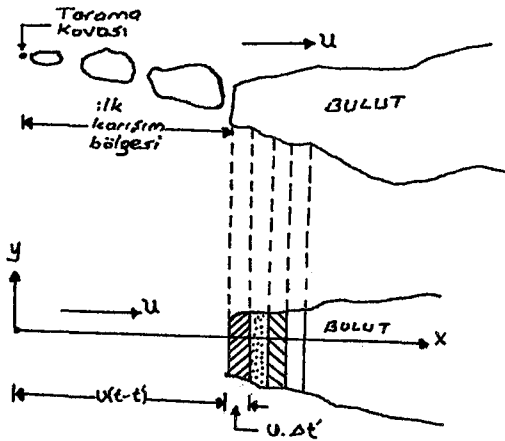


## 7.2. Kovalı Tarama Esnasında Oluşan Bulut İçin Matematik Model

Kovanın deniz tabanına giriş ve çıkışı, tabandan yukarı doğru içi malzeme ile dolu çıkarken suya geçen malzeme, su üzerinden mavnaya doğru giderken ve mavnadan dökülen sediment ile kovanın tekrar deniz tabanına inişi sırasında yıkanması sonucu açığa çıkan malzeme bulanıklık için sediment kaynaklarını oluştururlar. Tarama kovası dairesel bir yörünge çizerken sediment bulutu için düşey düzlemde sürekli çizgisel bir kaynak oluşturur. Sediment bulutu, kovanın bu hareketi esnasında askıya geçen sedimentin ilk karışım bölgesi dışında tekrar birleşmesiyle meydana gelir.

Sediment yayılımını üç boyutlu olarak ele almak, su ve taban yüzeylerindeki sınır şartlarının sağlanmasının imkansız olması nedeniyle mümkün değildir. Bunun yerine düşey iki boyutlu model geliştirilmiştir. Burada, sediment bulutunun düşey doğrultuda tamamen karıştığı kabul edilir. Böyle bir kabul, taramanın gel-git hareketinin etkili olduğu nehirler veya haliçlerde yapılması ve askıya kalkan sedimentin çoğunlukla kil-silt gibi kohezyonlu malzemeden oluşması nedeniyle oldukça makuldür.

Yatay bir düzlemdeki noktasal kaynaktan yayılan bir sediment bulutunun yayılımını açıklamak için yayılan disk difüzyon modeli kullanılmaktadır. Şekil 7.1'de yatay düzlemde gerçek sediment bulutu ve disk modeli kabulü neticesinde bulutun aldığı şekil görülmektedir.



a. Yatay düzlemdeki gerçek bulut

b. İnce dilimlerden (disk) oluşan bulut

Şekil 7.1. Sediment bulutunun planda görünümü

### 7.2.1. Model Formülasyonu

Yatay düzlemde yer alan bir akım alanında ortalama sediment konsantrasyonunun derinlikle dağılımı modellenenebilir. Ana akıntının x-yönünde olduğu ve bu yöndeki difüzyonun adveksiyona nazaran ihmal edilebileceği kabulüyle sediment danelerinin çökmesini, difüzyonu ve adveksiyonu ihtiva eden temel denklem:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = k_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \frac{wc}{h} \dots\dots\dots(1)$$

u : çevre akıntı hızı  $k_y$  : y-yönünde türbülans difüzyon katsayısı

w : dane çökme hızı h : su derinliği

c: ortalama sediment konsantrasyonu şeklinde yazılır.

Bir (x', y') noktasındaki su yüzeyinden tabana uzanan sürekli çizgisel bir kaynak için (1) diferansiyel denkleminin çözümü;

$$c(x,y) = \frac{Q}{uh(4\pi k_y (x-x')/u)^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{(y-y')^2}{4k_y (x-x')/u} - \frac{w(x-x')}{hu}\right] \dots\dots\dots(2)$$

Şeklindedir. Burada, Q : birim zamanda suya geçen askıda sediment konsantrasyonudur.

(2) denklemini elde edilirken u,  $k_y$ , w, h ve Q parametrelerinin zaman ve mekandan bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte ise u,  $k_y$ , w zaman ve mekanın; h mekanın ve Q zamanın fonksiyonudurlar. Tarama işlemlerinin pek çoğunda konsantrasyonları ölçülebilen sediment bulutlarının bir kaç yüz metre mertebesinde kalan sınırlı bir uzaysal yayılım gösterdikleri görülmüştür. Danelerin bulut içinde askıda kalma süresi de oldukça kısadır (bir kaç saat kadar). Bu sayede, yayılma doğrultuları boyunca ortalamaları alınmış değişken parametre değerleri ve bulutta danelerin askıda kalma süreleri kullanılarak yarı-sabit bir kabul yapılabilir ve bulutun uzaysal yapısı belirli bir an için sınırlandırılabilir.

Tarama yeri x-y düzleminde çok yavaş değiştiğinden x' ve y' zamanın tam bir fonksiyonudur. Tarama işlemlerinde tarama yerinin x-y yönündeki ilerleyişi çevre akıntı hızından oldukça küçüktür ve böylece x' = 0 kabul edilerek x-x'=x alınabilir. Burada x ilk karışım bölgesinin dışında yer almalıdır. Yayılan disk modelinde y-y' değeri, dilimler bulut eksenine x-ekseni olacak şekilde ötelenince y olur. Böylece (2) denklemi;

$$c(x,y) = \frac{Q}{uh(4\pi k_y x/u)^{1/2}} * \exp\left[-\frac{y^2}{4k_y x/u} - \frac{wx}{uh}\right] \dots \dots \dots (3)$$

olarak yazılır. (3) denklemi boyutsuz hale getirilirse;

$$C(X,Y) = \frac{1}{X^{\frac{1}{2}}} \exp\left(-\frac{Y^2}{X} - X\right) \dots \dots \dots (4a)$$

elde edilir. Burada;

$$C(X,Y) = \frac{c(x,y)}{c_0} \dots \dots \dots (4b)$$

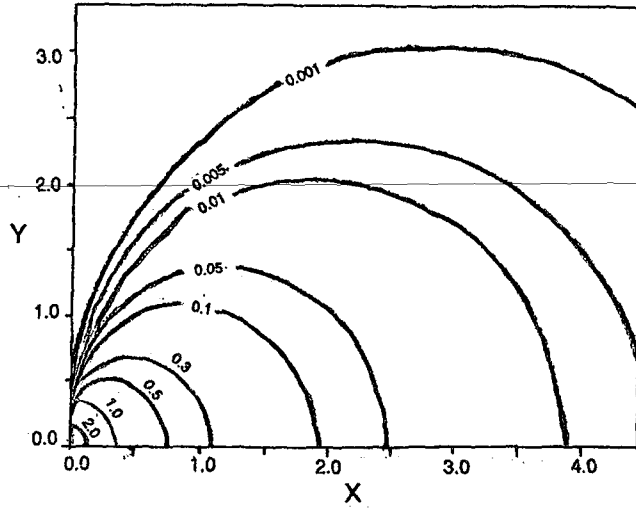
$$c_0 = \frac{Q}{uh(4k_y h/w)^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (4c)$$

$$X = \frac{wx}{uh} \dots \dots \dots (4d)$$

$$Y = \frac{y}{(4k_y h/w)^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (4e)$$

olmaktadır.

Yukarıdaki (4) denklemleriyle sediment bulutu özellikleri, uygun sediment konsantrasyonu ve mesafe ölçekleri ile universal bir denklemle tanımlanmaktadır. Bu denklemlerin seçilen sabit sediment konsantrasyonları için grafik gösterimleri Şekil 7.2 de görülmektedir.



Şekil 7.2. Sediment bulutundaki askıda sediment konsantrasyonları

### 7.2.2. Model Uygulamaları

#### 7.2.2.1. Modelin kalibrasyonu

(4) formülleri ile ifade edilen matematik model sediment bulutunun üç boyutlu özelliklerini vermesine rağmen, modelin kalibrasyonu için yeterli değildir.  $Q$ ,  $k_y$ ,  $w$  parametrelerinin doğrudan ölçümü her ne kadar imkansız değilse de bir çok durumda zordur. Bu parametrelerin değerleri belli olmadan boyutsuz sediment konsantrasyonu ve uzaysal koordinatlar arazi verilerinden belirlenemez. Bunun yerine, anılan parametrelerin değerlerini tayin etmek ve modelin geçerliliğini test etmek üzere bir kalibrasyon prosedürü geliştirilmiştir.

Modelin kalibrasyonu (3) formülünden hareket edilerek başlatılır. Bulut eksenini boyunca alınmış konsantrasyon ölçüm değerlerinden aşağıdaki boyutsuz katsayı geliştirilmiştir:

$$C^*(X^*) = \frac{c(x,0)}{c(x_r,0)} \dots \dots \dots (5)$$

Burada  $X^*$  değeri ele alınan bir  $x$  uzaklığının  $x_r$  referans uzaklığına bölümü ile elde edilen boyutsuz uzaklık katsayısıdır.

$$X^* = \frac{x}{x_r}$$

$c(x_r, 0)$  konsantrasyon değeri tarama mevkiinden  $x_r$  mesafesinde ölçülen bir referans değerdir. (3) denkleminin  $c(x, 0)$  ve  $c(x_r, 0)$  değerleri için yaklaşık formlarını (5) denkleminde yerine koymak suretiyle;

$$C^*(x^*) = \frac{1}{(x^*)^{\frac{1}{2}}} \exp(-W(x^*-1)) \dots \dots \dots (6a)$$

ve

$$W = \frac{Wx_r}{hu} \dots \dots \dots (6b)$$

denklemleri elde edilir. Bu durumda  $W$  parametresinin değeri, konsantrasyon ölçümleri ve kaynağa olan mesafeden tahmin edilmeye çalışılır. Bunun için (6a) formülünü aşağıdaki şekle dönüştürmek kolaylık sağlar:

$$\ln[(x^*)^{\frac{1}{2}} C^*] = -W(x^*-1) \dots \dots \dots (7)$$

(7) denkleminin sol yanı arazi gözlemlerinden kolaylıkla tahmin edilir; sağ tarafı ise  $-W$  eğiminde bir doğruyu gösterir. Bu durumda arazi ölçümlerinden elde edilen değerlerin diyagramı çizilir. Elde edilen noktalardan regresyon ile doğru geçirilir ve bu doğruyun denkleminde  $W$  değeri, buradan da efektif çökelme hızı  $w$  hesaplanır.

Yanal difüzyon katsayısı  $k_y$  değerini belirlemek için model  $y$  yönünde alınmış konsantrasyon dağılım ölçümlerine göre kalibre edilmelidir. (3) denklemi

$$C_1(x_1, Y_1) = \frac{c(x_1, y)}{c(x_1, 0)} = \exp\left(-\frac{Y_1^2}{4k_y/(x_1 u)}\right) \dots \dots \dots (8)$$

$Y_1 = \frac{y}{x_1}$  ;  $x_1$ : enlemesine konsantrasyon dağılımının gerçekleştiği yatay mesafe

şeklinde boyutsuzlaştırılır. (8) denklemini yeniden düzenlenirse;

$$-\ln C_1 = \frac{x_1 u}{4k_y} Y_1^2 \dots \dots \dots (9)$$

elde olunur. (9) denkleminin sol tarafı arazi ölçümlerinden çıkarılıp bir parabolle çizilebilir.  $k_y$  parametresinin değeri, parabol denkleminde ve  $x_1$ ,  $u$  değerlerinden hesaplanabilir. Belirlenen  $w$  ve  $k_y$  değerleriyle  $(X, Y)$  boyutsuz katsayıları sediment konsantrasyonu ölçümü yapılan her nokta için hesaplanır.  $c_0$  katsayısı  $C(X, Y)$  değerinden bulunur ve buradan  $Q$  (birim zamanda suya geçen malzeme miktarı) değerine geçilir [(4) denklemleri].

#### 7.2.2.2 Veri Toplanması

Türkiye'de tarama sırasında alınmış konsantrasyon ölçümleri bulunmamaktadır. ABD'de yapılmış ölçüm çalışmalarından edinilen tecrübelerle göre veri toplama esnasında dikkat edilecek hususlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Tarama mevkiinden mansap yönünde az sayıda noktada mesafeye bağlı olarak konsantrasyon düşüşleri kaydedilmesi toplanan verilerin değerlendirmeye alınamamasına sebep olur.
2. Sediment konsantrasyonu ölçümleriyle eş zamanlı olarak akıntı ölçümleri de yapılmalıdır.

3. Akıntı hızının çok düşük olması belirli bir yönde bulut oluşmamasına sebep olur ve akıntı yönündeki difüzyon kabulü geçersizleşir.

4. Bir ölçüm istasyonunda derinlik boyunca konsantrasyon değerlerinde iki mertebeden daha fazla değişim olması bu verilerin geçersiz kalmasına sebep olur.

5. Sediment bulutunun istikametini ve sınırlarını optik transmetre ile tayin ederek örnekleme mevkilerinin mümkün olabileceği kadar eksenle çakışmasını temin etmek için azami gayret sarf edilmelidir.

6. Örnekler tarama noktasından bir kaç yüz metre ötede alındığından model kalibrasyonu belirli bir anda çok sınırlı bir su parçasında gerçekleştirilir. Uniform akım ve sabit türbülans difüzyonu şartları gerçekleşmelidir.

7. Uniform derinlik şartının sağlanabilmesi için sediment bulutları tarama kanalı eksenini üzerinde yer almalıdır. (3) formülünde verilen model, sediment kaynağının yeri ve büyüklüğü de dahil olmak üzere bütün parametrelerin zamanla değişmediğini kabul eden yarı sabit bir yaklaşımdır.

#### 7.2.2.3. Sonuçlar

Konsantrasyon verilerinin boyutsuz hale getirilmesinde kullanılan referans sediment konsantrasyonunun ölçüldüğü  $x_r$  mesafesi, henüz sürekli bir bulutun meydana gelmediği ilk karışım bölgesi dışında alınmalıdır. Ayrıca bu  $x_r$  uzaklığı konsantrasyon değerlerinin ölçülemeyecek kadar küçük gerçekleştiği büyüklüklerde olmamalıdır.

Dane çökme hızı "w" W boyutsuz katsayısından hesaplanabilir. Modelden ve bağımsız tahminlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla modelin yeterliliği hakkında fikir sahibi olunabilir. Taramadan önce bölge zeminlerinin elek analizleri yapılarak medyan dane çapları, danelerin çökme hızları belirlenir. Bağımsız deney sonuçlarından bulunan dane çökme hızları model kalibrasyonundan elde edilenlerden bir miktar düşük çıkabilir. Arazide danelerin toplanmasının bu duruma sebep olabileceği düşünülebilir.

Çökelme hızı askıdaki malzemenin özelliklerini gösteren yegane model parametresidir. Zamandan ve mekandan bağımsız olduğu düşünülmüştür. Gerçekte değişik büyüklükte daneler değişik hızlarda çökelmekte, çevre akıntısındaki türbülans ve tabakalanma da dane çapı ve konsantrasyona bağlı olan efektif çökelme hızını etkileyebilmektedir. Bu yüzden model kalibrasyonundan elde edilen değerlerin buluttaki bütün danelerin davranışını temsil ettiği düşünülmelidir.

Dane çökelme hızlarının belirlenmesiyle boyutsuz  $X$  ve buradan  $c_0$  katsayıları her bir örnek için hesaplanabilir. Daha sonra  $Y=0$  için  $C-X$  diyagramı çizilerek konsantrasyon değişimleri gösterilir.

Suya geçen malzeme miktarı için yanıl difüzyon katsayısı  $k_y$  de bilinmelidir. Ne var ki modelin yanıl doğrultuda kalibrasyonu için yeterli veri çoğu zaman bulunmamaktadır. Bu sebepten  $k_y$  nin alt limiti olarak  $k_y = hu^*$  ( $u^* = k^*u$  ;  $k^* = 2.5 \cdot 10^{-3}$ ) değeri alınabilir.  $k_y$  katsayısının alt limiti ile bulunan malzeme miktarı pratikte kova-daki malzemenin %1.5-3'ü değerinden bir miktar düşük bulunur.

Modelin arazideki durumu temsil edebilmesi için örneklerin tam bulut ekseninden alınması, ayrıca akıntı yönüne dik dört veya daha fazla enkesitte numune alınması gerekir. Bu sayede, anlamsız sediment konsantrasyon değerlerinden kurtulanacağı gibi bulut eksenini de tanımlanabilir.

#### 7.2.2.4. Öneriler

Model vasıtasıyla yeterli nitelikte ve sayıda verinin mevcut olduğu durumlarda sediment bulutu başarılı bir şekilde tanımlanmaktadır. Uygun ölçek seçildiği takdirde  $C-X$  diyagramı ikinci dereceden bir parabol ile temsil edilmektedir. ABD'de gerçekleştirilmiş üç tarama çalışmasında (Black Rock Harbor, Bridgeport-Mayıs 1983; St. Johns River, Jacksonville-Şubat 1982; Thames River, New London 1977) elde edilen değerler ile  $w$  ve  $C$  parametrelerinin model ile hesaplanan değerlerinin aynı mertebede bulunması modelin geçerliliği için sağlam bir delil teşkil etmektedir.

Matematik modelin iki türlü uygulaması yapılabilir: Tarama kriterleri ve çevre akıntı özellikleri tahmin edilebiliyorsa sedi-



ment bulutu konsantrasyonunun kestirilmesinde kullanılabilir. Böylece bir tarama işlemi sonucunda çevredeki deniz canlılarına yapılabilecek tesirler tahmin edilir. Ayrıca model ile suya geçen malmeye miktarı ve tarama kriterleri, sediment bulutu içinde yapılan konsantrasyon ölçümlerinden faydalanmak suretiyle belirlenebilir. Bu sayede tarama işleminin kontrol altında tutulması ve gerekli müdahalelerin yapılması mümkün olabilir. Model ancak akıntının belirli bir yönde olduğu su kütlelerine ve tarama hızının mansaba doğru bir sediment bulutu oluşmasını sağlayacak kadar büyük olduğu tarama işlemleri ile sınırlı kalmaktadır.

### 7.2.3. Modelin Fethiye Limanı İçin Uygulanması

Fethiye Limanı içinde yapılacak tarama çalışmalarında yönlendirici olmak üzere liman içinde yer alan dört noktada alınmış akıntı ölçümü değerleri bulunmaktadır. Bu değerlerden, taranması planlanan sığ bölgenin sınırındaki bir noktadaki akıntı hızının derinlik boyunca ortalama 5 cm/sn alınabileceği görülmektedir.

Danelerin çökme hızı için arazi ölçümlerine dayanan değerler bulunmamaktadır. Deniz tabanı zemin örneklerinin -No:200 kısımları üzerinde yapılmış olan hidrometre analizlerinden elde edilen dane çaplarından 0.83 cm/sn ve  $3.49 \cdot 10^{-3}$  cm/sn arasında değişen çökme hızları bulunmuştur. Taban zeminlerinin tarama işlemi sırasında nasıl bir davranış göstereceğini önceden tahmin etmek güçtür ve ancak yerinde ölçümler ile model kalibrasyonundan bir değer elde etmek mümkündür. Topaklanma ve akıntı şartlarındaki değişimler danelerin çökme hızlarını kolayca değiştirebilir. Bu belirsizlikler dikkate alınarak modelin uygulanması  $w = 0.02 - 0.01 - 0.005$  m/sn çökme hızları için ayrı ayrı yapılmıştır. Taban zeminleri genelde kumlu, kumlu-siltli ve siltli zeminlerden olduğundan seçilen bu üç değişik dane çökme hızının pratikte gerçekleştirilecek değerlerden daha düşük olduğu, böylece emniyetli tarafta kalınacağı düşünülmüştür.

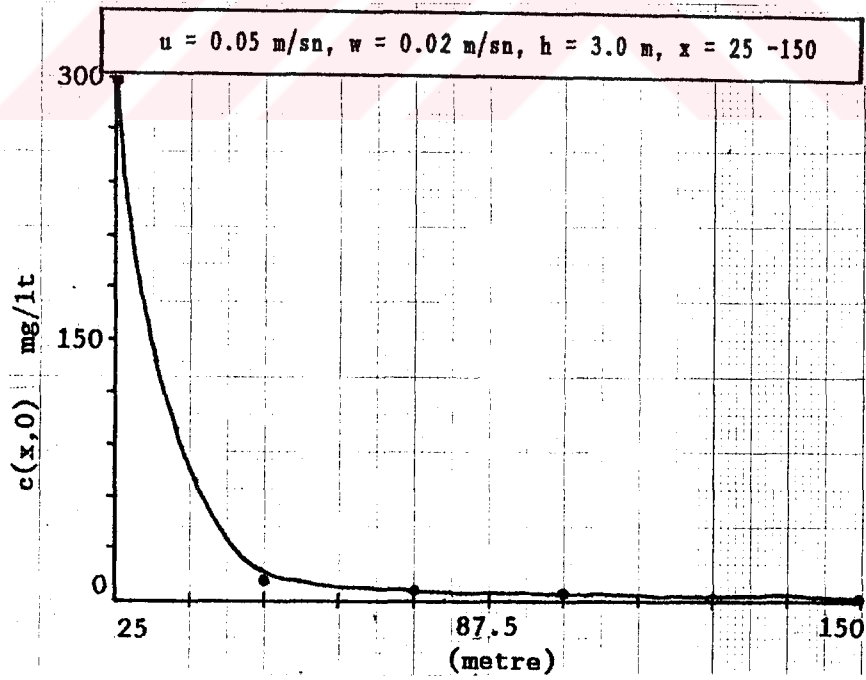
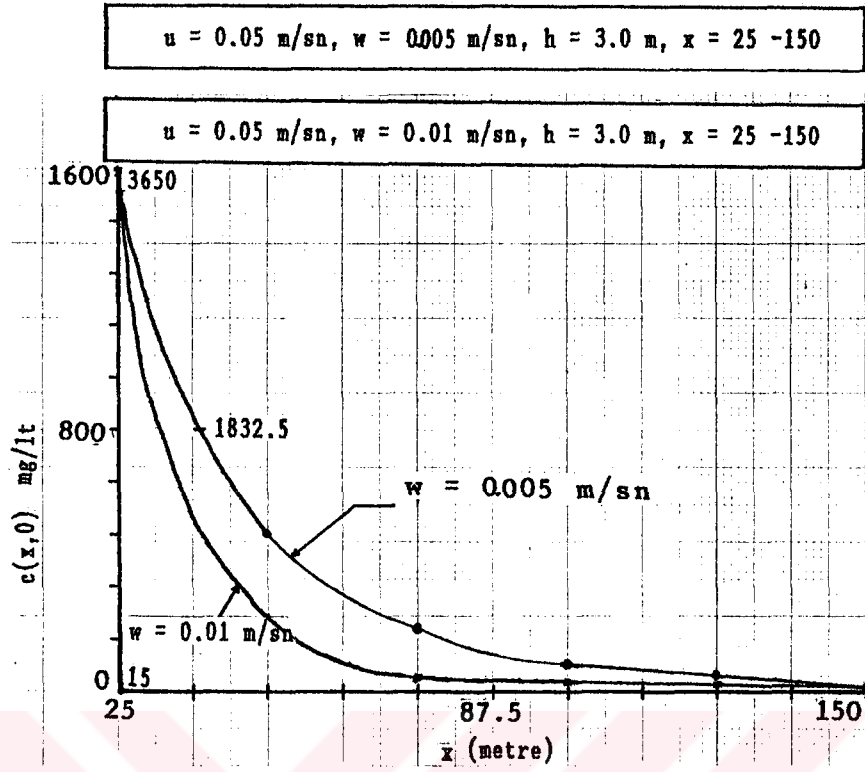
Yanal difüzyon katsayısı için  $k_y = hu^*$  alt limit değeri kullanılmış,  $u^* = k^* u$  ( $k = 2.5 \cdot 10^{-3}$  ve  $u = 5$  cm/sn) bağıntısından su derinliğine bağlı olarak  $k_y$  değerleri hesaplanmıştır.

Suya geçen malzeme miktarı (Q) için 8.64 kg/sn alınmıştır. Bu değer, tarama çalışmasında kullanılması düşüncülen Bahadır Kovalı Tarak Gemisi'nin 0.254 m<sup>3</sup>/sn lik tarama kapasitesi,  $\rho_s=1.7 \text{ t/m}^3$  lük birim hacim ağırlık ve kovadaki malzemenin % 2 sinin suya geçeceği kabulüyle elde edilmiştir.

Hesaplar tarama mevkiinden mansaba doğru her 25 m de bir olmak üzere 150 m mesafeye kadar yürütülmüştür (x=0-150). Bulut ekseni üzerindeki konsantrasyon değerlerini bulmak üzere y=0 alınmıştır.

Bu şekilde yapılan uygulama sonucu askısaki sediment konsantrasyonunun değişik w, h, u ve x değerleri için genelde x=25 - 75 m arasında hissedilir mertebelere çıktığı,  $w > 0.02 \text{ m/sn}$  olduğunda bunun x=25 m ile sınırlı kaldığı;  $w < 0.005 \text{ m/sn}$  halinde ise x=25-150 m lere ve daha yukarılara ulaştığı gözlenmiştir. Genelde ortalama bir durumu yansıtmak üzere  $w=0.01 \text{ m/sn}$  kabulü ile, c(x,0) değerinin  $u=0.05 \text{ m/sn}$ ,  $Q=8.64 \text{ kg/sn}$ ,  $h=3.0 \text{ m}$  alındığında x=75 m mesafeye kadar 30 mg/lt üst bulanıklık limitinin üzerinde kaldığı görülmektedir. h ve Q nun büyüyen değerleri ve w nın küçülen değerleri ile c(x,0) artmakta, u nun küçülen değerlerinde ise c(x,0) azalmaktadır. Modelin bu sınırlar içinde uygulanması neticesinde elde edilen çıktılarının c-x grafikleri  $u=0.05 \text{ m/sn}$ ,  $w=0.005-0.01-0.02 \text{ m/sn}$ ,  $h=3.0 \text{ m}$  için x=0-150 m aralığında şekil 7.2 de sunulmaktadır.

Model sonuçlarından tarama çalışması esnasında sediment bulutunun çevreye yayılmaması için önlem alınmasının gerekmediği görülmektedir. Maksimum sediment konsantrasyonu tarama mevkiinden 75 m mesafede gerçekleştiği için çevre kıyıların olumsuz etkilenmesi beklenmemektedir. Buna rağmen model sonuçlarının hassasiyetinin tarama çalışması sırasında konsantrasyon ölçümleriyle de tetkik edilmesinde fayda vardır. Zira hesaplar sırasında w dane çökme hızı için yapılan kabuller akıntı şartları ve danelerin topaklanması yüzünden arazide gerçekleşmeyebilir. Model için yapılan dane çökme hızı kabulleri bağımsız hidrometre sonuçlarına dayanmaktadır ve arazideki değerlerin yukarıda anılan tesirler nedeniyle daha yüksek çıkması, dolayısıyla bulanıklık kriterleri bakımından emniyetli tarafta kalınması beklenmektedir. Ne var ki gözlem yapılmadan kesin bir karar verilemeyeceğinden ölçüm yapılması tavsiye edilir.



Şekil 7.2. Askıdaki sediment konsantrasyonunun  $u, w, h, x$  ile değişimi

### 7.3. Tarama ve Dökü

Şekil 7.3'de sınırları belirtilen sığ deniz bölgesinde aşamalı olarak tarama sonrasında 4.0 m su derinliğine ulaşılması hedeflenmektedir. Gelecekte bu bölgenin yat limanı olarak değerlendirilmesi planlandığından, tarama işlemi bir yat limanı için minimum su derinliği olan bu seviyeye kadar yapılacaktır. Bu bölgenin tamamının -4.0 m taban kotuna indirilmesi durumunda takriben 5.000.000 m<sup>3</sup> tarama malzemesi çıkacaktır. Bu miktarda tarama çamurunun uzaklaştırılması için uygun döküm yeri bulmanın zor olması ve çok yüksek maliyet yüzünden, tarama işleminin sığ bölgenin kuzeyinde Çalış Mevkii'nden başlatılarak güneye doğru ilk üçte birlik bölgeyi içine alacak şekilde yat limanı inşaatı ile koordineli gerçekleştirilmesi akılcı olacaktır. Böylece üç etapta inşa edilecek yat limanının birinci etabı için tarama yapılmış olacaktır.

Tarama yukarıda anlatılan plan çerçevesinde yapıldığı takdirde ilk etapta en sığ kesim olan kuzeydeki birinci üçte birlik sahadan taranacak olan malzeme miktarı yaklaşık 2.500.000 m<sup>3</sup> olmaktadır.

Dip malzemesinin taranacak bölgenin hemen kıyısındaki Foça Bataklığı olarak bilinen bataklık saha ile dip faunası, batımetrisi ve oşinografik özellikleri müsait bir deniz bölgesine boşaltılması uygun olacaktır. Bir diğer çözüm ise belirlenecek bir kıyı bölgesinde lagün oluşturularak buranın izole edilmek suretiyle doldurulmasıdır. Bu son çözüm, geotekstil ve geosentetikler gibi yüksek teknoloji ürünü izolatörlerin kullanımını gerektirdiği ve yer seçimi için detaylı analiz şart olduğu için ayrı bir araştırma konusudur.

Foça Bataklığı halen yerleşim alanları içinde kalmış ve kısmen iskana açılmış durumdadır. Yaklaşık olarak 225.000 m<sup>2</sup> sahayı kaplamaktadır. Bataklık, yerleşim alanları içinde kaldığı için tamamen doldurulması ile sivrisinek oluşumu engellenebilecek ve arazi kazanılmış olacaktır. Bu bölgeye bilhassa sedimantasyon ile biriken 250.000 m<sup>3</sup> hacmindeki kumlu-siltli malzemenin boşaltılması geoteknik açıdan uygun olacaktır.

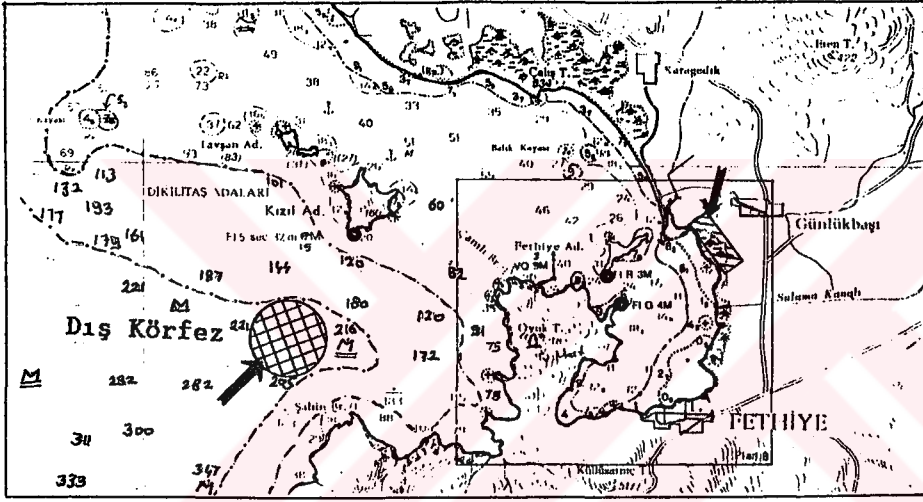
Deniz tabanı zemin örneklerinin özgül ağırlığı yüksek çıkan bir tanesinin üzerinde yapılan X-Ray analizi neticesinde S6 noktasında krom (Cr), manganez (Mn), nikel (Ni), stronsiyum (Sr) ve bakıra (Cu) rastlanmıştır. Taban zeminlerinin büyük bölümünün özgül ağırlıkları 2.75 ve daha yüksek bulgulanmıştır. X-Ray analizi ancak bir örnek üzerinde yapılabildiği için bir genelleme yaparak taranacak malzemenin bütünüyle yukarıda sayılan ağır metalleri içerdiğini söylemek mümkün değildir. Ancak bu bulgular, denize boşaltım esnasında titiz davranılması gerektiğini ve tarama safhasında detaylı ağır metal analizleri yapılmasının zorunlu olduğunu hatırlatmaktadır.

Gemile koyu açıklarındaki (Şekil 7.3) bölge tarama çamurunun minimum çevre tesiri oluşturarak boşaltılabileceği yakın çevredeki en uygun yer olarak görülmektedir. Zira bu saha mevcut oşinografik haritalara göre tabanı çamurla kaplı olarak görünmektedir. Yöre balıkçıları bu sahanın balık yuvalama bölgesi olmadığını söylemektedirler.

Taramadan çıkan malzemenin denize dökümü, bilhassa dökülecek malzeme kirlenmiş olması durumunda bir takım risk unsurları ihtiva etmektedir. Bu unsurların başlıcaları deniz suyuna zehirli atıkların geçerek deniz canlılarına zarar vermesi, dökü sahasındaki deniz tabanının çamurla kaplanması sonucu dip bitki ve hayvanlarının etkilenmesi ve döküm esnasında ve sonrasında malzemenin dökü sahası dışına taşınmasıdır.

Denize dökmenin olumsuz tesirlerinin en aza indirilmesi maksadıyla çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Taban yapısı ve canlı hayatı bakımından en uygun dökü bölgesinin seçimi şüphesiz yapılması gereken ilk çalışmadır. Dökülen malzemenin dökü mahallindeki davranışının matematik model kurularak tahmini ve model çıktılarının arazi deneyleri ile desteklenmesi bu araştırmaların odak noktasını oluşturmaktadır. Taranarak dökülecek malzemenin zemin parametrelerinin arazi ve laboratuvar deneyleri ile doğru bir şekilde belirlenmesi için yürütülen araştırmalar, dökü için kurulan matematik modelleri ve dökülen kirlenmiş malzemenin dökü sahasında temiz malzeme ile tutsaklanması üzerindeki araştırmaları destekler mahiyette olmaktadır. ABD ve Hollanda gibi büyük hacimlerde inşaat ve işletme

taraması yapılan ülkelerde yukarıda anlatılan konular üzerinde araştırmalar ilerlemiş ve tarama malzemesinin dökü mahallindeki davranışını irdeleyen başarılı matematik modeller kurularak bunların bilgisayar programları yazılmıştır. Matematik modellerin Türkiye'deki tarama çalışmalarına uygulanması ve programlarının yazılması için bu tez kapsamında yürütülen çalışmalar son aşamasına gelmiş, ancak henüz tamamlanmamıştır. Burada, geliştirilmiş olan ve ABD'de başarıyla uygulaması yapılmış bir modelin ana hatları anlatılacak, tarama bölümünün son aşaması olarak dökülecek malzemenin değişik granülometrilili temiz zemin ile tutsaklanması için yapılacak işlemler verilecektir.



Şekil 7.3. Muhtemel dökü mevkileri

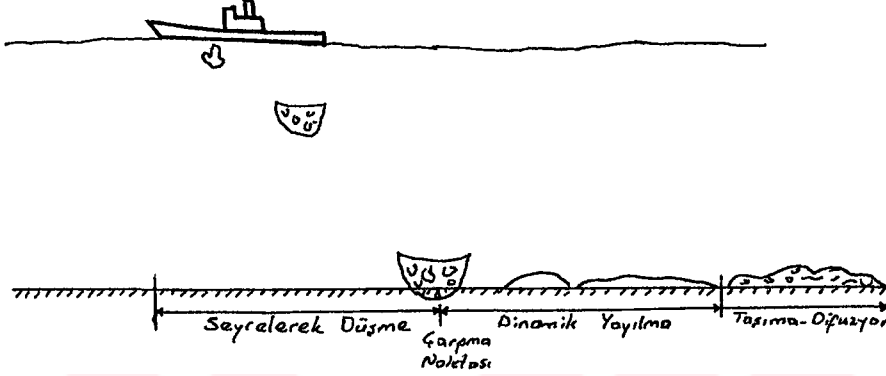
### 7.3.1. Tarama Malzemesinin Denize Dökümünü İrdeleyen Bir Matematik Model

Denize dökülen tarama malzemesinin dökü sahasındaki davranışını ele alan matematik modellerde gaye, malzemenin sınırları belirlenmiş dökü sahasının dışına taşıp taşmayacağını tahmin etmektir.

Mavnalardan ve deniz yüzeyindeki boru hatlarından denize bırakılan malzemenin kısa dönemdeki davranışını ele alan bir matematik model (Koh ve Chang, 1973) geliştirilerek (Brandsma ve Divoky, 1976) dökü işlemlerine uygulanmıştır. Model sonuçları ile uygulama sırasında yapılmış askıda katı madde konsantrasyon ölçüm sonuçları arasında uyum vardır.

### 7.3.1.1. Matematik Modelde Hesap Adımları

Modelde hesaplamalar üç aşamada yürütülebilir. Bu aşamalar seyrelerek düşme, tabanda dinamik yayılma ve taşınma-difüzyon olarak tanımlanabilir. Şekil 7.4 de dökü malzemesinin katettiği aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 7.4. Matematik modelde hesap adımları

#### Seyrelerek Düşme

Tarama malzemesinin denize bırakıldıktan sonra yarı küresel bir şekil alarak yer çekimi kuvvetinin etkisi ile deniz tabanına doğru düştüğü kabul edilir. Dökülen tarama malzemesindeki katı madde konsantrasyonu genellikle düşük olduğu için bulutun yoğun bir sıvı davranışını göstermesi beklenir. Bu durum kütle, momentum, yüzebilirliğin, katı maddenin ve vortisitenin korunumu denklemleri ile ele alınır:

\* Bulut kütlelerinin korunumu

$$\frac{d}{dt} (V_c \rho) = E \cdot \rho_a - \sum_i S_i \cdot \rho_i \dots \dots \dots (1)$$

\* Bulut momentumunun korunumu

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = F_j - \vec{D} + E \rho_a \vec{U}_a - \sum_i S_i \cdot \rho_i \vec{U}_i \dots \dots \dots (2)$$



\* Bulut yüzebilirliğinin korunumu

$$\frac{dB}{dt} = E[\rho_a(0) - \rho_a] - \sum S_i [\rho_a(0) - \rho_i] \dots \dots \dots (3)$$

\* Katı maddenin korunumu

$$\frac{dP_i}{dt} = -S_i \dots \dots \dots (4)$$

\* Vortisitenin korunumu

$$\frac{dK}{dt} = -A\epsilon \dots \dots \dots (5)$$

Yukarıdaki denklemlerde t: zaman;  $V_c$ : bulut hacmi;  $\rho$ : ortalama bulut yoğunluğu; E: deniz suyunun seyrelme hızı;  $\rho_a$ : derinlikle değişen deniz suyu yoğunluğu;  $S_i$ : Buluttan dışarı çıkan i. katı madde bileşeninin hacmi;  $\rho_i$ : katı madde yoğunluğu; M: bulut momentumu F: kaldırma kuvveti;  $\hat{j}$ : düşey doğrultuda birim vektör;  $\vec{D}$ : sürüklenme kuvveti;  $\vec{U}_a$ : akıntı hızı;  $\vec{U}$ : bulut hızı; B: relatif kaldırma kuvveti;  $\rho_a(0)$ : yüzeyde deniz suyu yoğunluğu;  $P_i$ : bulut içindeki i. katı madde bileşeni hacmi; K: bulut vortisitesi; A: dağılma katsayısı;  $\epsilon$ : deniz suyu yoğunluk gradyanı olmaktadır.

Vortisite hesapları deniz suyu seyrelme hızını veren denklemdeki seyrelme katsayısı  $\alpha$  yoluyla bulut hareketine etki etmektedir:

$$E = 2\lambda a^2 \alpha |\vec{U} - \vec{U}_a| \dots \dots \dots (6)$$

Burada a bulut yarıçapıdır. Sürüklenme kuvveti, kaldırma kuvveti ve seyrelme katsayısı gibi faktörleri içeren yardımcı denklemler yardımıyla 1-6 denklemleri dördüncü dereceden Runge-Kutta analizi ile çözülür. Seyrelerek düşme fazının sonunda hesaplanan bağımlı değişkenler dinamik yayılma aşamasının başlangıç şartlarını oluştururlar.



## Dinamik Yayılma

Seyrelerek düşme aşamasının sonunda bulutun düşeydeki hareketi sona ererek yatay doğrultuda dinamik yayılma başlar. Deniz suyu yoğunluğu ile bulut yoğunluğu arasındaki farkın yeteri kadar azalması durumunda bulutun su içinde askıda kalması ile yarı küresel bulutun yayvan sferoid şeklini alacağı kabul edilir. Deniz suyundaki tabakalanma sonucu etkisinin kaybolduğu kabulü ile vortisite ihmal edilecek olursa yarı küresel şekil için kullanılan denklemler bu kez yayvan sferoid için yazılır. Deniz tabanında yayılma durumunda tek fark tabandaki sürtünme kuvvetinin dikkate alınması ve bulutun elipsoid şeklini aldığı kabul edilmesidir. Seyrelerek düşme aşamasındaki sayısal analiz yöntemi burada da uygulanır.

## Taşınma - Difüzyon

Dinamik yayılma aşamasında yatay yayılma hızı tahmin edilen türbülans difüzyon hızından küçük olduğu zaman bu aşama sona erer. Bu aşama esnasında katı daneler çökme hızına bağlı olarak çöklerler. Bu danecikler ana malzeme kütlelerini terkederken Gauss dağılımı ile tanımlanan bulutçuklar halinde kümelenirler:

$$c_c = \frac{m}{(2)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right]\right\} \dots (7)$$

$c_c$  = askıda katı madde konsantrasyonu ;  $m$  = toplam bulut kütlesi

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  = standart sapmalar ;  $x, y, z$  = uzaysal koordinatlar

$x_0, y_0, z_0$  = bulut ağırlık merkezinin koordinatları

Her zaman aralığı sonunda her bir bulutçuk akıntı tesiri ile yatay doğrultuda ötelenir. Ötelenme ya da taşınımın yanı sıra bulut yatay ve düşey doğrultuda türbülans difüzyonunun sonucu olarak genişler. Yatay difüzyon 4/3. kuvvet kanunu esas alınarak açıklanır ve difüzyon katsayısı  $K_{x,z}$  aşağıdaki şekilde yazılır:

$$K_{x,z} = A_L \cdot L^{4/3} \dots \dots \dots (8)$$

$A_L$  = dağılma katsayısı ;  $L$  = standart sapmanın dört katı

Bulutun yatayda genişlemesini veren  $\sigma_{x,z}$  ifadesi ise;

$$\sigma_{x,z,yeni} = \sigma_{x,z,eski} \cdot \left(1 + \frac{44}{3} \frac{2}{3} \frac{A_L \Delta t}{\sigma_{x,z,eski}}\right)^{3/2} \dots \dots \dots (9)$$

şeklinde yazılır. Burada  $t$  = hesap zaman aralığıdır.

Düşey yöndeki genişleme benzer şekilde Fickian ifadesi ile elde edilir:

$$\zeta_y = (2K_y t)^{1/2} \dots \dots \dots (10)$$

$K_y$  = düşey difüzyon katsayısı ;  $t$  = bulutun oluşumundan bu yana geçen zaman

(10) denkleminde

$$\frac{d \zeta_y}{dt} = K_y (2K_y t)^{-1/2} = \frac{K_y}{\zeta_y} \dots \dots \dots (11)$$

yazılır ve bu denklem de aşağıdaki forma sokulur:

$$\sigma_{yyeni} = \sigma_{yeski} \left(\frac{K_y}{\sigma_{yeski}}\right) \Delta t \dots \dots \dots (12)$$

Burada  $K_y$  su kütlesi içindeki tabakalanmanın bir fonksiyonudur.  $K_y$  en yüksek değerine su yoğunluğu üniform olduğu zaman ulaşır ve model girdilerinden biridir.

Belirli bir zaman aralığı sonunda uzun dönemdeki davranış incelendiğinde, su yüzeyi üzerinde kurulan bir ağ sistemi içindeki her noktada bütün zemin bileşenlerinin konsantrasyonları, ayrı ayrı bulutçukların toplamı şeklinde (7) denklemi vasıtasıyla hesaplanır.

### 7.3.1.2. Matematik Model'de Sınırlamalar, Girdiler ve Çıktılar

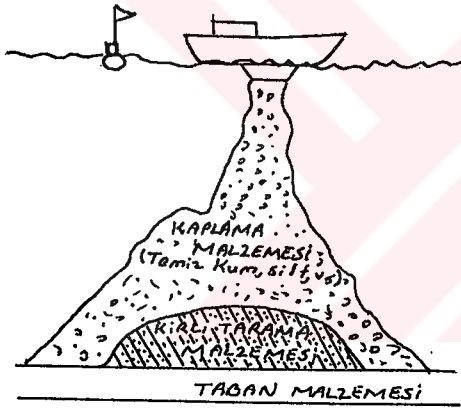
**Sınırlamalar:** Matematik model, dökülen malzemenin hareketini suda aşağı inerken, deniz tabanında yayılırken ve akıntı etkisiyle askıda sediment olarak taşınırken simüle eder. Döküm, malzeme yarı küresel bir bulut halinde düşecek şekilde ani olarak yapıldığı kabul edildiği için, malzemenin dökümün yapıldığı araçtan toplam çıkış süresinin tabana erişmesi için gerekli süreden uzun olmaması gerekir. Taranan malzeme, çökme hızları belirlenmiş zemin grupları ile temsil edilmelidir. Bir çok durumda malzemenin önemli bir kısmı, çökme hızları 30 cm/sn'den 60 cm/sn değerleri arasında olabilen iri topraklar halinde dibe iner. Böyle durumlarda topraklar karakterize edilemediklerinden model sonuçları güvenilir olmaz. Malzeme kohezyonlu olmadıkça çökme hızı sabit kabul edilir. Kohezyonlu malzeme döküldüğü takdirde, çökme hızı konsantrasyonun fonksiyonu olarak hesaplanır. Önemli bir sınırlama da malzeme bir kere çökeldikten sonra bir daha askıya kalkmayacağıdır. Bu yüzden model, dökülen malzemenin erozyona uğramayacağı zaman dilimlerinde uygulanmalıdır. Bu teorik kabul sebebiyle model ile malzemenin kısa dönemli davranışının açıklanması sınırlı olmaktadır.

**Girdiler :** Dökü sahasındaki çevre şartlarına bağlı olarak model girdileri, üç boyutta değişen tabakalı akıntı alanlarını ele alan hidrodinamik model çıktıları olabileceği gibi toplam 20-25 satırlık bir veri kütüğü de olabilir. Girdiler; 1. Dökü sahasındaki çevre şartlarının tanımlanması, 2. Tarama malzemesinin özelliklerinin belirlenmesi, 3. Döküm işlemini tanımlayan veriler, 4. Model katsayıları, olmak üzere dört ana başlık altında gruplandırılabilir.

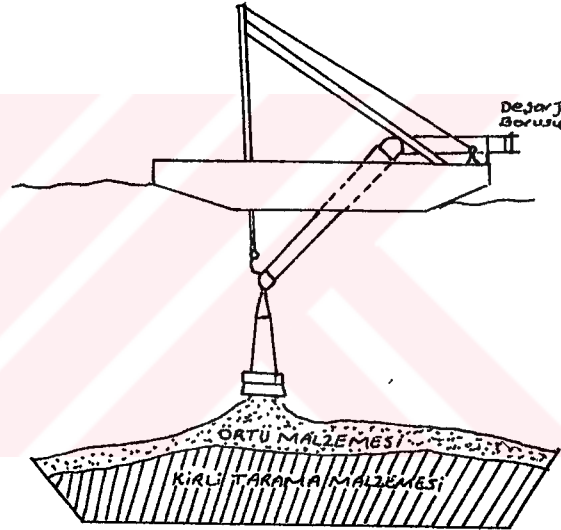
**Çıktılar :** Modelin bilgisayar simülasyonu sonucunda, bulut ağırlık merkezinin koordinatları, ağırlık merkezinin hızı, bulut boyutları, bulut ve deniz suyu arasındaki yoğunluk farkı, zemin bileşenlerinin toplam hacim ve konsantrasyonları zamanın bir fonksiyonu olarak malzeme denize bırakıldıktan sonra seyrelerek düşme ve dinamik yayılma aşamalarının bitiminde; askıda sediment konsantrasyonu ve tabanda biriken malzeme miktarı taşınma-difüzyon hesapları sırasında bulunur.

### 7.3.2. Denize Dökülen Tarama Malzemesinin Dökü Sahası İçinde İzole Edilmesi

Deniz dibine dökülen kirli tarama malzemesinin döküldüğü sahada temiz izolasyon malzemesinin örtülerek dağılımının engellenmesi için iki yöntem kullanılmaktadır (Clifford ve diğerleri,1989). Genelde tarama malzemesi döküm yöntemlerinden farklı olmayan bu metodlarda, döküm işleminin planlanması ve yürütülmesi değişiklik göstermektedir. Zira burada gaye tarama malzemesi içindeki kirlilik unsurlarının çevreye yayılmasının engellenmesi, dolayısıyla tabanda oluşturulan toprak yığınının uzun dönemli stabilitesinin sağlanmasıdır. Bu yöntemlerden örtü malzemesinin deniz yüzeyinden dibe bırakılması Şekil 7.5.a'da, su altından denize bırakılması Şekil 7.5.b'de gösterilmektedir.



Şekil 7.5.a. Yüzeiden bırakma



Şekil 7.5.b. Su altından bırakma

Örtü malzemesinin yüzeiden dökümü düz ya da çok düşük eğimli doğal deniz tabanı üzerindeki tarama malzemesinin izole edilmesinde tercih edilir. Bu yöntemde, üzeri örtülecek tarama malzemesinin örtü malzemesinin düştüğü sırasında dağılmayacak mekanik özelliklere sahip olması istenir. Örtü malzemesinin su altında denize bırakılması yönteminde deniz tabanına yakın bir noktaya deşarj borusu indirilerek, malzeme kontrollü bir şekilde tarama malzemesinin üzerine yayılır. Burada, örtü malzemesinin döküm esnasında tarama malzemesi üzerindeki etkisi çok daha yumuşak olduğu ve kontrollü döküm yapıldığı için su altında döküm yöntemi tarama malzemesinin mekanik

özelikleri ve taban batımetrisi dolayısıyla örtme işleminin daha kontrollü yapılması gerektiğinde kullanılır. Ayrıca kontrollü döküm sebebiyle birinci yöntem nazaran önemli oranda malzeme tasarrufu sağlanmaktadır.

Malzeme dökümünden önce yapılması gereken ön araştırmalar beş madde halinde sıralanabilir:

1. Dökü sahası batımetrisinin (taban tesviye eğrileri) belirlenmesi
2. Akıntı özelliklerinin (şiddet ve yön) belirlenmesi
3. Ortalama su derinlikleri
4. Tuzluluk / sıcaklık (yoğunluk) tabakalanmalarının belirlenmesi
5. Operasyon şartlarının (konum / uzaklık, dalga ve rüzgar) bilinmesi

Döküm sahası seçimi yukarıda verilen araştırmalarda elde edilen verilerin bir optimum noktada birleştirilmesiyle yapılır. Burada göz önüne alınan en önemli mühendislik kriteri kirlenici unsurların deniz suyuna geçişinin önlenmesidir.

#### 7.3.2.1. Planlama Esasları

**Malzeme seçimi :** Oluşturulacak örtü tabakasının sızdırmaz hale getirilmesinde belirleyici faktör malzemenin yapısı ve tabaka kalınlığıdır. Genelde asal, kimyasal aktif ve sentetik kaplama olmak üzere üç türlü örtü malzemesi kullanılmaktadır (Shields ve Montgomery, 1984). Kimyasal aktif maddeler ve sentetik kaplama malzemelerinin bazı üstün yanları olmasına rağmen su altında uzun dönemde stabilitelerinin ne şekilde oluştuğuna dair yeterli bilgi mevcut değildir. Bu yüzden asal örtü malzemelerinin (temiz kum, silt) kullanımı daha uzun bir süre devam edecek görünmektedir. Çoğu zaman dökü sahalarına yakın bölgelerden temiz kum ve silt malzemenin rahat bir şekilde temin edilebilmesi asal örtü malzemelerinin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

**Kirlenici unsurların izolasyonu :** Asal sedimentin örtü malzemesi olarak yeterliliği çeşitli model deneylerinde araştırılmıştır. Yüksek oranda kil ve silt içeren malzemenin yalnız temiz kumdan ibaret örtü malzemesinden daha iyi sızdırmazlık sağladığı ortaya konmuştur (Brannon ve diğerleri, 1985). Şüphesiz, değişik kirlilik unsurları ihtiva eden malzeme üzerinde çeşitli örtü malzemesi kombinasyonları denenerek en uygun malzemenin belirlenmesi gerekir.

Efektif tabaka kalınlığı, örtü malzemesinin tarama malzemesine nüfuz etmediği kabul edilerek belirlenmelidir. Örtü kalınlığı döküm sırasında zok hassas bir şekilde belirlenemediğinden minimum kalınlık pratik olarak 1.0 m alınır.

Örtü tabakasının stabilitesi : Örtü tabakasında kullanılan sedimentin özellikleri, tabakanın taban akıntıları ile erozyona uğrayarak taşınmamasını sağlamalıdır. Sedimentin dane dağılımı (kum, kil ve silt yüzdeleri), kıvam limitleri ve kayma mukavemeti parametreleri stabilite tahkiklerinde bilinmesi gereken özelliklerdir. Kohezyonlu malzemeler erozyona karşı kohezyonsuzlardan daha mukavimdirler ve sızdırmazlığı daha iyi sağlarlar. Ancak sadece kil ve siltten oluşan kohezyonlu malzemenin taşınması ve tabaka halinde yayılması güçlükler arzettiğinden, düşükten orta plastisiteye silt-kum kombinasyonlarının kullanımı uygun olmaktadır. Örtü tabakasının aşınması analitik yöntemler, fiziksel-sayısal modeller ve arazi ile laboratuvar ölçümleri kullanılarak tahmin edilir. Bu tahmin yöntemlerinin her birinde dikkate alınan en önemli nokta yeniden askıya kalkma ve sürüklenmedir. Ne var ki halen kesin kabul görmüş bir tahmin yöntemi olmadığından, elde edilen sonuçların gözlemlerle de desteklenmesi gerekir.

## 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fethiye Limanı Türkiye'deki bazı körfez ve haliçler gibi çeşitli çevre sorunlarıyla yüz yüze bulunmaktadır. Fethiye bu konuda, benzer problemlerle boğuşan İzmir, İzmit, Bandırma körfezleri ve Haliç gibi diğer kapalı sulardan daha şanslı durumdadır. Zira Fethiye'de problem erken teşhis edilmiş ve henüz iş isten geçmeden konu kamuoyunun gündemine muhtelif sempozyum ve konferanslar ile gelmiştir. Problem, Fethiyelileri olduğu kadar yörenin büyük turizm potansiyeli açısından doğrudan veya dolaylı olarak ülkemizdeki bir çok özel ve tüzel kişiyi yakından ilgilendirmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan testlerden, toplanan verilerden, arazi etüdülerinden ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak öneriler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Fethiye Limanı coğrafi mevkii nedeniyle kapalı su niteliğinde bir körfezdir. Liman içinde akıntı hızı oldukça düşüktür. Kısa kabarma mesafeleri dolayısıyla dalga yükseklikleri oldukça düşük tahmin edilmektedir. Bu tahminler yöre denizcilerinin ifadeleriyle de teyid edilmektedir. Limana refraksiyon ve difraksiyon ile girecek dalgaların tahmini bu çalışmada yapılmamıştır. Gerek duyulduğunda bu hesaplar da yapılmalıdır. Limanın bünyesinde oluşacak kirliliği kendi kendine temizleme potansiyeli oldukça zayıf görünmektedir. İnşaatı planlanan Fethiye hidroelektrik santralının temiz kuyruk suyunun T2 Tahliye Kanalı vasıtasıyla Liman'a verilmesi burada deniz suyu kirliliğini azaltıcı etki yapacaktır. Bu kuyruk suyu debisinin  $2 \text{ m}^3/\text{sn}$  olacağı ifade edilmektedir ki (DSİ Yetkilileri) bu değer senelik 63 milyon  $\text{m}^3$ 'lük bir debiye karşılık gelmektedir. Bunun manası yaklaşık 60 milyon  $\text{m}^3$  su hacmine sahip olan Liman suyunun senede bir kere değişmesi demektir. Ancak bu takdirde meydana gelecek tabakalı akımlar ve akıntı rejimindeki değişiklikler çok dikkatli analiz edilmelidir (Akyarlı A., 1992).



2. DSİ derivasyon ve tahliye kanallarının işletmeye açıldığı 1959 yılından bu yana Limana sediment taşınımı söz konusudur. Yağışlı mevsimlerde söz konusu olan yatak malzemesi ve iri daneli malzeme taşınımı yanında kil ve silt boyutundaki ince daneli malzemenin Limana girişi çeşitli kaynaklardan kesintisiz sürmektedir. Batımetrik haritaların karşılaştırılması yoluyla Liman'ın doğu yarısında-ki Çalış Mevkii'nde sediment birikimi yaklaşık olarak 250.000 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu değer, havza erozyonu hesapları ile bulunan değer ile (havza erozyon malzemesinin bir kısmının Murt Beli Derivasyon Kanalı yatağında biriktiği kabul edilirse) uyum içindedir. 32 senelik bir zaman aralığı dikkate alındığında 250.000 m<sup>3</sup> hacminde sediment birikimi büyük bir rakam değildir. Ne var ki Fethiye Limanı zaten çok sığ bir körfez olduğundan bu mertebede bir birikime dahi tahammül edilemez. Sediment kaynağı olan akarsuların havzaları aslında ormanlık olduğundan buralarda alınacak uygun tedbirlerle sedimantasyon büyük ölçüde kontrol altına alınabilir. Nitekim, DSİ Susambeleni, Çerçi, Eldirek ve diğer derelerde inşa edilmek üzere çeşitli tip ve boyutta tersip bentleri, taban kuşakları ve ıslah sekilerini yatırım programına almıştır. Toplam sayısı 30 adet olan bu yapıların inşasıyla Limana kaba dane taşınımı büyük ölçüde durdurulacaktır. İnce daneli malzeme taşınımının azalması için öncelikle malzemenin kaynağında kesilmesi yoluna gidilmelidir. Yörede faaliyet gösteren Etibank'a ve iki özel şahsa ait toplam 3 adet krom cevheri işleme tesisinden deşarj olan sular Murt Beli'ne mansap olmaktadır. Bu tesislerden söz konusu su deşarjlarıyla Limana silt boyutundaki krom cevheri posası da taşınmaktadır. Bu nedenle tesisler mümkünse başka bölgeye nakledilmeli, mümkün değilse kanal enkesitlerine geçirgen geosentetik perdeler yerleştirilmek suretiyle askıda katı maddelerin çökmesi sağlanmalıdır. Bu yöntem 1970'li yılların sonundan itibaren Japonya'dan başlayarak kullanım alanı bulmuştur (Rankilor P. R., 1992). Ayrıca aynı yöntem havzalarda erozyon kontrolü maksadıyla da kullanılabilir. Buraya kadar anlatılan tedbirlere ilave olarak, sığ bölgede inşa edilebilecek deniz yapılarını korumak üzere Çalış Mevkii'nde halen oldukça sığ olan lagün 4.0 m derinliğe dek taranmak suretiyle 250.000 m<sup>3</sup> hacminde bir sediment kapanı oluşturulabilir ki böyle bir hacim



feyezanlarda taşınacak sedimenti rahatlıkla karşılar. Önerilen yöntemlerin geçerliliği her şeyden önce verilen sediment taşınım miktarlarının doğru olmasına bağlıdır. Havza erozyon miktarlarının havzalardan alınacak toprak örneklerine ve yerinde belirlenecek katsayılara göre hesaplanması, doğal ve yapay mecralarda sediment ölçümlerinin yapılması ve deniz tabanında biriken sediment hacminin Oşinografi Daire'sinden alınacak 1/1000'lik paftalar kullanılarak çıkarılması uygulama safhasında gerçekleştirilmesi gereken mühendislik çalışmalarıdır. Bu çalışmada belirlenen deniz tabanı değişimleri zemin mekaniği bulgularıyla doğrulanmasına ve gerçekçi olmasına rağmen, daha geniş imkanlara dayanan araştırmalar yapılmamıştır.

3. Fethiye Limanı'na DSİ kanalları yoluyla toksik maddeler taşınmaktadır. Konsantrasyonları ve canlı hayatına yaptığı olumsuz etkileri Bölüm 5. ve 6. da verilen bu toksik maddeler, deniz suyunu kirletmesinin yanı sıra deniz tabanı zeminlerine de nüfuz edebilir. En önemli toksik madde kaynakları, krom cevheri işleme fabrikaları, şehir kanalizasyonu ve dere yataklarına atılan çeşitli çöp ve artıklardır. Krom fabrikalarından, Limana krom içeren atık suların deşarj edilmesine mani olunmalıdır. Bölgede zirai ilaç kullanımı sınırlandırılmalı ve kontrol altında tutulmalıdır. Kanalizasyon sularının tahliye kanallarına boşalması, engellenmesi gereken diğer bir kirlilik oluşturuucu unsurdur. Bunlar yapılmadığı takdirde Fethiye Limanı gitgide kirlenecektir. Hali hazırda burada su sporları İlçe Sağlık Teşkilatı tarafından yasaklanmış durumdadır.

3. Sığ deniz bölgesinin taranması sırasında taban zeminlerinin tarak gemisine herhangi bir engel çıkarmaması beklenmektedir. Buna rağmen deniz tabanında kumtaşı ve konglemeranın olup olmadığı derin sondajlarla incelenmelidir. Sondajlardan biri Murt Beli Derivasyon Kanalı'nın hemen ağzında kumtaşı izlenimi veren bir formasyon üzerinde, ikincisi oşinografi haritalarında görülen topuklarda yapılmalıdır. Bu sondajların dışındaki bölge, eşit aralıklı derin sondajlarla taranabilir.

4. Tarama sırasında meydana gelecek bulanıklık 25-150 m arasında sınırlı kalacağı için malzemenin etrafa yayılmasını önlemek üzere silt perdesi kullanmaya gerek yoktur. Tarama malzemesinin kumlu kısmının Çalış Mevkii'nde eski Foça Bataklığı'ndan geriye kalan bölüme dökülerek dolgu malzemesi olarak kullanımı mümkün olabilir. Geriye kalan bölüm yakın çevrede uygun bir yerde karaya dökülebilir. Ancak böyle büyük hacimde dökü yeri olarak kullanılabilen bir yer haritada görünmemektedir. Belirlenecek bir bölgede kıyıda bir lagün oluşturarak malzemenin tabakalar halinde dökülmesi uygun bir alternatif olabilir. Yalnız böyle bir çözüm, pahalı izolasyon malzemeleri gerektireceği ve nakliye masraflarını artıracığından yüksek maliyet getirecektir. Dökü yeri olarak gerekli özellikleri taşıyan bir deniz bölgesine boşaltım yapılması, Türkiye şartlarında belki en uygun çözümdür. Bunun için böyle bir bölgenin balık yuvalama bölgesi olmaması, taban topoğrafyasının ve oşinografik şartların elverişli olması gerekir. Fethiye bölgesinde anlatılan özellikleri haiz ve tarama yerine en yakın olan bölge, Dış Körfez'de yer almaktadır. Şekil 7.3'de daire içinde gösterilen bölge tabanı haritalarda çamur ile kaplı gösterilmektedir. Yöre denizcileri buranın balık yuvalama bölgesi olmadığını söylemektedirler. Uygulama aşamasında bölgenin oşinografik ve batimetrik özellikleri ayrıntılı olarak etüd edilmelidir. Malzeme döküldükten sonra çevreye yayılmaması için alınması gereken önlemlere, tarama malzemesi içinde bulunan toksik madde konsantrasyonları belirlendikten sonra karar verilmelidir.

5. Sığ Bölge'nin taranmasından sonra bu bölgede kıyı çizgisinin kararlı bir yapıya kavuşturulması için yat limanı inşaatı uygun bir çözüm olabilir. Limanın doğu yarısındaki bütün sığ bölgede kapasite en az 1000 yattır (Özerden A., 1992). Bu bölgenin yat limanı olarak kullanılabilmesi için gerekli navigasyon derinliğine inilmesi gerekeceğinden, bölgenin temizlenmesi için yapılacak tarama işleminin yat limanı inşaatı ile eşzamanlı yürütülmesi rentabl olacaktır. Bu sayede tarama işleminin finansmanı inşaat maliyetleri içinden karşılanabilecek ve bölgenin periyodik taranması yat limanı işletme giderlerine dahil edilebilecektir.

6. Sedimentasyona maruz kalan bölge ile buranın kıyı çizgisi iyi bir planlama ile oldukça ilginç turizm projelerine sahne olabilir. DSİ kanallarının yarararak geçtiği kara kesiminde bu kanallar birleştirilerek ve yenileri açılarak buraya bir kanal şehir kurulabilir. Arazi yapısı böyle bir proje için oldukça uygundur. Murt Beli Derivasyon Kanalı tekne gezintileri ve iç bölgede kurulacak konaklama ve eğlence merkezlerine ulaşım için çok uygun bir güzergah haline getirilebilir. Sahil şeridinde tesis edilecek mini tren ile ilçe merkezine ulaşım sağlanacağı gibi önemli bir turistik çekicilik oluşturulur. Motorlu taşıtların meydana getirdiği gürültü ve hava kirliliği bu yolla önlenir (Özerden A., 1992).

7. Fethiye İlçesi ve yakın çevresinin ülke ekonomisi için taşıdığı önem su götürmez bir hakikattir. Fethiye Limanı'nın ve dolayısıyla bölgenin vitrini konumundaki ilçe merkezinin maruz kaldığı çevre problemleri artarak sürdüğü takdirde uzun vadede halk sağlığı açısından ciddi problemler ortaya çıkacaktır. Yaklaşık dört kilometre uzunluğunda büyük ekonomik değeri olan bir sahil şeridinin kullanılmayarak atıl kalması meselenin diğer cephesini oluşturmaktadır.

Fethiye Limanı belki de yurdumuzda çok geç kalınmadan çevre sorunları ele alınan ilk kapalı körfez özelliğini taşımaktadır. Bu şirin tatil beldesinin İzmir ve İzmit körfezleri gibi elden çıkmış yörelere benzemesi istenmiyorsa gerekli çalışmalar hemen başlatılmalıdır.

Konu çok boyutlu olduğundan ilgili kuruluşlar arasında koordinasyonun sağlanması yapılacak işlerin en başında gelmektedir. Fethiye Belediyesi, DSİ, DLH, Orman Genel Müdürlüğü ve üniversitelerin ilgili birimleri arasında oluşturulacak çalışma grupları ile tekrara kaçılmadan hızlı ve etkili projeler üretilebilir.

Problemlerin çözüm yoluna girmesinde atılacak en önemli adım yöre sakinlerine konunun önemi ve kaçırılan fırsatların büyüklüğünün anlatılması olacaktır. Ancak bu sayede kamuoyunda gerekli çevre suuru oluşacak ve karar mercileri çözüm için teşvik edilebilecektir. Bu konuda en büyük görev basın-yayın organları ile Fethiye'li aydınlara düşmektedir.

## REFERANSLAR

- Atalay, I., 1978, I. Ulusal Erozyon ve Sedimentasyon Sempozyumu, DSİ, Ankara, S. 60-70
- Clifford L., T., 1989, Considerations for Capping Subaqueous Dredged Material Deposits, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 115, No.6, November, ABD, S.741-757
- Akyarlı, A., 1992, Şahsi görüşme, Fethiye Körfezi'nin Sorunları ve Çözümleri Sempozyumu, Fethiye - Muğla
- DSİ, 1992, Yayınlanmamış Zemin, su ve havza etüd raporları ve batımetrik haritaları, DSİ Araştırma Merkezi, Ankara
- Doğan, O., Güçer, C., 1976, Su Erozyonunun Nedenleri-Oluşumu ve Universal Denklem ile Toprak Kayıplarınının Saptanması, Topraksu, Ankara
- EÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1979, İller Bankası İçin Yapılan Deniz Deşarjı Araştırma ve Tatbikat Projesi Birinci Faaliyet Raporu, Genel Esaslar, İzmir
- EÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1980, İller Bankası İçin Yapılan Deniz Deşarjı Araştırma ve Tatbikat Projesi Fethiye Belde Çalışmaları Raporu, İzmir
- EÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1982, İller Bankası İçin Yapılan Fethiye Deniz Deşarjı Araştırma ve Tatbikat Projesi Nihai Proje İzmir
- Johnson, H., B., 1988, Dredged Material Disposal in Puget Sound, ASCE, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 114, No.6, November, ABD, S. 700-713
- Kayalar, A., Ş., Ülküdaş, M., E., 1985, Muğla-Fethiye Turizm ve Otel İşletmeciliği Lise Binası Geoteknik Etüd Raporu, DEÜ, İzmir
- Kayalar, A., Ş., Ülküdaş, M., E., 1990, Fethiye-Günlükbaşı Kanalizasyon Sisteminde Karşılaşılan İnfiltrasyon Olayına Ait Geoteknik Etüd Raporu, DEÜ, İzmir

Kuo, A., Y., Hayes, F., D., 1991, Model for Turbidity Plume Induced by Bucket Dredge, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.117, No.6, November/December, ABD, S.610-623

Özerden, A., 1992, Şahsi görüşme, Fethiye Körfezi'nin Sorunları ve Çözümleri Sempozyumu, Fethiye - Muğla

Rankilor, P., R., 1992, An Overview of Geosynthetics Engineering for Waste Disposal, Environmental Geotechnology, Usmen A., A.A. Balkema, Rotterdam, Hollanda, S.577-591

Shore Protection Manual, 1984, CERC, ABD, S.4-67

T. Dnz. K.K. Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi, 1987, Fethiye-Kaş Haritası, Pafta Nu.313, İstanbul

Türkiye'nin Çevre Sorunları, 1989, TÇSV, S.65, 69, 70, 73, 74, 246, 273, Ankara

Williams, R., J., Berndt, D., H., 1972, Sediment Yield Computed with Universal Equation, ASCE Journal of the Hydraulics Division Vol.98, No.HY12, December, ABD, S.2087-2097

#### Genel Referanslar

Brannon, J., M., 1985, Effectiveness of Capping in Isolating Contaminated Dredged Material From a Biota and the Overlying Water, Tech., Report D-78-7, USA Army Eng. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., ABD

Brandsma ve Divioky, 1976, Developments of Models for Prediction of Short-Term Fate of Dredged Material Discharged in the Estuarine Environment, Report D-76-5, USA Army Eng. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., ABD

Koh ve Chang, 1973, Mathematical Model for Barged Ocean Disposal of Wastes, EPA-660/2-73-029, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, ABD

DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Shields ve Montgomery, 1984, Fundemantals of Capping Contaminated  
Dredged Material, Proc., Conf., Dredging '84, ASCE, New York, N.Y  
S.446-460

Wischmeier, W. H., 1960, A Universal Soil Loss Equation to Guide  
Conservation Form Planning, 7 th International Congress of Soil  
Science, Madison, Wisconsin, ABD

