

**ÇÖZÜLEBİLEN MADDELERİN DALGA ETKİSİYLE  
BOYUNA TÜRBÜLANS DİFÜZYONU VE DİSPERSİYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Abdüsselam ALTUNKAYNAK**  
(501980102011)

100957

100957

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Mayıs 2000**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 2000**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Emin SAVCI**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU**

**Prof. Dr. Cem AVCI (B.Ü.)**

(3.7.2000)

(3.7.2000)

(3.7.2000)

**Haziran 2000**

## **ÖNSÖZ**

Bu çalışma, günümüzde hayati önem taşıyan su kaynaklarının korunması için, denize deşarj edilen kirli maddelerin dalga etkisiyle yayılımını, deneysel olarak belirleyebilmek amacıyla yapılmıştır. Atık bulutunun, deniz ortamında boyutlarının ve konsantrasyonunun önceden belirlenebilmesi için dalga etkisiyle yayılımı karakterize edilmelidir.

Tez çalışmalarım boyunca değerli vaktini bana ayırıp, benden yardımlarını esirgemeyen değerli ve saygıdeğer hocam Prof. Dr. M.Emin SAVCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. M.Emin KARAHAN'a, Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na, fikirlerini benimle paylaşan sevgili hocam Prof. Dr. Yılmaz MUSLU'ya, deneysel çalışmalarımda bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. İbrahim DEMİR'e ve Doç. Dr. Kadir ALP'e, diğer çalışmalarımda bana destek olan arkadaşlarım Dr. Hüseyin BAYRAKTAR'a, İnş. Müh. Mehmet ÖZGER'e, İnş. Müh. M. Barış MANDEV'e, ISO Uzmanı Murat KILIÇ'a, yurtdışından makale temininde bana yardımcı olan ve halen A.B.D.'de master eğitimi gören sevgili arkadaşlarım Ömer BEĞENDİK ve Ahmet ÇELİK'e şükranlarımı sunarım.

**Haziran 2000**

**İnş. Müh. Abdüsselam ALTUNKAYNAK**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                              | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                         | v               |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                         | vi              |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                        | vii             |
| <b>ÖZET</b>                                                                  | ix              |
| <b>SUMMARY</b>                                                               | x               |
| <b>1. DENİZLERE DEŞARJ VE DALGA ETKİSİ</b>                                   | 1               |
| <b>1.1. Giriş</b>                                                            | 1               |
| <b>1.2. Dalgalar Sebebiyle Oluşan Akıntılar</b>                              | 2               |
| <b>1.3. Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi</b>                             | 3               |
| 1.3.1. Dispersiyon İçinde Yer Alan Fiziksel Süreçler                         | 3               |
| 1.3.2. Farklı Bölgelerin ve Önemli Sürelerin Tarifi                          | 5               |
| <b>1.4. Atıksuların Deniz Ortamında Seyrelmesi</b>                           | 7               |
| <b>1.5. Dalgalarla Madde İletimiyle İlgili Önemli Yaklaşım ve Çalışmalar</b> | 8               |
| <b>2. DALGA HAREKETİNİN MEKANİKLERİ</b>                                      | 31              |
| <b>2.1. Giriş</b>                                                            | 31              |
| <b>2.2. Dalga Mekaniği</b>                                                   | 31              |
| 2.1.1. Genel                                                                 | 31              |
| 2.1.2. Dalga Temelleri ve Dalgaların Sınıflandırılması                       | 32              |
| <b>3. DALGA KIRILMASI</b>                                                    | 56              |
| <b>3.1. Giriş</b>                                                            | 56              |
| 3.1.1. Kırılmayı Önemli Kılan Sebepler                                       | 56              |
| 3.1.2. Dalga Kırılmasında Farz Edilen Varsayımlar                            | 57              |
| <b>3.2. Batimetri İle Genel Kırılma</b>                                      | 57              |
| 3.2.1. Grafik Metot                                                          | 64              |
| 3.2.2. Nümerik Metot                                                         | 65              |
| 3.2.3. Deniz Dalgalarının Kırılması                                          | 66              |

|                                                         | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|---------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>4. DENEY</b>                                         | 69                     |
| <b>4.1. Deneyin Yapılışı</b>                            | 69                     |
| <b>4.2 Durgun Su Ortamında Yapılan Deney Sonuçları</b>  | 75                     |
| <b>4.3 Dalgalı Su Ortamında Yapılan Deney Sonuçları</b> | 91                     |
| <b>4.4 Dispersiyonun Dalga Özellikleri İle Değişimi</b> | 109                    |
| <b>5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME</b>                     | 111                    |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                        | 114                    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                         | 118                    |



## TABLO LİSTESİ

|                    | <b><u>Sayfa No</u></b>                          |
|--------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Tablo 2.1.</b>  | Ağırlık dalgalarının sınıflandırılması          |
| <b>Tablo 4.1.</b>  | Durgun Ortamda 1. Deney Serisi                  |
| <b>Tablo 4.2.</b>  | Durgun Ortamda 2. Deney Serisi                  |
| <b>Tablo 4.3.</b>  | Durgun Ortamda 3. Deney Serisi                  |
| <b>Tablo 4.4.</b>  | Durgun Ortamda 4. Deney Serisi                  |
| <b>Tablo 4.5.</b>  | Durgun Ortamda 5. Deney Serisi                  |
| <b>Tablo 4.6.</b>  | Durgun Ortamda 6. Deney Serisi                  |
| <b>Tablo 4.7.</b>  | Dalgalı Ortamda 1. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.8.</b>  | Dalgalı Ortamda 2. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.9.</b>  | Dalgalı Ortamda 3. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.10.</b> | Dalgalı Ortamda 4. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.11.</b> | Dalgalı Ortamda 5. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.12.</b> | Dalgalı Ortamda 6. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.13.</b> | Dalgalı Ortamda 7. Deney Serisi                 |
| <b>Tablo 4.14.</b> | Dispersiyonun Dalga Özellikleri ile Değişimi I  |
| <b>Tablo 4.15.</b> | Dispersiyonun Dalga Özellikleri ile Değişimi II |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                   | <b>Sayfa No</b>                                                  |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1</b>  | :Tokai-Mura denizinde ölçülen difüzyon katsayıları               | 25 |
| <b>Şekil 2.1</b>  | :Dalga özelliklerinin gösterimi                                  | 33 |
| <b>Şekil 2.2</b>  | :Yüzey dalgalarının sınıflandırılması                            | 36 |
| <b>Şekil 2.3</b>  | :Temel, sinüzoidal ve ilerleyen dalganın tanımı                  | 37 |
| <b>Şekil 2.4</b>  | :Yerel akışkan hızları ve ivmeleri                               | 43 |
| <b>Şekil 2.5</b>  | :Sığ ve derin su dalgaları için su partikülünün yer değiştirmesi | 47 |
| <b>Şekil 2.6</b>  | :Lineer (Airy) Dalga Teorisi'nin ve dalga özelliklerinin özeti   | 52 |
| <b>Şekil 2.7</b>  | :Çeşitli dalga teorilerinin geçerli olduğu bölgeler              | 54 |
| <b>Şekil 2.8</b>  | :Stokes'un 2. Derece profili ile Lineer profilin kıyaslanması    | 55 |
| <b>Şekil 3.1</b>  | :New York, Westhampton Sahili'ndeki dalga kırılması              | 60 |
| <b>Şekil 3.2</b>  | :Dalga kırılma şablonu                                           | 62 |
| <b>Şekil 3.3</b>  | :Dalga yönü ve yüksekliğindeki değişimler                        | 63 |
| <b>Şekil 3.4</b>  | :Kırılma şablonunun kullanılması                                 | 67 |
| <b>Şekil 3.5</b>  | :Düz bir sahil boyunca kırılma                                   | 68 |
| <b>Şekil 3.6a</b> | :Bir sualtı eşliğindeki kırılma                                  | 68 |
| <b>Şekil 3.6b</b> | :Bir sualtı vadisindeki kırılma                                  | 68 |
| <b>Şekil 3.7</b>  | :Düzensiz bir kıyı çizgisi boyunca kırılma                       | 68 |
| <b>Şekil 4.1</b>  | :Tecrübede kullanılan sıvı verme aleti I                         | 73 |
| <b>Şekil 4.2</b>  | :Tecrübede kullanılan sıvı verme aleti II                        | 74 |

## SEMBOL LİSTESİ

|              |                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|
| $\delta$     | : dalga dikliği                                                      |
| $\alpha$     | : katsayı                                                            |
| $\Delta p_0$ | : deşarj edilen sıvı ile çevredeki akışkan arasındaki yoğunluk farkı |
| $a$          | : dalga amplitüdü                                                    |
| $a$          | : dalga genliği                                                      |
| $A$          | : kaybolma parametresi                                               |
| $B$          | : deşarj yapılan delik genişliği                                     |
| $B$          | : enjektör genişliği                                                 |
| $B_0$        | : dalga yaşı                                                         |
| $C\mu(F)$    | : amprik bir katsayı                                                 |
| $C'(z)$      | : çalkantılı dalga hareketi ile değişen konsantrasyon                |
| $C(z)$       | : düzenli akımlarla değişen konsantrasyon                            |
| $C$          | : dalga ilerleme hızı                                                |
| $D$          | : sabit difüzyon katsayısı                                           |
| $F_e$        | : Feç uzunluğu                                                       |
| $f_p$        | : pik frekans değeri                                                 |
| $g$          | : yerçekimi ivmesi                                                   |
| $H$          | : dalga yüksekliği                                                   |
| $h$          | : su derinliği                                                       |
| $H_s$        | : etkili dalga yüksekliği                                            |
| $K$          | : birim kütle için türbülans kinetik enerjisi                        |
| $k$          | : dalga numarası                                                     |
| $K$          | : ilgili bölge katsayısı                                             |
| $K_a$        | : Von Karman sabiti                                                  |
| $L$          | : dalga boyu                                                         |
| $L_x$        | : atık bulut boyutu                                                  |
| $N$          | : coliform katsayısı                                                 |
| $p_0$        | : deşarj edilen sıvının yoğunluğu                                    |
| $Q$          | : deşarj hacmi                                                       |
| $r$          | : Langrangian koordinatlarının bir fonksiyonu                        |
| $s$          | : kaynaktan kütle transfer hızı                                      |
| $S_p$        | : seyrelme                                                           |
| $T$          | : peryot                                                             |
| $t_D$        | : rüzgar esme süresi                                                 |
| $u$          | : suyun yatay hızı                                                   |
| $U$          | : kayma hızı                                                         |
| $u_0$        | : deşarj hızı                                                        |

|                          |                                                        |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| $u_s$                    | : yüzeysel akıntı                                      |
| $w$                      | : dairesel frekans                                     |
| $w_p$                    | : spektral pik                                         |
| $X$                      | : deşarj uzaklığı                                      |
| $x_f$                    | : fe uzunluğu                                          |
| $Y$                      | : deşarj derinliği                                     |
| $z$                      | : kartezyen koordinatlar                               |
| $z$                      | : derinlik                                             |
| $\alpha$                 | : açı                                                  |
| $\alpha$                 | : karışım katsayısı (Phillips katsayısı)               |
| $\Delta h$               | : karışım uzunluğu                                     |
| $\varepsilon$            | : K'nın dağılıp yok olma hızı                          |
| $\eta(t,x)$              | : su yüzeyi                                            |
| $\theta$                 | : jet eğimi                                            |
| $\lambda$                | : yoğunluk profilinin hız profili genişliklerine oranı |
| $\sigma$                 | : varyans                                              |
| $\sigma_x^2, \sigma_y^2$ | : varyans                                              |
| $\sigma_{xy}^2$          | : kovaryans                                            |
| $\nu$                    | : kinematik viskozite                                  |
| $\theta$                 | : Faz açısı                                            |
| $\rho$                   | : kütle yoğunluğu                                      |
| $k$                      | : dalga sayısını                                       |
| $\zeta$                  | : karışım boyu                                         |
| $k$                      | : kinetik enerjisi                                     |
| $p$                      | : potansiyel enerjisi                                  |
| $p_a$                    | : atmosfer basıncı                                     |
| $p^i$                    | : toplam veya mutlak basınç                            |
| $W$                      | : açılal dalga frekansı                                |
| $U_{10}$                 | : yüzeyin 10 metre üstündeki rüzgar hızı               |

$\overline{u_s}$  : artık akımlar

$\overline{u_t}$  : gel-git akımları – (gel-git hareketleri)

$\overline{q_w}$  : orbital hız vektörü

$\iint f_{\sigma'uz}$  : spektral çevrinti difüsiyesi (dalgalardan dolayı)

$\overline{u_w}$  : dalga etkili akım – (fırtına olayları)

$\overline{u_o}$  : ortalama akım – (denize ait sirkülasyonlar ve büyük çevrintiler)

# **ÇÖZÜLEBİLEN MADDELERİN DALGA ETKİSİYLE BOYUNA TÜRBÜLANS DİFÜZYONU VE DİSPERSİYONU**

## **ÖZET**

Doğal güzelliğe ve kaynaklara sahip olan denizlerin önemi günümüzde daha da iyi anlaşılmaktadır. Son yıllarda denizlerin bilinçsizce kirletilmesiyle bu imkanlar yok olmaya yüz tutmuştur. Kısıtlı olan doğal kaynakların yalnız bugünler için olmadığı da herkesçe bilinmektedir.

Bu çalışmanın amacı denizlere yapılan deşarjların oluşturduğu kirliliklerin dalgalarla nasıl iletiliğinin incelenmesidir. Deniz şartlarının önemli bir elemanı olan dalgaların atık tarlasının dispersiyonunda önemli bir rolü vardır. Çalışmada atık tarlasındaki atıkların dalga etkisi altında nasıl bir mekanizmayla taşındığı belirlenmiştir.

Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde dalgaların dispersiyon üzerindeki etkisiyle ilgili çalışmalar kritik edilmiştir. Yapılan literatür çalışması sonunda bu konu üzerinde çok az sayıda çalışma olduğu görülmüştür.

İkinci ve üçüncü bölümde dalga hareketi mekaniği ve dalga kırılması olayı hakkında bilgi verilmiştir. Dalgaların özellikleri, tanımlar ve dalgaların hareketine ait bir takım teoriler bu bölümde sunulmuştur.

Dördüncü bölümde ise dalgalarla madde iletimi üzerinde bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Durgun su ortamındaki madde iletimi ile dalgalı su ortamındaki madde iletimi kıyaslanmıştır.

Dalgalı su ortamında maddenin daha hızlı iletileceği ve yüksek derecede bir seyrelme olacağı sonucuna varılmıştır. Yine aynı bölümde, dalga etkisiyle nasıl bir taşınım mekanizması olduğu yapılan testler sonucunda belirlenmiştir. Tatbikatta da en uygun deşarj derinliğinin tespiti son derece önemlidir.

Atık maddenin emniyetli bir derinlikte kalacağı ve yeterli bir seyrelme yapacağı deşarj derinliği araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda en uygun deşarj derinliğinin, su derinliğinin %69'u oranında olduğu bulunmuştur. Dalga hareketinin artmasıyla atık tarlasının dağılımı gözlenmiştir. Dalga dikliğinin artırılması sonucunda iletimin hızlandığı gözlenmiştir.

Beşinci bölümde ise deneysel çalışmalarda bulunan sonuçların bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu sonuçların geçmişte muhtelif araştırmacılar tarafından ortaya konulan bazı sonuçlar ile uyum içinde olduğu görülmüştür.



# **TURBULENT DIFFUSION AND DISPERSION OF SOLUBLE MATTERS BY MEANS OF WAVES**

## **SUMMARY**

The importance of the natural beauty and the resources of the seas are most understood these days. In recent years unconscious contamination of the seas has resulted in the vanishment of these resources. It is a well-known fact that these limited natural resources are not only confined to present days.

The aim of this study is to examine the mode dispersion of the contaminants formed as a result of discharges to the sea. Waves; the important elements of sea condition, have a crucial influence in the dispersion of the wastefields. In this study the transport mechanism of the waste matter within the wastefield, under the wave influence is determined.

The study consists of five main sections. In the first section, the effects of the waves over dispersion is criticised. Literature study has revealed the fact that too little studies were conducted on this particular issue.

In the second and third sections, information is given on the wave motion mechanics and wave refraction. This is the section where the characteristics of the waves, definitions and theories associated with wave motions are given.

In the fourth section, consequent experimental studies are conducted on matter transport via waves. Comparisons are made with the respect to the matter transport in stagnant water versus unstilled wavy water.

It has been concluded that the faster transport of matter and higher dillution occur in nonstill wavy water medium. Again in the same section with reference to the

experiments conducted the transfer mechanism under the influence of waves is specified. In practice, it is very important to determine the most suitable discharge depth.

The depth in which the waste matter is to remain securely and the adequate discharge depth in which satisfactory dillution is to be achieved was investigated. With regards to experiments conducted; the most suitable discharge depth was found to be 69% of the water depth. It has been observed that wastefield dispersion range is related with the increasement of the wave motion. Increasing the wave steepness has resulted in an increase in the transportation of the matter.

In the fifth section an assesment of the results found in the experimental studies has been done. These results were found to be in harmony with some of the results found in the past by various different investigators.



## 1. DENİZLERE DEŞARJ VE DALGA ETKİSİ

### 1.1. Giriş

Dünya yüzeyinin takriben % 70'i okyanus ve denizlerle kaplıdır. Toplam su hacmi 1.35 milyon km<sup>3</sup> olan okyanusların ortalama derinliği 3800 m.dir. Deniz biliminin ulaştırma, balıkçılık, iklim, jeofizik, su ve enerji dengesi, güvenlik ve ekolojik bakımdan önemi eski çağlardan beri bilinmektedir. Denizler, su ürünleri, su sporları, turizm ve ulaşım gibi nimetlere ilaveten soğutma suyu temini ve atıklar için alıcı ortam teşkili yoluyla endüstriyel ve mesken maksatlı kullanımlara da imkan vermektedir. Denizlerden en iyi şekilde yararlanmak ancak bu eşsiz kaynağın yeterince korunması ile mümkündür.

Sahile yakın kesimde denizler iki bölgeye ayrılır. Bunlardan biri kıta sahanlığı diğeri ise kıta çukurudur. Kıta sahanlığı; sahil çizgisi ile deniz tabanının eğiminin aniden arttığı kıta eşiği arasındaki kısımdır. Dünya okyanuslarının % 7,5'ini kaplayan kıta sahanlığının ortalama genişliği 78 km, derinliği ise 133 m.'dir. Genel olarak 130 m derinliğe kadar olan sahil kesimi kıta sahanlığı olarak kabul edilmektedir. Atıksu deşarjları ise kıta sahanlığı olarak adlandırılan bu kısmın 75 m.'yi geçmeyen derinliklere kadarki sığ sularına yapılmaktadır.

Denizler, okyanuslara nispetle daha küçük, tuzlu su ortamlarıdır. Genellikle etrafları kara parçaları ile çevrili olup okyanuslara bağlantıları vardır. Haliç ve körfezlerle kara parçalarının içlerine kadar sokulurlar. Etrafı karalarla çevrili olan iç denizlerde, okyanuslar veya açık denizlerle irtibatı sağlayan boğazların hidrografik özellikleri, bu denizlerin su kalitesi, akıntı iklimi ve diğer karakteristiklerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, kapalı bir deniz olan Akdeniz'in yılda ancak toplam su miktarının % 1'i bağlandığı deniz ile karışır.

Sahil suları ile ilgili diğeri bir terim de dalga kırılma bölgesidir. Dalga kırılma bölgesi; sahile doğru ilerleyen dalgaların sığlaşma sonucu kırılarak, periyodik

yapılarını kaybedip bütün enerjilerini bıraktıkları dalga kırılma derinliği ile sahil arasındaki kısımdır. Atıksu deşarjlarının bu bölgenin dışına yapılması istenir.

Atıksuyun denize deşarjından sonra ortaya çıkacak süreçlerin tanımlanmasında akıntıların rolü büyüktür. Bir yerdeki akıntıların gerçek değeri ve değişimi yukarıdaki esas faktörlere ilaveten Koriolis kuvveti, sürtünme, deniz taban topografyası ve benzeri tali etkenlerle de yakinen ilişkilidir. Akıntılar su hareketine sebep olan temel etkenlere göre aşağıdaki gibi ele alınabilirler.

- Yoğunluk akıntıları
- Gel-git akıntıları
- Rüzgar akıntıları
- Dalgalar sebebiyle ortaya çıkan akıntılar
- Dipsuların yenilenmesi yoluyla düşey karışım (upwelling)

## **1.2. Dalgalar Sebebiyle Oluşan Akıntılar**

Denizler üzerinde esen rüzgarın hızına, kabarma mesafesine ve esme süresine göre dalgalar oluşur. Dalgalı bir denizde, akışkan parçacıkları belirli bir düşey kesit boyunca derinliğe bağlı olarak eliptik veya dairesel yörüngeler çizerler. Akışkan parçacıklarının hızları, derinlikle üssel olarak azaldığı için ardışık iki dalga periyodunda akışkan parçacıkları sahile doğru bir miktar hareket ederler. Böylece dalganın ilerleme yönünde bir kütle transferi söz konusu olur. Dalgalar sonucu oluşan akıntıların net hızları nispeten düşük olmakla birlikte bu yolla özellikle dalga kırılma bölgesine önemli nispette su girişi sağlanır. Dalgaların sahile bir açı ile gelerek kırıldığı kıyı bölgelerinde dip eşiği ile sahil arasında, su kütlesi transferinden dolayı oluşan hidrolik yük, sahile paralel akıntılara ve geri dönüş (rip) akıntılarına yol açar. Deniz tabanı profilinin periyodik olarak değişimi bu kısma dönecek boru hatlarının emniyetini önemli ölçüde etkiler.

Sahil yerleşim birimlerinin atık suları iki şekilde denize deşarj edilir.

- 1- Sahile çok yakın mesafeden, denizin alçak su seviyesi altından deşarj (sığ deşarj)
- 2- Çevre Mühendisliği bakımında gerekli şartları sağlayacak şekilde hesaplanan belirli bir derinlikten deşarj (derin deniz deşarjı)

Her iki durumda da atıksu deşarjının halk sağlığı, denizin estetik görünümü ve ekolojik yapısı üzerindeki tesirleri çok iyi değerlendirilmelidir. Deşarjın yapılacağı su ortamının oşinografik ve ekolojik özelliklerine bakılarak deşarj öncesi arıtmanın seviyesi belirlenir.

### **1.3. Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi**

Uzun bir deşarj hattı ile denize verilen atıksuların içindeki kirlilik üç değişik yolla seyreltilir.

- 1- Atıksuyun deşarj borusu ucundan çıkarak su yüzeyine erişmesi veya belli bir seviyede batmış vaziyette kalması sırasında seyrelmesi. Buna ilk seyrelme denir (ilk karışım safhası).
- 2- Su yüzeyine ulaşan ve belli bir derinlikte batmış vaziyette duran atıksu tarlasının boyuna dispersiyon etkisi ile yatay istikamette yayılıp, açılarak seyrelmesi. Buna ikinci seyrelme denir (uzak bölge safhası)
- 3- Atıksu su içerisindeki korunamayan türden unsurların 1. ve 2. deki fiziksel seyrelmelere ilaveten zamanla biyolojik olarak ayrılmaları, güneşin radyasyon tesiri ve çökelen maddelerle sürüklenme yoluyla uğradıkları ilave seyrelme.

#### **1.3.1. Dispersiyon İçinde Yer Alan Fiziksel Süreçler**

İlk olarak atıkların dispersiyonuna etkiyen faktörlere bir göz atalım.

Atık için:

- Orifisten çıkış hızı
- Yoğunluk
- Atık tipi

Alıcı ortam için:

- Su yoğunluğu
- Su derinliği
- Gel-git ve artık akımlar
- Türbülans ve karakteristikleri
- Meteorolojik şartlar
- Deniz yatağının morfolojisi

Çıkış orfisinin şekli ve yönü, katı sınırların (kıyı sınırları, platform ayakları) bulunması gibi diğer bazı parametreler de deşarj edilen sıvının hareketini etkileyecektir.

Deşarjdan sonra atık çeşitli süreçlerden geçecektir. Bunlar başlangıç seyrelmesi, yumaklaşma, dispersiyon, süspansiyon, çökeltme, türbülans ve difüzyondur.

Başlangıç Seyrelmesi: deşarj edilen sıvının alıcı ortamdaki sıvı ile karışmasıdır. Bu süreç iki akışkan arasındaki yoğunluk farkı ve jet ile alıcı ortam arasındaki kesme kuvveti sayesinde oluşur.

Yumaklaşma: İnce asılı maddelerin birbirleri arasındaki çekim kuvveti sayesinde bir araya gelip yeni bir şekil oluşturmasıdır.

Süspansiyon: bir sıvı ile içindeki çökelmeyen, ince katı maddelerin oluşturduğu karışımdır.

Çökeltme: Parçacığın göreceli olarak aşağı doğru ilerlemesidir.

Birikme: Parçacıkların deniz yatağına yığılmasıdır.

Türbülans: Yerel hızların ve basınçların belli bir değer etrafında düzensiz olarak gidip gelmesidir.

Dispersiyon: Çok ince parçacıkların bir ortam içinde dağılmasıdır.

Difüzyon: Moleküllerin veya atomların düzensiz termal hareketlerinden dolayı hareket etmesidir. Bu süreç katılarda en yavaş, sıvılarda biraz daha hızlı (viskoziteye bağlı), gazlarda ise en hızlıdır.

$$\text{Dispersiyon} = \text{Difüzyon} + \text{Adveksiyon}$$

### 1.3.2. Farklı Bölgelerin ve Önemli Süreçlerin Tanımı

Su kolonunu farklı üç bölgeye bölebiliriz. İlk önce bu üç bölgenin tanımı yapılmıştır.

- 1- Yüzey Tabakası: Bu tabaka meteorolojik ve gel-git olaylarından etkilenir. Bu tabakada dalga hareketi, gel-git akımları, termoklin ve pinoklin göz önünde tutulmalıdır.
- 2- Geçiş Tabakası: Diğer iki tabakanın üst üste binmediği zaman ortaya çıkan tabakadır.
- 3- Taban Tabakası: Su akımı ile yatak (bu seferlik su geçirmediği kabul ediliyor) arasındaki sürtünmeden etkilenir. Bu tabakanın kalınlığı deniz akımlarının hızına, su derinliğine ve deniz yatağının morfolojisine bağlıdır.

İkinci olarak 3 farklı safha incelenecektir.

- Yakın Bölge Safhası: İlk karışmanın ve seyrelemenin olduğu safhadır. Burada başlangıçta sahip olunan kinetik enerji, alıcı ortam ile jetin türbülanslı karışımına harcanır. Bu sırada kaldırma kuvveti (pozitif veya negatif) alıcı ortamlarla karışmaya ve seyrelmeye devam eden atık tarlasını aşağıya veya yukarıya doğru yönlendirir. Hala bir kinetik enerjinin mevcut olduğu durumlarda jet deyimi, sırf kaldırma kuvvetinin etkin olduğu durumlarda ise plume deyimi kullanılır.
- Orta Bölge Safhası: Plume dengeye ulaştığı zaman (veya deniz tabanına) çökme safhası başlar. Bu noktada artık, yatay yayılım baskın hale gelir.

- Uzak Bölge Safhası: Çevre şartlarının atık hareketini yönlendirdiği bölgedir. Araştırmacıların bir çoğu incelemelerini bu bölgede yapmıştır. Atık hareketi dalgalar, rüzgar, gel-git akımları ve diğer akımların etkisi altındadır.

İlk yatay tabaka dalgalarından ve sonra deniz yüzeyindeki şartlardan etkilenir. Bu şartlar rüzgar, fırtınalar, yağmur ve sıcaklık gibi meteorolojik süreçlerdir. İlk tabakada sadece dalga hareketi göz önünde bulundurulmamalı aynı zamanda termoklin ve pinoklin de değerlendirilmelidir. Termoklin ve pinoklin sırasıyla sıcaklıktaki ve yoğunluktaki önemli değişimleri temsil eder. Deniz akımlarında rüzgarın hangi derinliğe kadar etkili olduğunu belirlemek için aşağıdaki teori kullanılır. Etki derinliğini hesaplamak için gereken veriler rüzgar şiddeti (su yüzeyindeki) ve yönüdür. Bu teoride; deniz suyu homojen bir sıvı, rüzgarın da üniform bir şiddeti olduğu ve yönünün sabit olduğu kabul edilmiştir. Problemi basit tutmak için herhangi bir kıyı etkisinden uzak açık deniz kabulü yapılmıştır. Su hareketini tanımlamak için temel denklemler şu şekildedir.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + fV = \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + fU = \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial V}{\partial z} \right) \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1-3)$$

Burada;

$$v_t = K_a \cdot U \cdot z,$$

$K_a$  = Von Karman sabiti,

$U$  = kayma hızı,

$z$  = derinliktir.

Bu derinliğin altında, yüzeyde esen rüzgarın etkisinin akım hızı dağılımında ihmal edilebileceği düşünülür. Gel-git akımlarında bir su kolonu boyunca akım hızı profillerini belirler. Dalgaların dispersiyon üzerinde ne kadar bir etkisi olduğu

belirlenmelidir. Bu ise bütün deniz şartlarını düzensiz Gaussian sürecinde düşünerek ve Lineer Dalga Teorisi'ni uygulayarak gerçekleştirilebilir.

Uzak bölge safhasında Langrangian eşitlikleri kullanılmıştır. Bu bölgeye çok ince parçacıklar yetiştir. Bu parçacıklar etraftaki akım şartlarına göre hareket ederler.

Parçacıkların hareketini tarif eden genel Langrangian Denklemi aşağıda verilmiştir.

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy + \frac{\partial F}{\partial z} dz \quad (1-4)$$

$$\frac{dF}{dt} = \frac{DF}{DT} = \frac{\partial F}{\partial t} + \nabla F \cdot \frac{dr}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + v \cdot \nabla F \quad (1-5)$$

Burada;

$r$ = Langrangian koordinatlarının bir fonksiyonudur.

#### 1.4. Atıksuların Deniz Ortamında Seyrelmesi

Deniz altındaki boru üzerindeki bir delikten su ortamına deşarj edilen atıksu, delikten çıkışta sahip olduğu hızdan ileri gelen çıkış momentumunun ve iki sıvı arasındaki yoğunluk farkının sebep olduğu kaldırma kuvveti etkisi ile hareket eder. Bu iki su kütlesi arasındaki rölatif hareketten ileri gelen kayma kuvvetleri ile türbülans dolaylı önce iki sıvının ara kesiti civarında, daha sonra da kolon halindeki atıksuyun her tarafında karışım meydana gelir. Bu karışım sonucu yoğunluk farkları ve atıksuyu yüzeye doğru iten kuvvet tedricen azalır. Karışım yüzeye ulaştığında veya belirli bir derinlikte batmış vaziyette kaldığında atıksu tarlası, türbülans ve boyuna dispersiyon sebebiyle yayılıp açılmaya başlar. Üniform yoğunluklu ortamlarda atıksu tarlasının yüzeydeki kalınlığı derinliğin 1/4~1/8 (1/5)'i arasında değişmektedir.

Jet, akışkanın bir delik veya yarıktan kendisi ile aynı veya benzer diğer büyük bir akışkan kütlesi içine verilmesidir. Bulut ise jete benzeyen fakat yoğunluk farkı sebebiyle çevresindeki akışkana göre pozitif (yüzen) veya negatif (batan) potansiyel enerjiye sahip bir akımdır. Başlangıçta çevreye yapılan deşarjların çoğu momentum ve yüzdürmenin müşterek tesiri sonucu oluşturulurlar ve yükselen jet olarak

adlandırılırlar. Akım, delikten çıkan akışkanın momentumunca kabul edilir. Bu etki 20 dakika sürer. Daha sonra çıkan akışkanla çevresi arasındaki yoğunluk farkından dolayı jette yüzdürme tesirleri hakim olur. Delikten belli bir mesafe sonra bütün jetler bulut gibi davranırlar. Deniz deşarjları ile ilgili seyrelme hesapları da bütünü ile bulutlar için geliştirilen formüller ve modellere göre yapılır.

### 1.5. Dalgalarla Madde İletimi İlgili Önemli Yaklaşım ve Çalışmalar

**Dekeyser (1989)** atık jetinin deniz yüzeyinin altında kalıp kalmayacağını kestirmek için atık jetinin maksimum yükselme boyunu tesbit eden bir model geliştirilmiştir. Atık bulutunun yükselmesini sınırlayan iki etken yoğunluk tabakalaşması ve ilk momentumdur. Dispersiyonu oluşturan akışkan hareketinin türbülans ve yerçekimi kuvveti olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacı, tabakalaşmış bir çevreye dik olarak deşarj edilen atık jetinin hareketini modellemiştir. Bu model literatürde “k-ε modeli” olarak geçmektedir. Türbülans enerjisi K ve onun dağılım oranı ε için bir taşınım denkleminin çözümünü yapmıştır.

$$\nu_T = C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (1-6)$$

Burada;

$C_\mu(F)$ = amprik bir katsayı,

K= birim kütle için türbülans kinetik enerjisi,

ε= K'nın dağılıp yok olma hızıdır.

Bu modelde kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial K}{\partial t} + U_i \frac{\partial K}{\partial x_i} = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta g_i \overline{u_i \theta} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_K} \frac{\partial K}{\partial x_i} \right) - \varepsilon \quad (1-7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = -C_{01} \overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{01} \frac{\varepsilon}{K} \beta g_i \overline{u_i \theta} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) - C_{12} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (1-8)$$

Buradaki terimler sırasıyla;

Adveksiyon      Kesme Kuvveti      Kaldırma Kuvveti      Difüzyon      Dağılıma

Araştırmada, çözüm yöntemi olarak sonlu farklar yöntemini kullanmıştır.

**Juang (1998)**, çalışmasında denize deşarj edilen bir atık sıvının uzak bölge safhasını araştırmıştır. Uzak bölge safhasındaki difüzyonu temel olarak 3 boyutlu türbülans difüzyonu denklemi ile benzeştirmiştir. Temel eşitliği entegre etmek için moment metodu kullanmıştır. Bu moment difüzyon denklemlerini çözmek için de bir nümerik model geliştirmiştir. Matematiksel model formülasyonu Fick Kanunu'na ve kütle korunum yasasına göre türetilmiş bir eşitlikten ibarettir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1-9)$$

Burada  $C$ , konsantrasyonu göstermektedir. Koh ve Brooks'a göre türbülans difüzyon katsayıları  $K_x$  ve  $K_y$   $5 \times 10^2$  ila  $4 \times 10^8$  cm<sup>2</sup>/sn arasındadır ve katsayılar difüze olan atık bulutunun boyutlarının değişmesiyle beraber değişmektedir. Denizdeki difüze atık bulutu boyutunun 4/3 üssü ile orantılıdır.

$$K_x, K_y = A L_X^{4/3}$$

Bu ifadede;

$L_X$ = atık bulut boyutu,

$A$ = kaybolma parametresidir.

Shiou ve Jung ise sıvı atığın istatistiksel parametrelerine dayanarak difüzyon katsayıları  $K_X$  ve  $K_Y$ 'ye ait yeni bir ilişki bulmuşlardır.

$$K_X = K_Y = B \left( \sigma_x^2 \sigma_y^2 - \sigma_{xy}^2 \right)^{1/3} \quad (1-10)$$

Burada;

$B=0,00045$  m<sup>2/3</sup>/sn,

$\sigma_x^2, \sigma_y^2$ =varyans,

$\sigma_{xy}^2$ = kovaryanstır.

**Koh (1988)**, atıksuyun okyanusa boşaltımının çevre yönünden en önemli tarafının sahil hattına olan etkisi olduğunu belirtmiştir. Sahil hattına iki faktör etki eder. Birincisi, ilk karışım esnasında deşarj edilen atık bulutunun yükselme boyudur. İkincisi de atık bulutunun advectif taşınımıdır. Eğer bu atık tarlası çok derinlerde

batık olarak kalmışsa kıyıya etkisi de o derece azalacaktır. Deşarj edilen atık bulutunun yükselme boyu, yoğunluk tabakalaşmalarına, akımlara ve deşarj hızına bağlıdır. Koh, sentetik akımlar kullanarak advectif taşınımı simule etmiştir.

$$\bar{u} = \bar{u}_o + \bar{u}_t + \bar{u}_w + \bar{u}_e \quad (1-11)$$

Burada;

$\bar{u}_o$  = ortalama akım – (denize ait sirkülasyonlar ve büyük çevrıntiler)

$\bar{u}_t$  = gel-git akımları – (gel-git hareketleri)

$\bar{u}_w$  = dalga etkili akım – (fırtına olayları)

$\bar{u}_e$  = artık akımlar

Fırtına olmadığı, gel-git akımlarının tahmin edilebildiği kabul edilmiştir. Advectif taşınımı tahmin etmek için şu senaryo uygulanmıştır:

- 1) Deşarj edilen bulutun yükselme boyunun belirlenmesi
- 2) Difüzyonla olan düşey taşınımı zamanın fonksiyonu olarak belirlemek
- 3) Mevcut akım ölçümlerini 4 bileşene ayırmak
- 4) Bileşenler için uygun parametreleri tayin etmek
- 5) Sonuçları bir olasılık eşyükselti haritasında toplamak

Şu kabuller yapılmıştır:

- 1) Ortalama akım sabittir
- 2) Gel-git akımları sadece iki sinüzoidal bileşen içermektedir.

$$K = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (\sigma^2) \quad (1-12)$$

$\sigma$  = varyans

$$S_p = \alpha \frac{Kh}{Q} \quad (1-13)$$

$\alpha$ = bir katsayı

$S_p$ =seyrelme

$h$ = su derinliği

Yapılan çalışmada, üç bölgenin deşarj sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunlar;

- 1) San Fransisco,
- 2) Puget Bölgesi,
- 3) Atina'dır.

Küçük bir gel-git akımının görüldüğü Atina'daki bölgede difüzyon katsayısı  $K$ 'nın ve bunun sonucunda da seyrelmenin çok küçük değerler aldığı görülmüştür. Puget Bölgesindeki 100 m. derinlikteki akımların San Fransisco'dakine göre zayıf olmasına rağmen  $S_p$  değeri, derinlikten dolayı Puget Bölgesinde San Fransisco'ya nazaran daha büyük çıkmıştır.

**Masch (1963)**, dalgaları, rüzgar dalgaları ve büyük okyanus dalgaları olmak üzere iki kısma ayırmıştır. Rüzgar dalgaları kısa tepeli ve dikdir, bir çoğu kırılarak türbülans oluşturur. Okyanus dalgaları (swell) ise uzaktaki fırtınalardan kaynağını alır ve daha düzenlidirler. Okyanus dalgalarında hareket çevrimsiz (irrotasyonel) olduğu için direkt olarak karışım sürecine bir etkisi yoktur. Bununla birlikte bu dalgalarda bir kütle taşınımı söz konusudur. Bu taşınım dalga ilerleme yönündedir ve adveksiyon olayında önemlidir. Atıksu ile denizsuyu karışımının hangi boyutlarda yayılacağı ve ne kadar daha seyreleceği, kırılan dalgaların oluşturduğu türbülans hareketi ile birleşen yüzdeki çevre hareketinden kaynaklanan türbülanslı karışıma bağlıdır. Türbülanslı difüzyon sırasında malzemenin transferi hem difüze olan maddeye hem de akımın türbülanslı yapısına bağlıdır. Bir çok gerçek problemde türbülans non-isotropiktir. Bu yüzden difüzyon katsayısı sabit değil, zaman ve uzayın bir fonksiyonu olmalıdır. Bu teoriye göre Einstein difüzyon katsayısını şöyle bulmuştur. Burada;

$$D = \frac{1}{2} \frac{d(\sigma^2)}{dt}, \text{dır.} \quad (1-14)$$

Richardson parçacıkların ayrılmasını hesaba katarak şu eşitliği bulmuştur:

$$\frac{\partial[q(l)]}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial l} \left[ F(l) \frac{\partial q(l)}{\partial l} \right] \quad (1-15)$$

$F(l)$  burada difüzyon katsayısına analogi olarak komşu difüziviteyi tanımlamaktadır.  $l$  ise difüze olan bulutun boyutunu ifade etmektedir. Richardson daha sonra ampirik olarak  $F(l) = \epsilon l^{4/3}$  bağıntısını bulmuştur. Bu ifade genellikle “4/3 Yasası” olarak tanınır.

Kolmogroff ise buna benzeyen aşağıdaki eşitliği bulmuştur.

$$D = \alpha l^{4/3} \quad (1-16)$$

Diğer araştırmacılar tarafından öne sürülen difüzyon eşitlikleri şunlardır.

Goldstein ve Michelson bir hiperbolik denklem ortaya atmışlardır.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \nabla^2 c - \frac{D}{V^2} \frac{\partial^2 c}{\partial t^2} \quad (1-17)$$

Burada;

D= sabit difüzyon katsayısıdır.

Joseph ve Sender

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( P r^2 \frac{\partial c}{\partial r} \right) \quad (1-18)$$

Bu ifadede,

P= difüzyon katsayısı mesafe ile değişmektedir.

Masch, difüzyon olayını kaynaktan itibaren boyutlarıyla şu ilişki ile göstermiştir.

$$L(x) = \left( \frac{32 \cdot D_0 \cdot x}{u_s} \right) \quad (1-19)$$

Burada,

$U_s$ = yüzeysel akıntı hızıdır.

Sabit difüzyon katsayısı için parabolik bir şekil ortaya çıkar. Derinlik ve yüzey akıntısı sabit kalmasına rağmen bulut genişliğinin artan dalga hareketi ile birlikte artması beklenir. Çünkü artan dalga hareketi ile birlikte ekstra türbülans doğmaktadır. Bu araştırmada uzun zamanlı difüzyon için difüzyon katsayısının 4/3 kuralına uymadığı bulunmuştur.

Her dalga koşulunda difüzyon katsayısı ile yüzeysel akım arasında üssel bir ilişkinin var olacağını bulmuştur. Yüzeysel akımın artmasıyla difüzyon katsayısında da bir artma olacağı ortaya çıkmıştır. Difüzyon katsayısı yüzeysel akım ve dalganın kombinasyonu ile artmaktadır. Difüzyon katsayısı derinlikten etkilenmemektedir. Yüzeysel akıma ek olarak rüzgar etkisi ile oluşan dalgalar ile su parçacıkları eliptik veya dairesel bir yörünge izlemektedir. Eğer yörünge hızının büyüklüğü yüzeysel akım ile aynı olsaydı, dalga içindeki parçacık hareketinden kaynaklanan türbülanslı hız dalgalanmaları olabilecektir ve yanal karışım da yüzeysel akım ile dalgaların kombinasyonu sonucu ortaya çıkacaktır. Yanal difüzyon katsayısı ve yüzeysel akım arasındaki fonksiyonel ilişki şu şekildedir.

$$D_y = K_i u_s^{3,3} \quad (1-20)$$

Bununla birlikte belirli bir yüzeysel akıntı için difüzyon katsayısı dalga hareketi arttıkça artmaktadır. Bu dalga etkisi dalga olgunluğu (wave age) olarak gösterilmiştir.

$$\text{Dalga olgunluğu (wave age)} = \text{Dalga yayılma hızı} / \text{Rüzgar hızı} = \frac{c}{V_a}$$

Temel olarak, rüzgardan suya aktarılan enerjinin bir kısmı türbülans ve viskoziteye harcanır, bir kısmı ise sürüklenme akımı üretir. Rüzgardan transfer olan enerji ya kıyılara iletilerek kaybolur ya da diğer türbülans alanlarına dalga olarak saçılır. Tamamen doğru olmasına rağmen viskozitenin etkisinin küçük olduğu ve bu yüzden tüm enerjinin türbülanslı dalga hareketine harcandığının kabulünü yapmak makuldür.

$$D_y = \left[ n.p_a.f\left(\frac{c}{V_a}\right)\frac{c}{V_a}Va^3 \right] / 2\Pi^2 \delta g \quad (1-21)$$

Ya da grafikten tekrar formüle aktarılırsa,

$$D_y = 1,8.10^{-6} \left[ V_a^3 (c/V_a) \right]^{1,2} \text{ yazılır.} \quad (1-22)$$

Bir çok çalışmada, difüzyon sürecinde difüzyon katsayısı ile karışım uzunluğu arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Sezgisel olarak, dalga etkili türbülansın dalga içindeki parçacıklarının orbital yörüngedeki hareketi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Orbital hızın hem düşey hem de yatay bileşenleri ile yanal difüzyon katsayısını ilişkilendirmek mümkündür.  $q_w$  hem düşey hem de yatay bileşenlerin toplamıdır. Derin sular için,

$$q_w = \frac{\Pi.H}{T} \text{ yazılabilir.} \quad (1-23)$$

Bu hız vektörünün devamlı olarak yönünün değişiyor olmasına rağmen, yönüne bakmayarak türbülansa katkıda bulunabilir. Örneğin orbital hızın dalga ilerleme yönünü tersi bir yönde olduğu dalga çukurunda yanal türbülans olayı oluşur veya hızın düşey yönde olduğu düğüm noktalarında türbülans oluşur. Benzer ifadeler yörüngedeki yer hızı vektörleri içinde yapılabilir.

$$D_y = 3,8.10^{-3} (u_s + q_w)^{3,2} \quad (1-24)$$

Dalga olgunluğu, dalga dikliği ve difüzyon katsayısı arasındaki ilişki şu şekilde yazılabilir.

$$D_y = B_0 \frac{2.\delta}{g\Pi} (u_s.\bar{q}_w^2 + \bar{q}_w^3) \quad (1-25)$$

Burada,

$B_0$  = dalga olgunluğu,

$\delta$  = dalga dikliği,

$g$ = yerçekimi ivmesi,

$u_s$ =yüzeysel akıntı hızı,

$\vec{q}_w$  = orbital hız vektörüdür.

**Skätun (1996)**, deniz altındaki deşarj sistemlerinden dispersiyonu tahmin etmek için bir BJet (jet/plume) modeli geliştirmiştir. Parametreleri önem sırasına göre sırlamak için hassaslık analizleri yapmıştır. Modeli 3 ayrı alt modele bölmüştür. Bunlar Akım Oluşum Bölgesi, Gaussian Modeli Bölgesi ve Uzak Bölgedir. Serbest bırakılma senaryoları şu şekilde üretilmiştir:

- Jet/bulut seçenekleri

Jet: yüksek serbest bırakma hızı (0,6 m/sn)

Bulut: düşük serbest bırakma hızı (0,1 m/sn)

- Çevredeki yatay tabakalaşma

- 1) Lineer profil

- 2) Yüzeye doğru artan tabakalaşma profili

- 3) Yüzeye doğru artan tabakalaşma profilinin modifiye edilmiş şekli

- Çevredeki akım hızı

- 1) Çevredeki akışkan durgunsa ( $v_s=0$ )

- 2) Hareketli akışkan ( $v_s=0,2$  m/sn)

Model her deneyde parametrelerin değişmesini esas alarak 4 adet deney serisi üzerine kurulmuştur. Hassaslık analizlerinin sonucunda parametreler önem sırasına göre şöyle sıralanmıştır:

- 1) Etraftaki akışkanın düşey karışma profili

- 2) Karışım katsayısı  $\alpha$ . Bu parametre jet çıkışında daha önemli hale gelir.

- 3) Deşarj tüpünün yönü

- 4) Deşarj hızı ve çevredeki akım hızı aynı öneme sahiptir

Bu gibi olaylarda önemli olan tuz oranı ve sıcaklığını hesaba katmamıştır. Aynı zamanda çevredeki yatay akım değişimlerini de dikkate almamıştır.

**Smith (1996)**, bir plume-type modeli geliştirmiştir. Bir veya birkaç kaynaktan deşarj edilen atıksının su yüzeyindeki konsantrasyonlarını tahmin etmeyi amaçlamıştır. Dispersiyona simule etmek için kurulan bu modelin esası parçacık izleme tekniğidir. Bu parçacıklar gel-git akımları ve rüzgarın oluşturduğu akımlar ile hareket etmektedirler. Model verilerini şöyle sıralamıştır:

- 1) Gel-git akımları
- 2) Artık akımlar
- 3) Karışma katsayısı
- 4) Atıksıvı parametreleri (akış hızı, tuzluluk, yoğunluk)

Skätun'un modelinde, yoğunluk tabakalaşması, dispersiyonda en önemli parametre iken bu araştırmacı, bunu hesaba katmamıştır. Hem Skätun hem de Smith karışımın her yerde aynı olduğunu kabul etmişler, karışım katsayısının 3 boyutlu değişimini hesaba katmamışlardır. Ayrıca Smith'e ek olarak Skätun bakteriyel azalma faktörünü modeline dahil etmiştir.

**Sobey&Barker (1997)**, ilgili bu makalede yüzeydeki kaygan tabakanın dalga hareketi ile nasıl taşındığına dair tahminler sunmuşlardır. Yüzeydeki kaygan tabaka sadece ripple büyüklüğündeki dalgaları sönümleyebilecektir. Hakim dalga numaraları ve frekanslar üzerindeki etkisi de ihmal edilmiştir. Ortalama bir dalgada Eularian yüzey sürüklenme akımı nonlinear sürekli dalga hareketinden çıkarılmıştır.

Yüzeysel dalga hareketinin, kıyı çizgisine paralel olan gel-git akımları ve oşinografik sirkülasyonların aksine kıyıya yönlendiğini kabul etmiştir. Bu dalgalarla kütle taşınımı çukur-tepe bölgesinde yoğunlaşmış ve yüzeydeki kaygan tabakanın kıyıya doğru taşınması için bir mekanizma oluşmuştur. Kırılan dalgalarla su kolonunun daha derinlerine inen petrolün taşınmasını sağlayan kıyı boyu ve ters yönlü dip akıntıları incelemişlerdir. Bu mekanizmalar toplam potansiyel dalga hareketine (wave-driven) çok az bir katkıda bulunur.

Gerçek deniz şartlarındaki bir uygulamada gel-git akımları ve rüzgar sürüklemesi karşılaştırılarak yüzeysel dalga hareketi tarif edilmiştir.

Ortalama bir dalgada Eulerian hız profili çukur-tepe arasındaki bölgede toplanmıştır. Bunun yanında ortalama bir dalgada Langrangian akımları bütün derinlik boyunca dağılmıştır. Bu çalışmada ise Eulerian hız profili kullanılacaktır.

Tüm derinliğe dağılan ortalama dalga da (wave average) Langrangian kütle taşınımının aksine ortalama dalgada Eulerian kütle taşınımı çukur-tepe arasına toplanmıştır.

\*Eulerian yüzey dalga sürüklenmesine (w) ilk yaklaşım, çukur ile tepe arasındaki kütle akışının üniform dağıldığını kabul ederek şöyle yapılabilir.

$$W = \frac{g \cdot H}{8c} \quad (1-26)$$

Burada;

H= dalga yüksekliği,

g= yerçekimi ivmesi,

c= dalga ilerleme hızıdır.

Çevre akımlarının yokluğunda, kaygan yüzey tabakasının taşınmasında rüzgarın önemli bir rolü olduğu kabul edilmiştir. Standart anomometre yüksekliğinde rüzgar hızının  $V_{10}$  olduğu yerde yüzeysel rüzgar sürüklenmesi  $0,03U_{10}$  (%3 kuralı) mertebesinde dir.

Wilson (1963) dalga üretimini şöyle temsil etmiştir.

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = f_1\left(\frac{gx_f}{U_{10}^2}, \frac{gt_D}{U_{10}}\right) \cdot \frac{C}{U_{10}} = f_2\left(\frac{gx_f}{U_{10}^2}, \frac{gt_D}{U_{10}}\right) \quad (1-27)$$

Bu ifadede;

$H_s$ = etkili dalga yüksekliği,

$x_f$ = fe uzunluğu,

$t_D$ = rüzgar esme süresidir.

$H = 0,63 H_s$  olarak (Rayleigh dağılımı) eşitlik (1-26) ve (1-27)'yi tekrar düzenlersek Eulerian yüzey dalga sürüklemesi;

$$W = \frac{0,63f_1}{8f_2} U_{10} \approx 0,015U_{10} \quad (1-28)$$

olur.

Rüzgar hızındaki artışın dalga sürüklemesinde bir artışa etki edeceği eşitlik (1-28)'te görülmektedir. Fakat bu yaklaşım sadece dalgalar doğrudan yerel rüzgar ile ilişkiliyse ve yerel rüzgar ile aynı yönde yayılmaya devam ediyorsa geçerlidir.

Büyük okyanus dalgaları (swell) bu yolla değerlendirilemez. Bunlar hem büyüklük hem de yön olarak yerel rüzgarlardan bağımsızdırlar. Adveksiyon yönleri muhtemel olarak üst üste düşmez. Kıyı yakınındaki kırılmalar, hem swell dalgalarının hem de yerel rüzgar dalgalarını kıyıya doğru yöneltir.

Battjes (1990), kıyı boyu akımlarının, ters yönlü dip akıntısının, rip akımlarının ve dalgakıranlardan geri dönen akımların dalga çukurunun altında oluştuğunu kıran dalgalar nedeniyle su kolonundan daha derinlere inen petrolü taşıyacağını söylemiştir.

Yüzey taşınımı, hem yön hem de büyüklük olarak dalga çukuru altındaki taşınım ile çatışır. Ne kıyı boyu akımı (sörf bölgesi içinde kıyı boyunca yönelmiş) ne de ters yönlü dip akıntısı (kıyı açığına doğru yönelmiş) dalga ilerleme yönü ile çakışır. Yönler arasındaki açı sırasıyla 90° ila 180° derece arasında değişir.

### **Yüzey Sürüklemesinin Teorik Tahmini**

Sürekli ilerleyen ve nonlineer bir dalga dizisi için Eulerian yüzey dalga sürüklenme hızı belirli bir X mevkiinde;

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T u(z = \eta, t, x) dt \quad (1-29)$$

$u$ = suyun yatay hızı,

$\eta(t,x)$ : su yüzeyidir.

Airy veya Lineer Dalga Teorisi'ni kullanarak, durgun su seviyesine göre Taylor Açılımı'nı yaparak yüzey yakını kinematığını temsil etmek için ortalama dalgada yüzey sürüklemesi;

$$W = \frac{1}{2}(ka^2)C + \dots \text{ en son hali budur.} \quad (1-30)$$

Burada;

$k$ = dalga numarası,

$a$ = dalga genliğidir.

Eşitlik (1-30)'u eşitlik (1-26) ile karşılaştırdığımızda sonuçların uyuşmadığı gözlenir. Bu uyuşma zayıflığı Lineer Dalga Teorisi'nin yüzeysel sürüklenme için yeterli bir tahmin yapamayışındandır.

Yüzey dalga kinematığının teorik tahminleri yüksek dereceli Fourier Dalga Teorisi'ne dayandırılmıştır (Sobey 1989). 4. Eşitlik tahmin edilecek su yüzeyi boyunca 3 boyutlu noktalarda yatay hız tahminleri nümerik olarak değerlendirilmiştir.

Su yüzeyindeki parçacığın yataysal hızı ve buna bağlı olarak sürüklemesi dalga periyoduna (T), dalga yüksekliğine (H), su derinliğine (h) ve hıza (U) bağlıdır. Sonuçlar boyutsuz bir çatı altında organize edildiğinde;

$$\frac{wW}{g} = f\left(\frac{w^2 H}{g}, \frac{w^2 h}{g}, \frac{wU}{g}\right) \quad (1-31)$$

yazılır. Burada;

$$w = \frac{2\pi}{T} \text{ dalga frekansıdır.}$$

Akım bu çalışmada ihmal edilmiş ve dalga yüksekliği Michel (1994) tarafından normalize edilmiştir.

$$H_{\text{michel}} = 0,14 \text{ tankh}$$

$L=2\pi/k \Rightarrow k$ = Lineer Dalga Teorisi'ne göre dalga numarasıdır.

Böylece;

$$\frac{wW}{g} = f\left(\frac{H}{H_{\text{Michel}}}, \frac{w^2 h}{g}\right) \quad (1-32)$$

bulunur. Eşitlik (1-32)'nin lineer eşitlik (1-30) ile uyduğu bulunmuştur.

### Gerçek Deniz Şartlarında Yüzey Sürüklenmesi

Yüzey film tabakasının 1 m uzağındaki daha büyük dalgaları söndürdüğü hiç görülmemiştir. Gerçek deniz koşulları genellikle yerel yönlü değişim spektrumu ile tarif edilir.

$E(w, \theta, x, y, t)$  yatayda  $x, y$  ile değişir ve zaman ile geliştirilir.

$$\overline{W}_x + i\overline{W}_y = \int_{\Pi} \int_0^{\infty} E_w(w, \theta) dw d\theta \approx \sum_i \sum_j E_w(w_i, \theta_j) \Delta w_i \Delta \theta_j \quad (1-33)$$

### Yüzeydeki Petrolün Taşınımı

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_s c) + \frac{\partial}{\partial y}(v_s c) = \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + S \quad (1-34)$$

$\frac{\partial c}{\partial t}$  = yüzeydeki petrolün konsantrasyonundaki yerel değişim hızı,

$\frac{\partial}{\partial x}(u_s c) + \frac{\partial}{\partial y}(v_s c)$  = adveksiyon,

$\frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial c}{\partial y}\right)$  = dispersiyon,

$s$  = kaynaktan kütle transfer hızıdır.

## Bir Dalga Bölgesinde Dalga Hareketi İle Taşınım

Açık deniz dalgaları çeşitli yönden gelen birçok dalğanın bileşimi şeklindedir. bu nedenle “yönlü dalga spektrumu” kavramıyla bu bileşimi tam olarak tarif etmek amaçlanmaktadır. Yönlü dalga spektrumunda dalga enerjisi sadece frekans ile değil, açı ile birlikte tanımlanır.

$$E(w, \theta) = \frac{\alpha g^2}{w_p^4} \left( \frac{w}{w_p} \right)^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{w}{w_p} \right)^{-4} \right] \frac{8}{3\pi} \cos^4(\theta - \theta_0) \quad (1-35)$$

Burada;

$\alpha$ = Phillips katsayısı,

$w_p = 2\pi f_p \Rightarrow f_p$  pik frekans değeridir.

Bu eşitlikte verilen yönlü dalga spektrumunu eşitlik 9 yerine koyarak yüzeysel sürüklenme bulunur. Yüzeysel sürüklenme yönü ise;

$$\overline{W} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{W_y}{W_x} \quad (1-36)$$

**Talbot (1981)**, makalesinde, her yıl 5 milyon ton lağım atığı Thames Nehri’nin deniz ile birleştiği yere boşaltılmakta olduğu ve bir deney amacıyla işaretlenen lağım atığının nehir ağızına boşaltılması konu alınmıştır. Sonuçlara göre sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluğa göre suyun dikey bölümü hemen hemen homojendir. Boşaltımdan sonraki ilk üç saatte atığın akış yönüne ters olarak yukarıya doğru hareket ettiği gözlenmiştir. Model tarafından öngörülen yayılım rasgele türbülans veya diğer hareketlenmelerden doğan iletimden herhangi bir katkı görmemektedir.

**Tamai (1972)**’nin bu araştırmadaki amacı, düzensiz dalgaların denizlerdeki karışım olayı üzerindeki etkisini belirtmektir. Çevrinti difüzyon katsayısının dalga spektrumu yardımıyla açıklanması amaçlanmıştır. Bu makale, nonlinear dalga etkileşimlerinden (üçüncü dereceye kadar) doğan difüzyonu analiz etmiştir.

Türbülans difüzyon katsayısı, iki dalga dizisinin karşılıklı etkileşimlerinden üretilen ikincil dalgalar için hesaplanmıştır. İkincil dalgaların farklı frekans bileşenleri

arasında sabit bir enerji alışverişi olmadığı için, su yüzünde yüzen materyaller zamanla sürekli olarak genişlemez.

Üçüncül dalgaların difüzyona katkısı birincil bileşen frekansı ile dalga numarasındaki farklılıklar göz önünde tutularak hesaplanmıştır.

$$D = \int_0^{\infty} C_3(z).dZ \quad (1-37)$$

$C_3(z)$ = dalga numaraları farkları ve birincil dalgaların frekanslar ile oluşan 3. dereceden bileşenlerden dolayı hız kovaryansını gösterir.

$$D = \int_0^{\infty} C_3(z).dZ = \frac{16\Pi}{g^4} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} w^{10} \phi(w-x)\phi(x)\phi(2w)dx.dw.... \quad (1-38)$$

Phillips denizdeki dalgaların spektrumunu bir çizgi  $\phi(w) = \beta g^2 w^{-5}$  etrafındaki salkımlandığını söylemiştir. Feç uzunluğunu ve rüzgar hızını dahil etmemiştir.  $\beta$ 'nin ortalama değeri  $1,17 \times 10^{-2}$  bulunmuştur. Böylece dalga spektrumunun fonksiyonel şekli şu şekildedir.

$$\phi(w) = \beta g^2 w^{-5} \quad w \geq w_p \quad (1-39)$$

$$\phi(w) = 0 \quad \text{diğer hallerde}$$

$w_p$ = spektral pik

$$D = \frac{\Pi.\gamma.\beta^2.g^2}{2} w_p^{-3} \quad (1-40)$$

Daha sonra  $\gamma=11,9$  alınacak

$$D = 2,90 \times 10^{-3} w_p^{-3} (m^2/sn) \quad (1-41)$$

Mitsuyasau ve Nekayama'nın  $w_p$  için önerdiği denklemi kullanarak D'yi başka bir formda şu şekilde yazabiliriz.

$$D = 6,50 \times 10^{-9} U_{10}^{1.3} F_e^{0.85} \quad (1-40a)$$

$U_{10}$ = yüzeyin 10 metre üstündeki rüzgar hızı,

$F_e$ = Feç uzunluğudur.

Yukarıdaki ifadelerde, gelişmekte olan 3. dereceden dalgalar ve birincil dalga ile aynı dalga numaralı ve frekanslı 3. dereceden dalgalar hesaba katılmamıştır. Gelişmekte olan 3. dereceden dalgaların karakteristik özelliği birincil dalgadan  $\pi/2$  kadar ileri fazda olmasıdır. Aşağıdaki çalışmada, gelişmekte olan 3. dalgaların difüzyona katkısı incelenirken başka bir yaklaşım uygulanmıştır. Hız değişiminin kovaryansı yerine, parçacığın pozisyonunun istatistiksel varyansı incelenmiştir.

Varyans ve difüzyon katsayısı şöyle tanımlanmıştır.

$$\langle r^2 \rangle = E \{ [x - E(x)]^2 \} \quad (1-42)$$

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\langle r^2 \rangle}{dt} \quad (1-43)$$

Difüzyonu arttıracak umulan sadece 3. dereceden dalgaların karesi bundan sonra hesaba katılacaktır. Türbülanslı difüzyon katsayısının düzensiz şekli şu şekilde tahmin edilebilir.

$$D = 10^{-1} w_p^{-2} t \text{ (m}^2\text{/sn)} \quad (1-44)$$

Düzensiz dalgaların oluşturduğu türbülanslı difüzyon kaynağını 3. dereceden dalga bileşenlerinden aldığı gösterilmiştir. Boyuna türbülans difüzyonu şöyle ifade edilmiştir.

$$I) D = 10^{-1} w_p^{-2} t \text{ (m}^2\text{/sn)} \quad (1-44)$$

$$II) D = 3 \times 10^{-3} w_p^{-3} \text{ (m}^2\text{/sn)} \quad (1-45)$$

Denizdeki yatay karışım olayında bütün problemler pratik olarak I. Bölgeye tekabül eder.

Eşitlik 16 'da verilen difüzyon katsayısı, denizde de olduğu gibi maddenin serbest bırakılmasında sonra vakit geçtikçe artar. Farklı dalga grupları arasındaki etkileşimin sürekli oluştuğunu düşünebiliriz.

Okubo tarafından yapılan bir dizi deney sonucu difüzyon zamanının varyansa göre değişimi şekil 3'te gösterilmiştir. Difüzyon katsayısının ve difüzyon zamanının fonksiyonel şekli şöyledir.

$$D = 10^{-6} t^{1.3} (\text{m}^2/\text{sn}) \quad (1-46)$$

Eşitlik 16 ile açıklanan difüzyon süreci, t'nin üssü gözlemlerden elde edilen t'ye göre bir miktar az olmasına rağmen gözlemlerdeki difüzyon sürecine göre daha hızlı karışım gösterir.

II. Bölge için rüzgar dalgası sisteminin deneysel sonuçlarından bahsedildi. Maksimum çevrinti ölçeğinin ekipmanın boyutları ile sınırlı olduğu için bir laboratuvar tankındaki difüzyon sürecinin II. bölgeye ait olması umulur. Masch, yeterli genişlikteki (1,2 m) bir dalga tankında çalışma yapmıştır. Dalga spektrumu, doğada da olduğu üzere iki boyutludur.

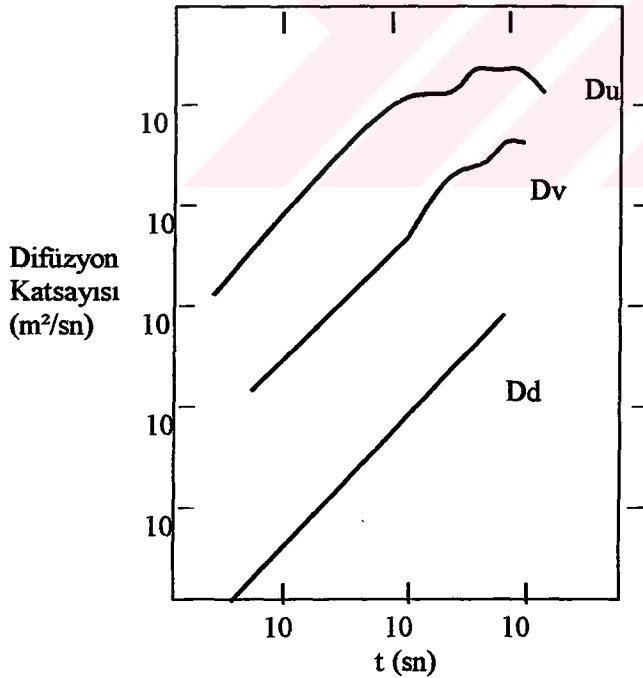
Düşey karışma engel olmak için özgül ağırlığı 0,97 olan 2,8 mm çapında su yüzeyinde yüzen polietilen kürecikler kullanılmıştır. Masch, rüzgarın küreciklere doğrudan doğruya bir sürüklenme uygulamadığını ifade etmiştir. Su yüzeyinde esen rüzgar, yüzey akıntısı ve bunun yanında bir dalga oluşturmaktadır. Hem yüzeysel akıntı hem de dalgalar ölçülmüştür. Masch kaynak civarı dışında 4/3 kuralına dair bir kanıt bulamamıştır. Yanal çevrintilerin difüzivitesinin sabit olacağını bulmuştur.

Boyuna difüzyonun katsayısının yanal difüzyon katsayısına eşit olacağını kabul ederek, eşitlik 33 ile hesaplanan değerler ile deneysel ölçümler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçların daha büyük çıktığı görülmüştür. Düzensiz dalgaların difüzyon sürecine yüzeysel akıntının sebep olduğu, toplam difüzivite ve karışımın yaklaşık 1/400-1/100 oranı kadar bir katkıda bulunacağı görülebilir. Fakat Masch'ın öne sürdüğü teori ile deneysel yaklaşım arasında bir ihtilaf vardır. Masch 2,8 mm çapında kürecikler kullanmıştır. Parçacıkların özgül ağırlıkları, etraflarındaki

su ile aynı olmasına rağmen parçacıkların tamamıyla su parçacıkları ile aynı yörüngeyi izleyeceği tartışmalıdır. Polietilenin özgül ağırlığı 0,97 olduğu için su yüzünde kalmak,yüzmek isteyecektir ve bu yüzden su yüzeyine yakın, yüksek pozitif hızların olduğu bir bölgede kümelenecektir. Bu olay, parçacıkların difüzyonunu teorik olarak düşünülenenden daha yoğun yapar. Teorik olarak şöyle düşünülmüştü: “Yörüngesel hareket esnasında, dalga ilerleme yönüne bağlı olarak parçacıklar, negatif bir hız ile de karşılaşılır ve yörünge yaklaşık olarak daireseldir.” Halbuki, yüzen parçacıklar, kaldırma kuvvetinden dolayı uzun süre pozitif yörünge hızının etkisine maruz kalırlar.

Başka bir veri setini teori ile karşılaştırmıştır. Türbülanslı difüzyon katsayısı 2 yolla elde edilmiştir. Birincisi; hızın belli bir değer etrafında alçalıp yükselmesini ölçerek, ikincisi ise; boya serbest bırakma deneylerinden farklı metotlarla elde edilen difüzyon katsayılarıdır. Bunlar ise zamanın katsayısı dışında zamanla aynı fonksiyonel ilişkiyi gösterirler.



Şekil 1.1. Tokai-Mura Denizinde Ölçülen  
Difüzyon Katsayıları

Hız dalgalanmalarının korelasyonuna dayanan difüzyon katsayısı, gözlem zamanı  $10^4$  sn.den büyük olduğu zaman sabit bir değere yaklaşma eğilimindedir. Boya

serbest bırakma deneylerinde buna rastlanmamıştır. Lineer kısımları için difüzyon katsayıları :

i) Kıyı çizgisi boyunca difüzyon katsayısı;

$$D_u = 5,9 \times 10^{-3} t \text{ (m}^2/\text{sn)} \quad (1-47)$$

ii) Kıyı çizgisine dik yöndeki difüzyon katsayısı;

$$D_v = 3,2 \times 10^{-4} t \text{ (m}^2/\text{sn)} \quad (1-48)$$

iii) Boya serbest bırakma deneylerinde ölçülen;

$$D_d = 1,6 \times 10^{-5} t \text{ (m}^2/\text{sn)} \quad (1-49)$$

Eşitlik (1-46)'da gösterilen difüzyon katsayısı eşitlik (1-49)'da verilenden daha küçük olmasına rağmen boya serbest bırakma deneyinden elde edilen difüzyon katsayısı, hız dalgalanmalarının korelasyonu sonucu elde edilenlerden çok daha küçüktür. Böylece şu söylenebilir; boya serbest bırakma deneylerinden elde edilen difüzyon katsayıları, hız dalgalanmaları yardımıyla elde edilenlerden daha küçük değerler vermektedir.

Kıyı çizgisine paralel ve dik yöndeki difüzyon katsayıları arasındaki farklılık, büyük bir olasılıkla kıyının jeografik özelliklerine bağlıdır. Teorik olarak türetilmiş, düzensiz dalgalara bağlı olan ve eşitlik (1-44)'te türetilmiş difüzyon katsayısı  $10^{-3}t$  (m<sup>2</sup>/sn) mertebesinde dir. Bu yüzden eşitlik (1-47)'deki kıyı çizgisi boyunca olan difüzyon katsayısı ile bir uyuma gösterir.

Hız dalgalanmaları, deniz yüzeyinin 3 m altında ölçülmüştür. Deniz yüzeyindeki hız dalgalanmaları, 3 m aşağıda ölçülenden daha büyük olduğu için ve teoride deniz yüzeyindeki akışkan parçacığı ile ilgilenildiğinden, teori ve deneyleri karşılaştırmak için deneylerdeki ölçümlerin deniz yüzeyinde yapılması gerekir. Eşitlik (1-47) ve (1-48)'deki değerlerin daha büyük çıkması kaçınılmazdır. Ayrıca, denizde ölçülen difüzyon katsayısının büyüklüğünün sadece düzensiz dalgaların etkisini hesaba katan teorideki difüzyon katsayısından büyük olması makuldür. Çünkü rüzgar sürüklemesi, kıyasal akıntılar, gel-git akımlar gibi faktörler difüzyon katsayısına katkıda bulunurlar.

Teori ve ölçüm koşulları arasındaki değer farklılıklarını da belirtmek gerekir. Teoride, derin su koşulları düşünülürken ölçümler sığ denizde yapıldığı için dalgaların sığ ortamdaki değişimlerinin hesaba katılması gerekmektedir. Aynı zamanda kısa tepeli dalgalar da göz önünde tutulmalıdır.

Teorik olarak türetilen eşitlik (1-44) gelişmekte olan 3. dereceden dalğanın amplitüdünün ancak birincil dalgadan daha küçük olması durumunda geçerlidir. Gelişmekte olan 3. dereceden dalğanın zaman boyutu  $10^2$  mertebesinde dir. Bu ise şekil 4'te bahsedilen zaman ölçeği dışındadır. Ama verilerin ekstrapolasyonu ile daha kısa zaman dilimlerinde sonuçlar uyuşmaktadır.

Son bölümde, düşey karışımdan bahsedecek olursak yatay difüzyon ile aynı yoğunlukta bir karışımdan söz edilebilir. Deniz düşey yönde tabakalı olduğu için düşey yöndeki difüzyon bu tabakalaşmadan etkilenir.

**Waldichuk (1974)**, denizlere boşaltım sırasında göz önünde tutulacak kriterleri şöyle sıralamıştır.

- 1) Bölgenin coğrafi yapısı
- 2) Sahil hattı konumu
- 3) Taban topografyası
- 4) Gel-git akımları
- 5) Rüzgarlar
- 6) Yoğunluk tabakalaşması

Dispersiyonu oluşturan iki temel süreç olan adveksiyonun ve difüzyonun enerji kaynaklarının gel-git akımları, rüzgarlar, akımlar ve solar radyasyonu olduğu bilinmektedir. İşte bu şartlar altında atıksu hacmi, boşaltım derinliği ve atık alan boyutları arasında deneysel yolla bir ilişki bulunmaya çalışılmıştır.

$$N = \frac{KQ^2}{YX^2} \quad (1-50)$$

Burada;

$N$ = coliform katsayısı,

$Q$ = deşarj hacmi,

$Y$ =deşarj derinliği,

$X$ =deşarj uzaklığı,

$K$ = ilgili bölge katsayısıdır.

**Washburn (1991)**, deniz ortamında bir dizi deney yapmıştır. Atık tarlasındaki bir su kolonundan alınan bir numunede 3 temel bileşenin olduğunu bulmuştur. Bunlar:

- 1) Atıksıvıdan gelen parçacıklar
- 2) Tekrar asılı hale geçen taban sedimentleri (Dalga etkisinden dolayı)
- 3) Phytoplankton

Atıksıvıdan ve taban sedimentinden oluşan yoğunluk tabakasını ayırt etmek için ışık demeti  $c$ 'nin tuzlulukla değişim grafiği çizilmiştir. Deniz akımlarının hem büyüklük hem de yönündeki değişmelerin bulut yapısını karmaşık ve üç boyutlu yaptığını söylemiştir.

**Zangrando (1988)**, etkili karışım uzunluğunu belirlemek için laboratuarda bir takım çalışmalar yapmıştır. Karışım uzunluğu, enjektör boyutları ve Froude sayısı arasında fonksiyonel bir ifade bulmuştur. Bununla birlikte testler sonucunda enjektör yarıçapı ile ilgili bağıntı bulunamamıştır.

Karışım Uzunluğu: Enjektörün ilk seviyesi (Enjeksiyon derinliği) ile en sonda oluşan karışım tabakasının en alçak noktası arasındaki mesafedir.

Deşarj edilen akışkanın değişmelere karşı koyma kuvvetinin, kaldırma kuvvetine oranı Froude sayısı olarak ifade edilmiştir.

$$F_r = \frac{u_0}{\left( g \frac{\Delta p_0}{p_0} B \right)^{1/2}} \quad (1-51)$$

Burada;

$p_0$ = enjekte edilen sıvının yoğunluğu,

$\Delta p_0$ = enjekte edilen sıvı ile çevredeki akışkan arasındaki yoğunluk farkı,

$B$ = enjekte yapılan delik genişliği,

$u_0$ =deşarj hızıdır.

Deneysel gözlemlere dayanarak karışım katsayısı şu şekilde bulunmuştur.

$$\alpha = 0,068 + \Pi\lambda \left( 2 - \sqrt{\frac{3}{1 + \lambda^2}} \right) \frac{\sin \theta}{Fr^2} \quad (1-52)$$

$$\frac{\Delta h}{B} = 67,85 - 3,939F_r - 0,0303F_r^2, \dots\dots \quad (1-53)$$

Burada;

$\alpha$ = karışım katsayısı,

$\lambda$ = yoğunluk profilinin hız profili genişliklerine oranı,

$\theta$ = jet eğimi;

$\Delta h$ = karışım uzunluğu,

$B$ = enjektör genişliğidir.

**Zeidler (1976)**, dalgalar sebebiyle oluşan dispersiyon olayını incelemiştir. Boyutsal analizlere dayanarak labaratuarda yaptığı bir dizi deney sonucunda aşağıdaki fonksiyonel ifadeyi yazabilmiştir.

$$K \sim a^2 T^{-1} f(aL^{-1}, L^2 T^{-1} \nu^{-1}, zL^{-1}, ghT^2 L^{-2}) \quad (1-54)$$

Burada;

$a$ = dalga amplitüdü,

$T$ = periyot,

$\nu$ = kinematik viskozite,

$L$ = dalga boyu,

$h$ = su derinliği,

$z$ = kartezyen koordinatlarıdır.

Derin sulara parantez içindeki son terim ihmal edilebilir. Masch'ın deneylerindeki dalga dikliğinin sınırlı bir dizide (% 10 civarı) kalması a.  $L^{-1}$  difüzyon katsayısı üzerindeki etkisini açık bir şekilde sergilemesine izin vermemiştir. Dalga tankında yapılan bir dizi deney sonucunda, akımların yokluğunda dalgaların sebep olduğu difüzyonun homojen olduğu ortaya çıkmıştır. Difüzyon katsayısı  $K_x$ 'in ve yanal (dalga tepesi yönünde) difüzyon katsayısı,  $K_y$ 'nin sabit olduğunu vurgulamıştır.  $K_x$  ve  $K_y$ 'nin, sade karakteristik boyutsuz dalga parametresi  $R_w$ 'ye bağlı olduğunu bulmuştur. Bu parametre  $h/T$ 'nin yörüngesel hız olarak kabul edildiği Reynold's sayısı olarak yorumlanabilir.

$$K_x = 1,8.10^{-6}.R_w^{2,4} \quad (1-55)$$

$$K_y = 8.10^{-5} R_w^{1,7} \quad (1-56)$$

$$R_w = \frac{q^3}{T} \left( \sinh \frac{2\pi h}{L} \right)^{-1/1} \quad (1-57)$$

Diğer yandan dalgaların ve akımların varlığında difüzyon mekanizmasını dalga düzensizliği ile izah etmiştir.

$$\overline{C'u_z} = \iint f_{c'uz} dw d\alpha = -4 \frac{\partial \overline{C}^{(0)}}{\partial z} \int_0^{\pi/2} \int_0^\infty \frac{g^2 K_x w^4}{g^4 + K_x^2 w^6} \exp\left(-2 \frac{z}{g} w^2\right) f_z(w, \alpha) d\alpha dw \quad (1-58)$$

Burada;

$\iint f_{c'uz}$  = spektral çevrinti difüzyonu (dalgalar ve akımlardan dolayı),

$w$ = dairesel frekans,

$g$ = yerçekimi ivmesi,

$\alpha$ = açı,

$C(z)$ = düzenli akımlarla değişen konsantrasyon,

$C'(z)$ = çalkantılı dalga hareketi ile değişen konsantrasyondur.

$$\overline{C}(z) = \overline{C}^{(0)}(z) + \varepsilon \overline{C}^{(1)}(z) + \varepsilon^2 \overline{C}^{(2)}(z) + \dots \quad (1-59)$$

$$C'(z) = C'^{(0)}(z) + \varepsilon C'^{(1)}(z) + \dots \quad (1-60)$$

$u_z$ = yörüngesel hızın düşey bileşeni

Zeidler, yaptığı bir alan çalışmasında dalgalar ile akımlar arasındaki açının dispersiyon olayında büyük rol oynadığını ifade etmiştir. Kritik açı aşıldıktan sonra dalgaların dispersiyona bir ivme verdiğini ifade etmiştir.

## **2. DALGA HAREKETİNİN MEKANİĞİ**

### **2.1. GİRİŞ**

Su dalgalarının etkileri, kıyı mühendisliği alanında çok önemlidir. Dalgalar, sahillerin bileşimi (kompozisyonu) ve geometrisini belirlemede ana faktördür. Ayrıca limanların dizayn ve planlanmasında, su yollarında, kıyı koruma tedbirlerinde, kıyı yapıları ve diğer kıyı çalışmalarında önemli etkiye sahiptir.

Yüzey dalgaları, genellikle enerjilerini rüzgardan sağlarlar. Bu dalga enerjisinin önemli bir miktarı, sahillerde ve kıyıya yakın bölgelerde dağıtılır.

Sonuç olarak, kıyısız çalışmaların dizaynı ve planında dalga hareketinin mekaniğinin anlaşılması gereklidir.

### **2.2. DALGA MEKANİĞİ**

#### **2.2.1. Genel**

Dalga yayılımının yönü, tekil dalgaların yönlerinin bir ortalaması olarak değerlendirilebilir. Tekil dalgaların birbiri arasındaki etkileşimden dolayı tarif edilmesi güçtür. Dalgalar, genellikle birbirlerine çarparak türbülans ve çevrintiye dönüşürler.

Bu dalgalar üretildikleri bölgeden ayrıldıktan sonra yüzlerce veya binlerce kilometre uzağa ilerleyebilirler. Dalga, üzerindeki havayla etkileşerek, enerjisinin bir kısmıyla türbülans oluşturur ve bir diğer kısmını sıvının içerisine dağıtır.

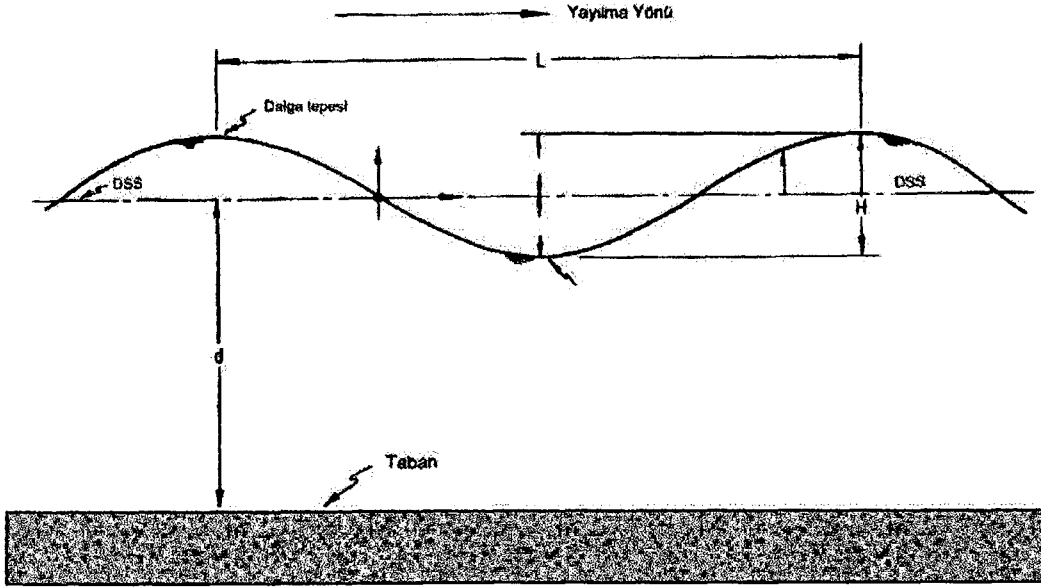
Genel olarak, gerçek su dalgasının tabii yapısının rasgele hareket etmesi, 3-boyutlu karakterde olması ve lineer olmamasından dolayı matematiksel olarak tarif etmek karmaşık ve zordur. Bununla birlikte, basit dalgaları tarif eden iki klasik teori mevcuttur. Bunlardan birini Airy 1845'te, diğerini de Stokes 1880'de geliştirmiştir. Su derinliği ile dalga boyunun arasındaki ilişkinin çok küçük olmadığı durumda Airy

ve Stokes teorileri, dalğanın davranışını daha iyi tahmin ederler. Sığ sular için, Cnoidal dalga teorisi, basit dalgaların kabul edilebilir yaklaşımını sık sık sağlarken, kırılma bölgesine yakın çok sığ sular için Solitary dalga teorisi dalga davranışının kesin özelliklerini daha gerçekçi değerlerle tahmin etmemize imkan verir. Bu teoriler, dalga davranışının tarifinde matematiksel denklemlerle birlikte onların temel özelliklerine göre tarif edilmiştir.

### 2.2.2. Dalga Temelleri ve Dalgaların Sınıflandırılması

Su dalgasının fiziksel açıklaması, hem yüzey şeklini hem de dalga altındaki sıvı hareketini kapsamaktadır.

- Basit Dalga: Basit matematiksel terimler ile tarif edilen dalgaya basit dalga denir.
- Kompleks Dalgalar: Bir çok bileşenlerden oluşan ve şekil veya hareketinin izah edilmesi zor olan dalgalara Kompleks Dalgalar denir.
- Sinüzoidal Dalgalar (Basit Harmonik Dalgalar): Basit dalgaların yüzey profillerinin basit sinüs ve kosinüs fonksiyonları ile açıklanmasına Sinüzoidal veya Basit Harmonik Dalgalar denir.
- Periyodik Dalga: Hareket ve yüzey profili eşit zaman aralıklarında tekrar eden dalgaya Periyodik Dalga denir.
- İlerleyen Dalga: Sabit bir noktaya bağımlı olarak hareket eden dalga modeline İlerleyen Dalga denir.
- Dalğanın Yayılım Yönü: Bir dalğanın hareket ettiği yöne Dalğanın Yayılım Yönü denir.
- Tam Duran Dalga: Sabit bir pozisyonda sadece yukarı ve aşağı doğru hareket eden dalga modeline Tam Duran Dalga denir.
- Dalğanın Süreklilik Formu: İlerleyen dalga eğer serbest yüzey konumunda herhangi bir değişiklikle karşılaşmadan yayılıyorsa buna Dalğanın Süreklilik Formu denir.
- Çevrilen Dalga: Su parçacıklarının dalgayla atıldığında ilk konumuna dönmeyen dalgaya Çevrilen Dalga denir. Tekil dalgalar dalga çevrimine örnektir.



Şekil 2.1. Dalga özelliklerinin gösterimi.

- Dalga Yüksekliği (H): Dalga çukurunun tabanı ile dalga tepesinin tepesi arasındaki düşey mesafeye Dalga Yüksekliği denir.
- Dalga Boyu (L): Ardışık iki tepe veya çukur arasındaki yatay mesafeye Dalga Boyu denir.
- Dalga Peryodu (T): Bir noktadan geçen ardışık iki dalga tepesi arasındaki zamana Dalga Peryodu denir.
- Dalga Hızı (C): Ortogonal üzerinde dalgaların yayıldığı hızdır.
- Dalga Grup hızı (C<sub>g</sub>): Bir dalga dizisinin ilerlediği hızdır veya dalga enerjisinin yayılma hızıdır.  $C_g = 1/2C$  (derin sularda)  $C_g = C$  (sığ sularda)
- Ortalama Su Seviyesi (Durgun Su Seviyesi): Dalga profilinde altındaki alanla üstündeki alanın eşit olduğu eksene denir.
- Genlik (a): Genellikle dalga yüksekliğinin yarısına eşittir. Durgun su seviyesinin yukarısında ölçülen değer pozitifdir. Aşağısında ölçülen değer ise negatiftir.
- Dalga Cephesi: Dalga tepesinden geçen yanal yöndeki çizgiye denir.
- Dalga Ortogonalı: Dalgaların ilerlemekte oldukları ve dalga cephesine dik olan doğrultudur.
- Dalga Dikliği: Dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranına denir.
- Dalga Enerjisi (E): Potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamıdır. Kinetik enerji dalga hareketi ile birleşmiş su tanecik hızlarının etkisiyle oluşan toplam enerjinin

parçasıdır. Potansiyel enerji ise çukurun yukarısındaki akışkan kütlesinden kaynaklanan enerjidir.

- Dalga Enerjisi Akısı: Dalga grup hızı ile enerjinin çarpımına eşittir ve dalganın gücü olarak ta isimlendirilir.

Ağırlık Dalgaları iki bölüme ayrılabilir;

(a) Rüzgarın etkisiyle dalgalar.

(b) Okyanus dalgaları (Swell); bu dalgalar kaynağını açık denizlerdeki fırtınalardan alırlar, hareketleri irrotasyoneldir (çevrintisiz) ve düzenli dalgalardır.

Denizlerde, genellikle peryotları ve tepeleri kısa, dik dalgalar oluşur ve okyanus dalgasına göre daha bozuk bir şekilde görünürler..

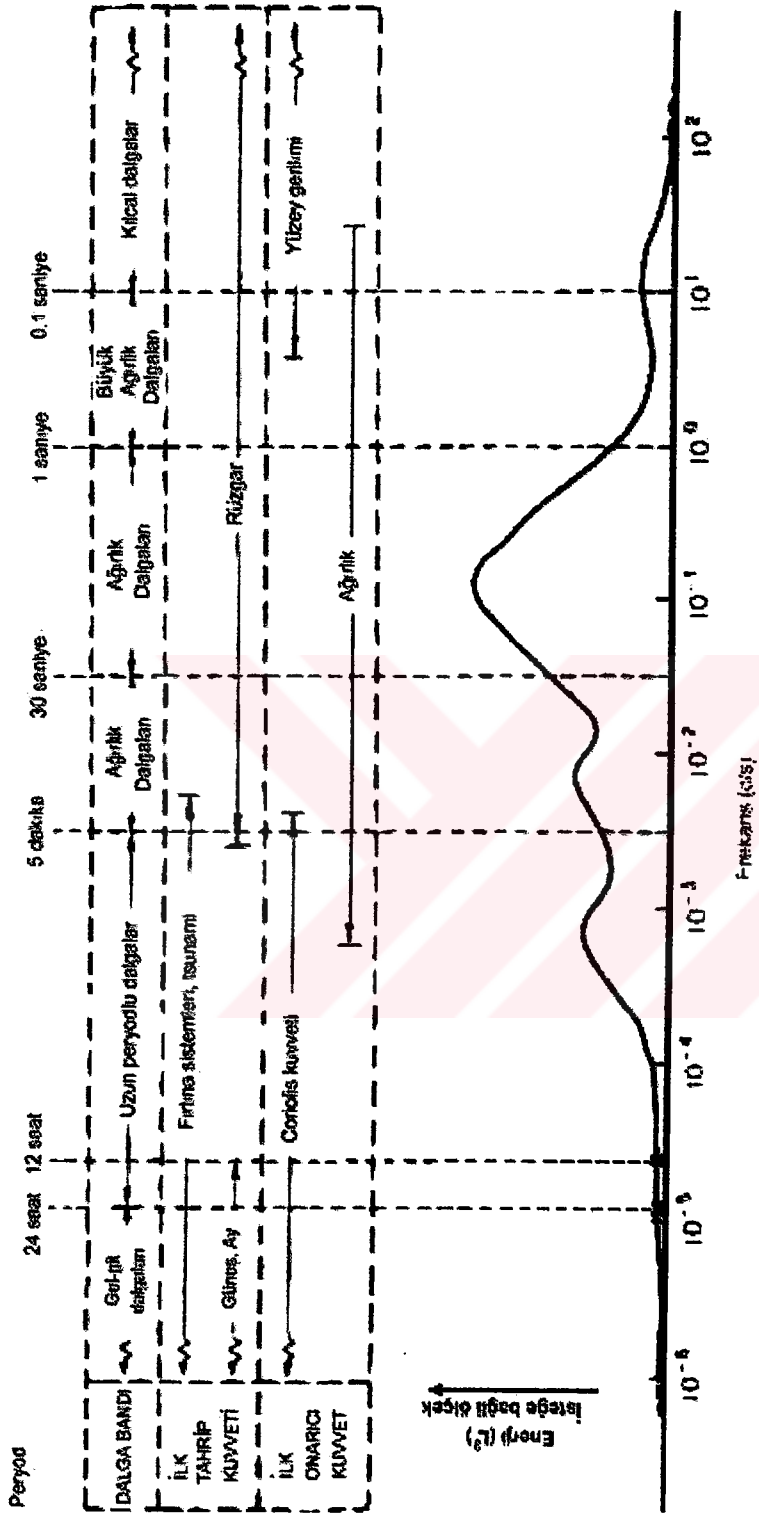
(Şekil 2-2) Ağırlık dalgaları olarak sınıflandırılan dalgalarla ilişkili olan toplam dalga enerjisinin toplam miktarını gösterir. Bundan dolayı ağırlık dalgaları kıyısal ve açık deniz yapılarının planlanmasında son derece önemlidir.

Basit dalga teorilerinin geliştirilmesinde kullanılan genel kabuller aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

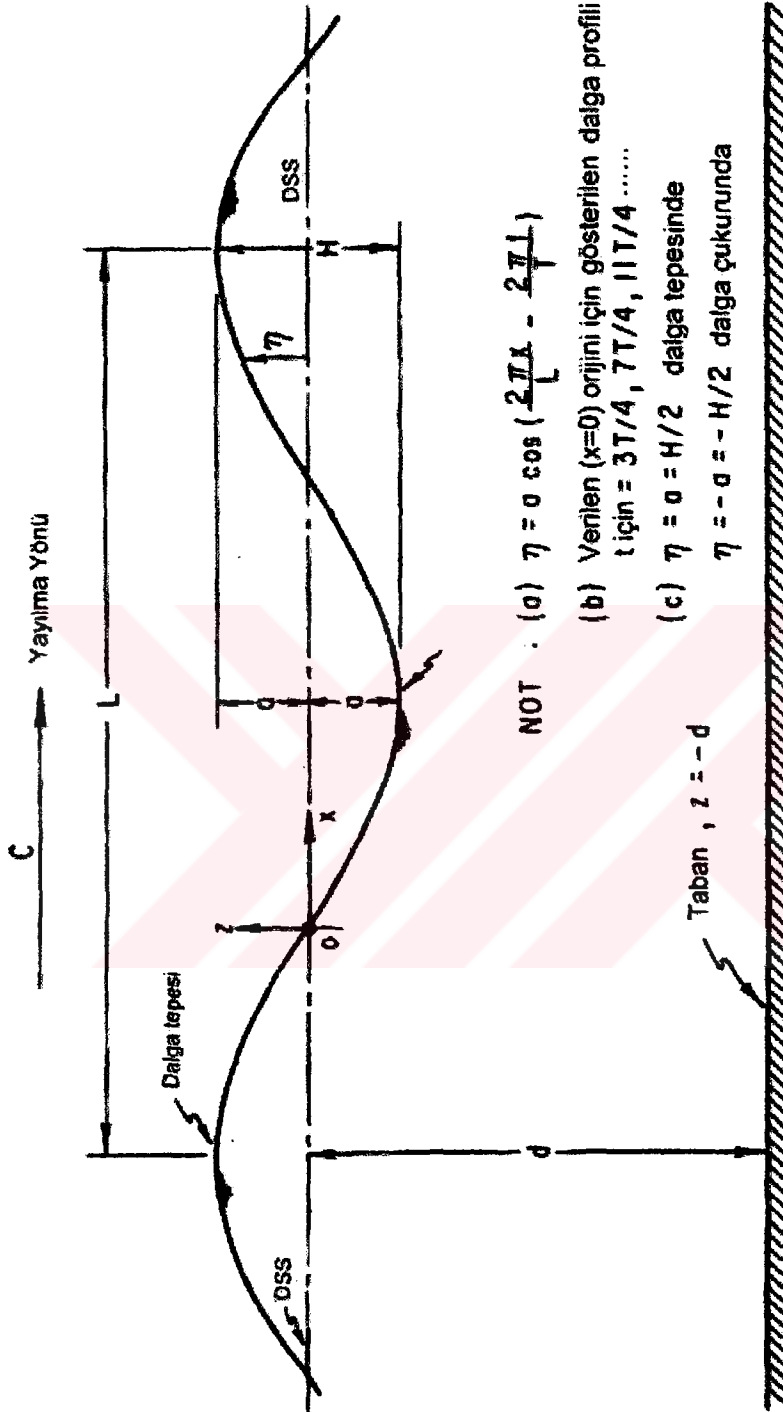
- (a) Akışkan, homojen ve sıkışmazdır. Bu sebepten dolayı akışkanın yoğunluğu sabittir.
- (b) Yüzeysel gerilme ihmal edilebilir.
- (c) Koriolios etkisi ihmal edilebilir.
- (d) Serbest yüzey basıncı üniform ve sabittir.
- (e) Akışkan idealdir. (Viskozitesi sıfırdır)
- (f) Göz önünde bulundurulan belirli bir dalga diğer hiçbir su hareketi ile etkileşim içinde değildir.
- (g) Deniz yatağı yatay, değişmez ve geçirimsiz bir sınıra sahiptir. Sahip olduğu bu özelliklerden dolayı yatak üzerindeki düşey hız sıfırdır.
- (h) Dalga genliği küçüktür ve dalga modeli zaman ve uzay boyutunda değişken değildir.
- (i) Dalgalar düzlemseldir veya uzun dalga tepelerine sahiptir (İki boyutludur).

(Şekil 2-3) pozitif x- yönündeki iki boyutlu ve basit ilerleyici dalganın yayılımını göstermektedir. “ $\eta$ ” sembolündeki x ve t zamanın bir fonksiyonudur ve SWL (durgun su seviyesi) ile göreceli olarak su yüzeyinin yerinden ayrılmasını gösterir. Dalga tepesinde “ $\eta$ ”, dalganın genliğine veya dalga yüksekliğinin “1/2”sine eşittir. Akışkan içerisindeki bir noktada (x,z) su parçacığının hareketinin yatay ve düşey bileşenleri;  $u = \partial\phi/\partial x$ , ve  $W = \partial\phi/\partial z$  olarak tarif edilebilir. Uygun sınır koşulları ile birlikte hız potansiyeli, Laplace Denklemi ve Bernoulli Dinamik Denklemleri küçük genlikte dalga formüllerinin çıkartılmasında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu konudaki gelişmeler Lamb (1932), Eagleson ve Dean (1966) ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir.





Şekil 2.2. Yüzey dalgalarının dalga bandı, ilk tahrip kuvveti ve ilk onarıcı kuvvetin sınıflandırılmasıyla okyanus dalga enerjisinin takribi dağılımının örneklendiği.



Şekil 2.3. Temel, sinüzoidal ve ilerleyen dalganın tanımı.

**a) Dalga Hızı, Dalga Boyu, Dalga Peryodu:**

Bir dalga modelinin yayılımı esnasındaki hıza faz hızı veya dalga hızı “c” denir. Bir dalga peryodunda bir dalganın kat ettiği mesafe dalga boyuna eşittir ve dalga hızı, dalga boyu ve dalga peryoduna bağlıdır.

$$L = c.T \Rightarrow c = \frac{L}{T} \quad (2-1)$$

Dalga hızının, dalga boyu ve su derinliği ile hesaplanması;

$$c = \sqrt{\frac{g.L}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (2-2)$$

(2-1) ve (2-2) eşitlikleri şu şekilde yazılabilir.

$$c = \frac{g.T}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2-3)$$

$k$ = dalga sayısını,

$W$ = açısal dalga frekansını ifade eder.

$$k = \frac{2\pi}{L}, W = \frac{2\pi}{T} \quad (2-4)$$

(2-1) ve (2-3) denklemlerinden, derinlik ve dalga peryodu kullanılarak dalga boyunun tarifi yapılabilir.

$$L = \frac{g.T^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2-4a)$$

Ağırlık dalgaları ayrıca su derinliğine göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalar  $d/L$ 'nin büyüklüğüne göre yapılmıştır ve  $\tanh(2\pi d/L)$  fonksiyonu ile alınan limit değerleri kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Ağırlık Dalgalarının Sınıflandırılması

| Sınıflandırma | d/L                 | 2Πd/L              | Tanh(2Πd/L) |
|---------------|---------------------|--------------------|-------------|
| Derin Su      | >1/2                | >2                 | ≈1          |
| Geçiş Bölgesi | 1/25 ten ½ ye kadar | 1/4'ten Π'ye kadar | Tanh(2Πd/L) |
| Sığ Su        | <1/25               | <1/4               | ≈2Πd/L      |

Derin sularda (2-2) ve (2-3) denklemlerini sadeleştirmek için  $\tanh(2\pi d/L) = 1$  kabul edilmektedir.

$$C_0 = \sqrt{\frac{g \cdot L_0}{2\pi}} = \frac{L_0}{T} \Rightarrow C_0 = \frac{L_0}{T} \quad (2-5)$$

ve

$$C_0 = \frac{g \cdot T}{2\pi} \Rightarrow C_0 = 1,56T \quad (2-6)$$

“O”nun  $L_0$  ve  $C_0$ 'a katılmasıyla gösterilmiştir. “T” peryodu sabit kalır ve salınımlı dalgalar için derinlikten bağımsızdır. Bundan dolayı bu işlem iptal edilmiştir.

(Ippen 1966) metre ve saniye birimleri belirtildiğinde  $\frac{g}{2\pi}$  sabiti her saniyenin karesi için 1,56 m.ye eşit alınır.

$$C_0 = \frac{g \cdot T}{2\pi} = \frac{9,81}{2\pi} T \Rightarrow C_0 = 1,56T (m / sn) \quad (2-7a)$$

ve

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} = \frac{9,81}{2\pi} T^2 \Rightarrow L_0 = 1,56T^2 m \quad (2-8a)$$

Eğer feet ve saniye birimleri belirtilirse,  $\frac{g}{2\pi}$  sabiti saniyenin karesinde 5,12 feet'e eşittir.

$$C_0 = \frac{g}{2\pi} T \Rightarrow C_0 = 5,12T (ft / sn) \quad (2-7b)$$

ve

$$L_0 = \frac{g.T^2}{2\pi} \Rightarrow L_0 = 5,12T^2 (ft) \quad (2-8b)$$

Bağılı su derinliği sıg hale geldiği zaman örneğin  $2\pi d/L < 1/4$  veya  $d/L < 1/25$  olduğu durumda (2-2) denklemi şu şekilde basitleştirilebilir.

$$C = \sqrt{g.d} \quad (2-9)$$

Sonuç olarak bir dalga sıg suda hareket ettiği zaman, dalga hızı sadece suyun derinliğine bağlıdır.

### b) Sinüzoidal Dalga Profili

Basit bir sinüzoidal dalga için yatay uzaklık (x) ve zaman (t) fonksiyonu için serbest yüzeyi tanımlayan denklem şu şekilde gösterilebilir.

$$\eta = a \cos(2\pi x/L - 2\pi t/T) \Rightarrow \eta = H/2 \cdot \cos(2\pi x/L - 2\pi t/T) \quad (2-10)$$

Burada “ $\eta$ ” SWL’ye (durgun su seviyesi) ait su yüzeyinin yüksekliğidir ve “ $H/2$ ” ise dalga genliği “ $a$ ”ya eşit dalga yüksekliğinin yarısıdır.

Bu ifade, pozitif x- yönündeki periyodik, sinüzoidal ve ilerleyen dalga hareketini belirtir. Negatif x- yönündeki hareket eden bir dalga için  $2\pi t/T$  den önceki negatif işaret, pozitif işaret ile değiştirilmelidir.

$$\theta = (2\pi x/L - 2\pi t/T) \quad (2-10a)$$

işleminin sonucu 0,  $\pi/2$ ,  $\pi$  ve  $3\pi/2$  olduğu zaman “ $\eta$ ” değeri sırasıyla  $H/2$ , 0,  $-H/2$  ve 0 olur.

### c) Bazı Faydalı Fonksiyonlar

Bu, (2-3) denkleminin (2-6) denklemiyle; (2-4) denklemlerinin de (2-8) denklemiyle bölünmesiyle gösterilebilir.

$$\frac{c}{c_0} = \frac{L}{L_0} = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2-11)$$

Ve (2-11) denklemlerinin her iki tarafı  $d/L$  ile çarpılırsa sonuç şu şekilde olur.

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2-12)$$

Bu fonksiyonlar lineer dalga teorisiyle tarif edilmiş dalga problemlerinin çözümünü kolaylaştıran fonksiyonlardır.

#### d) Lokal Akışkan Hızları ve İvmeleri

Dalga kuvvet çalışmalarında, bir dalganın geçişi esnasındaki çeşitli  $z$  ve  $t$  değerleri için akışkanın lokal hız ve ivmelerini bilmek çok faydalı olacaktır.

Akışkan bölgesel hızının yatay bileşeni “ $U$ ” ve düşey bileşeni “ $W$ ” aşağıdaki eşitliklerle açıklanmıştır.

$$U = \frac{H}{2} \cdot \frac{g \cdot T}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-13)$$

$$W = \frac{H}{2} \cdot \frac{g \cdot T}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \sinh\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-14)$$

Bu eşitlikler taban üzerindeki herhangi bir mesafedeki  $(z+d)$  akışkanın bölgesel hız bileşenlerini ifade eder. Hızlar  $x$  ve  $t$ 'nin her ikisinde de harmoniktir.

$\theta = \left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$ 'nin verilen değerleri içindir.

$\theta$  = Faz açısını ifade eder.

$\theta = 0, 2\pi, 4\pi$  gibi değerler olduğu zaman maksimum pozitif yatay hız oluşur.

$\theta = \pi, 3\pi, 5\pi$  gibi değerler olduğu zaman negatif yönde maksimum yatay hız oluşur.

Diğer taraftan maksimum pozitif düşey hız  $\theta = \pi/2, 5\pi/2$  gibi değerler olduğu zaman oluşur. (bkz Şekil 2-4).

$\theta=3\pi/2, 7\pi/2$  gibi değerlerde de negatif yönde maksimum düşey hız oluşur. (bkz Şekil 2-4).

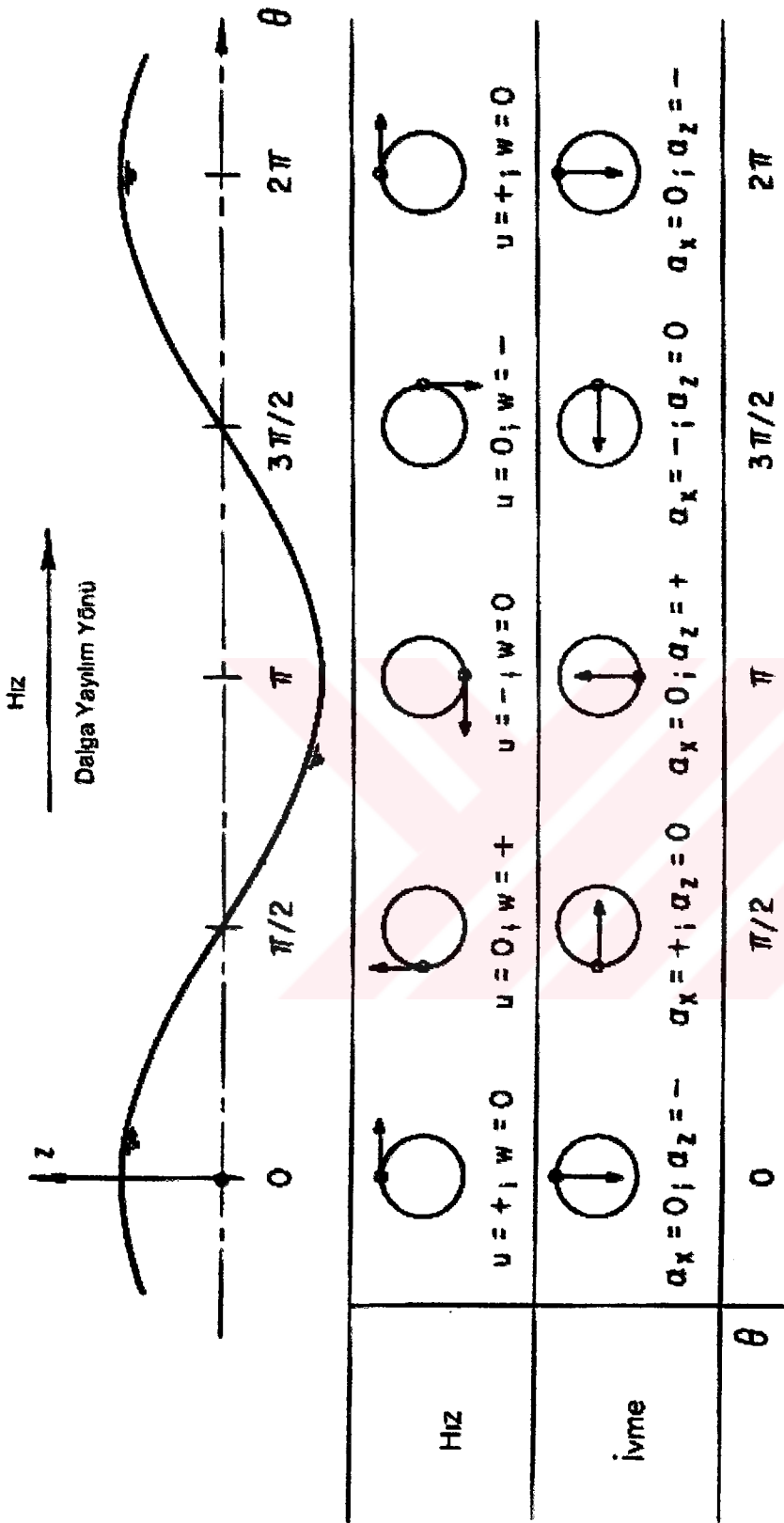
Lokal akışkan partikül ivmeleri, “t” ile ilgili olan her bir eşitliğin ayrımı ile (2-13) ve (2-14) eşitliklerinden elde edilmiştir.

$$\alpha_x = + \frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-15)$$

$$\alpha_z = - \frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-16)$$

$q = \left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$  ‘nin değişik değerleri için akışkanın yatay ve düşey ivmelerinin pozitif ve negatif değerleri Şekil (2-4)’ te gösterilmiştir.

Şekil (2-4), yerel akış hareketinin gösterimi şunu gösterir ki; tepe altındaki akışkan dalga yayılmasının yönünde hareket eder ve dalga çukurunun geçişi anında geri döner. Lineer Teori hiç bir kütle taşınımını kabul etmez. Bunun için bu grafik sadece salınımlı akışkan hareketini gösterir.



Şekil 2.4. Yerel akışkan hızları ve ivmeleri.

### e) Su Partiküllerinin Yer Değiştirmesi

Lineer dalga mekaniğinin diğer önemli bir yanı ise dalga içindeki tek bir su partikülünün yer değiştirmesinin de incelemesidir. Su partikülleri genellikle sığ sularda ve geçiş su bölgelerinde elips şeklindeki yörüngelerde derin su bölgelerinde ise dairesel yörüngelerde hareket eder. Eğer ortalama partikül pozisyonunun elips veya dairenin merkezinde olduğu düşünülürse ortalama pozisyona göre parçacığın düşey yer değiştirmesi dalga yüksekliğinin 1/2'sini aşamaz. Bu yüzden dalga yüksekliğinin küçük olduğu yerde herhangi bir akışkan parçacığının ortalama pozisyonunun yer değiştirmesi çok küçüktür. (2-13) ve (2-14) verilen eşitliklerin birleştirilmesi ortalama pozisyondan, sırasıyla yatay ve düşey parçacık yer değiştirmesini verir. (bkz Şekil 2-5). Böylece;

$$\xi_x = -\frac{Hg.T^2}{4\pi L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-17)$$

$$\zeta_x = +\frac{Hg.T^2}{4\pi L} \cdot \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-18)$$

Yukarıdaki denklemler  $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{2\pi g}{L} \cdot \tanh \frac{2\pi d}{L}$  ilişkisi kullanılarak basitleştirilebilir. Böylece;

$$\xi_x = -\frac{H}{2} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-19)$$

$$\zeta_x = +\frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-20)$$

(2-19) ve (2-20) eşitlikleri aşağıdaki formlarda yazılabilir;

$$\sin^2\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \left[\frac{\xi}{a} \cdot \frac{\sinh(2\pi d/L)}{\cosh[2\pi(z+d)/L]}\right]^2 \quad (2-19a)$$

$$\cos^2\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \left[\frac{\zeta}{a} \cdot \frac{\sinh(2\pi d/L)}{\sinh[2\pi(z+d)/L]}\right]^2 \quad (2-20a)$$

ve ek olarak verilen

$$\frac{\xi^2}{A} + \frac{\zeta^2}{B} = 1 \quad (2-21)$$

Burada;

$$A = \frac{H}{2} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \quad (2-22)$$

$$B = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \quad (2-23)$$

Eşitlik (2-21), “B”ye eşit küçük (düşey)  $\Pi$  yarı eksen ve a’ya eşit, büyük (yatay) bir yarı eksenle elips şeklindeki eğrinin eşitliğidir. A ve B uzunlukları, su partiküllerinin yatay ve düşey yer değiştirmelerinin ölçümleridir. Böylece su taneciklerinin Lineer dalga teorisine göre kapalı yörüngede hareket ettiği tahmin edilir. Bu yüzden derin suda su tanecik yörüngeleri daireseldir. Daha sığ suda elipsler daha yassı olur. Su taneciklerinin yer değiştirmelerinin genliği, su derinliği ile üssel olarak azalır ve derin su bölgelerinde serbest yüzey altındaki “1/2” dalga boyuna eşit derinlikteki dalga yüksekliğine bağlı küçük hale gelir. (Örneğin  $z=Lo/2$  olduğu zaman). Bu da Şekil (2-5)’te gösterilmiştir. Sığ bölgeler için tabana yakın taneciğin yataysal yer değiştirmesi büyük olabilir. Aslında bu hadise, kırılma bölgesindeki açık deniz bölgelerindeki deniz tarafında aşıkardır. Bu bölge, öyle bir yerdir ki dalga hareketiyle ve türbülansla tabandaki katı maddeleri kaldırarak asılmasını sağlar. Su taneciklerinin düşey yer değiştirmesi tabanda sıfırdır. Yüzeyde 0,5 dalga yüksekliğine kadar değişme gösterir.

#### f) Yüzey Altı basıncı

Bir dalga altındaki yüzey altı basıncına katkıda bulunan iki bileşenin özetidir. Bu bileşenler dinamik ve statik basınçlardır. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$p' = p \cdot g \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) - \rho g z + P_a \quad (2-24)$$

Burada;

$p'$ = toplam veya mutlak basınç,

$p_a$ = atmosfer basıncı,

$\rho$ = kütle yoğunluğu, (Birim hacim kütlesi) $\Rightarrow \rho=W/g$

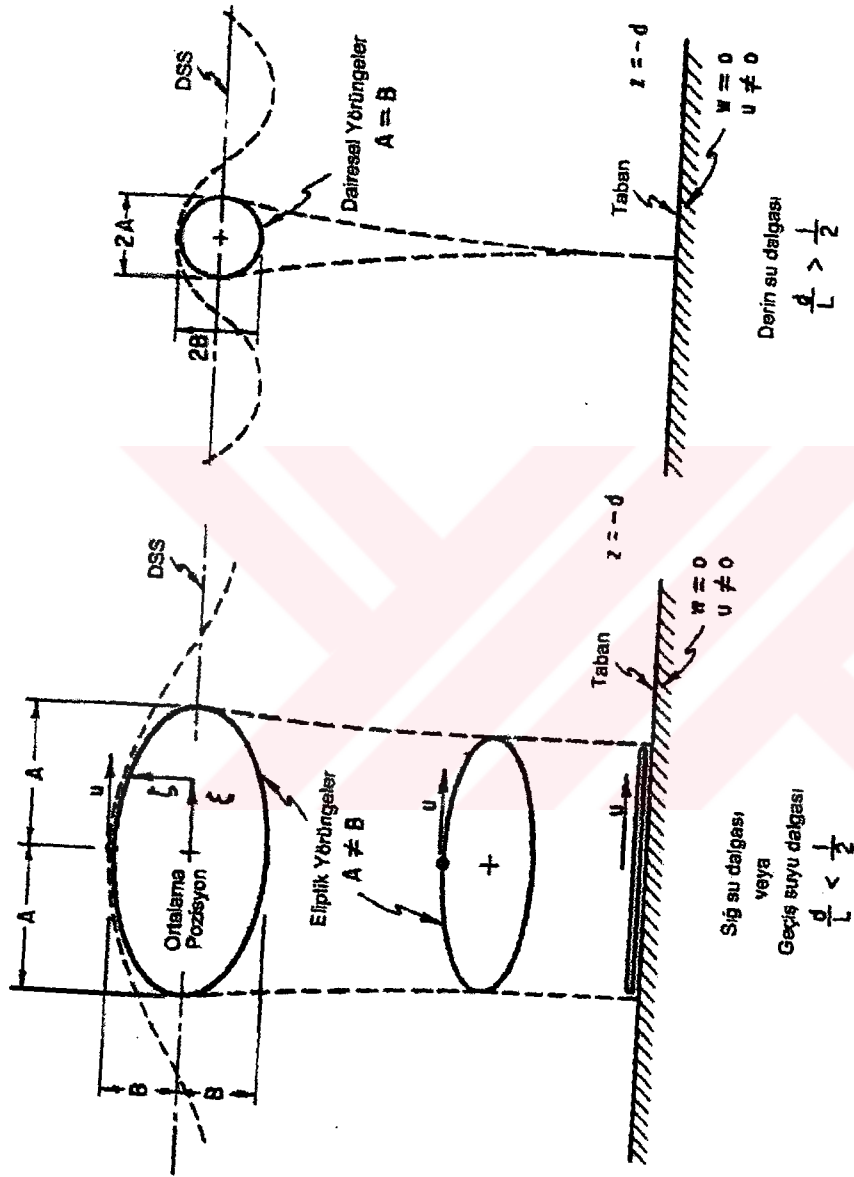
tuzlu su için,  $\rho= 1025 \text{ kg/m}^3$  (2 slugs/foot<sup>3</sup>)

saf su için ,  $\rho= 1000 \text{ kg/m}^3$  (1,94 slugs/foot<sup>3</sup>)

(2-24) eşitliğinin ilk terimi ivmeye neden olan dinamik bileşeni temsil eder. İkinci terim, basıncın statik bileşenidir. Uyum göstermesi için basınç genellikle aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$p = p' - p_a = p \cdot g \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) - \rho g z \quad (2-25)$$

$$p = \rho \cdot g \eta = p \cdot g \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} - \rho g z \quad (2-26)$$



Şekil 2.5. Ortalama pozisyonundan sıg su ve derin su dalgaları için su partikülünün yerdeğişimleri.

(2-26) eşitliğinden;

$$\eta = \frac{H}{2} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

Aşağıdaki oran basıncın tepki faktörünü ifade eder;

$$K_z = \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \quad (2-27)$$

$z=-d$  olduğu zaman tabandaki basınç için “K” faktörüne karşı gelen basınç;

$$K_z = K = \frac{1}{\cosh(2\pi d/L)} \quad (2-28)$$

Basıncın yüzey altındaki ölçmelere dayanan yüzey dalgalarının yüksekliğinin belirlenmesi için sıkça gereklidir. Bu amaç için (2-29) eşitliğini yazmak uygundur.

$$\eta = \frac{N(p + \rho g z)}{\rho g K_z} \quad (2-29)$$

Burada;

“z” basınç göstergesinin SWL altındaki derinliğidir.

“N” lineer basınç teorisi esas alınır bir birime eşit düzeltme faktörüdür. Bir kaç deneysel çalışma “N”yi dalga genliğinin, derinliğin, peryodun ve diğer faktörlerin bir fonksiyonu olarak bulmuştur.

Peryodun azalması ile “N” düşer, uzun peryotlu dalgalar için “N” 1’den büyük olur, kısa peryotlu dalgalar için ise “N” 1’den daha küçük olur.

#### **g) Dalga Grup Hızı**

Dalga grubu veya dalga dizisinin ilerlemelerinin hızı ilerleyen grup içerisindeki bir tek dalganın hızı ile genellikle özdeş değildir.

“Cg” ile ifade edilen grup hızı, bir tek dalga hızı, hız fazı veya dalga hızı olarak (2-2) ve (2-3) eşitliği ile verilmiştir.

Grup hızı kavramı, aynı yönde dalga boyları ve peryotlarında az bir fark ile hareket eden iki sinüzoidal dalga dizisinin etkileşimi kabul edilerek tarif edilebilir. U yüzeyinin eşitliği aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\pi = \pi_1 + \pi_2 = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_1} - \frac{2\pi t}{T_1}\right) + \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_2} - \frac{2\pi t}{T_2}\right) \quad (2-30)$$

İki sinüzoidal dalganın toplamı ile yapılan yüzey profili (2-30) eşitliği ile verilir.

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{T} \left[ 1 + \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right] = n \cdot c \quad (2-31)$$

$$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right] \quad (2-32)$$

Derin sularda  $(4\pi d / L) / \sinh(4\pi d / L) \approx 0$  takriben sıfırdır. Grup hızı, faz hızının yarısıdır.

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_0}{T} = \frac{C_0}{2} \quad (\text{derin suda}) \quad (2-33)$$

Sığ suda  $\sinh(4\pi d / L) \approx 4\pi d / L$

$$C_g = \frac{L}{T} = C \approx \sqrt{g \cdot d} \quad (\text{sığ suda}) \quad (2-34)$$

Sığ suda grup hızı faz hızına eşittir. Böylece sığ suda, dalga hızının bütünüyle derinlikle tarif edilmesi sebebiyle bir dalga dizisi içerisindeki bütün dalga bileşenleri, bileşenlerin iptali ve birbirini izleyen takviyelerin engellenmesi ile aynı hızda ilerleyecektir.

Derin su bölgesi ile geçiş su bölgesinde dalga hızı, dalga boyuna bağlıdır. Bundan dolayı biraz daha uzun dalgalar biraz daha hızlı ilerleyecekler ve dalga gruplarında sonuçlanan küçük faz farkları üreteceklerdir. Bu dalgaların dağıtıcı veya orta dağıtıcı

içinde yayıldığı söylenir. (Örneğin; ortada hızlar dalga boyuna bağlıdır. Sığ suların dışında ağırlık dalgalarının hız fazları).

Grup hızlarında grup dalgalarını takip eden gözlemci, dalga grubunun önünde gözden kaybolan ve faz hızında ilerleyen gruptan ileri doğru hareket eden grubun arkasında başlayan dalgaları gözlemleyecektir. Grup hızı önemlidir çünkü dalga enerji iletimi dalga grup enerjisi üzerinden sağlanır.

#### **h) Dalga Enerjisi ve Gücü**

Dalga sisteminin toplam enerjisi, dalganın kinetik enerjisi ve potansiyel enerjisinin toplamıdır. Kinetik enerjisi, dalga hareketi ile birleşmiş su tanecik hızlarının etkisiyle oluşan toplam enerjinin bir kısmıdır. Potansiyel enerjisi, çukurun yukarısında oluşan akışkan kütlesinin bir kısmından sonuçlanan enerjinin diğer kısmıdır.

Dalga tepesi, Lineer Dalga Teorisi'ne göre, eğer potansiyel enerjisi durgun su seviyesine bağlı olarak belirtilmiş ise bütün dalgalar aynı yönde yayılmıştır ve kinetik ve potansiyel enerji bileşenleri birbirine eşittir.

Bir dalga boyunda birim tepe genişliğine karşı gelen toplam dalga enerjisi aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{16} + \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{16} = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{8} \quad (2-35)$$

$K$ = kinetik enerjisini,

$p$ = potansiyel enerjisini ifade eder.

Birim yüzey alanına karşı geldiği iddia edilen toplam ortalama dalga enerjisi, özgül enerjisini veya enerji yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade eder.

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2}{8} \quad (2-36)$$

Dalga enerjisi akısı oranıdır. Bu oran tüm derinliğin aşağısına uzanan ve ilerleyen dalga yönüne dik düşey bir düzlemde dalga yayılmasının yönünde iletilir.

Dalga ilerlemesinin yönüne dik, düşey bir düzlemde yayılan ortalama enerji akısının her birim dalga tepesi genişliği şudur;

$$\bar{P} = \bar{E}nC = \bar{E}C_g \quad (2-37)$$

Enerji akısı  $\bar{P}$  genellikle dalga gücü olarak adlandırılır.

$$\bar{P}_0 = \frac{1}{2} \bar{E}_0 C_o \quad (\text{derin su}) \quad (2-38)$$

$$\bar{P} = \bar{E}C_g = \bar{E}C \quad (\text{sığ su}) \quad (2-39)$$

$\phi$  = Enerjinin yayıldığı tabaka ile dalganın ilerleme yönü arasındaki açıdır.

Dalgalar hareket ettiği zaman tepeleri, taban eşyükselti eğrilerine paralel olur.

$$\bar{E}_0 n_0 C_o = \bar{E}nC \quad (2-40)$$

veya

$$n_0 = \frac{1}{2} \text{ için}$$

$$\frac{1}{2} \bar{E}_0 C_o = \bar{E}nC \quad (2-41)$$

Dalga tepesi taban eş yükselti eğrilerine paralel olmadığı zaman dalga bazı parçaları farklı hızlarla hareket edecektir ve dalga kırılacaktır. O zaman (2-41) eşitliği uygulanamaz.

| DERİNLİĞE BAĞLI                                | Sığ su<br>$\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$                                                | Geçiş bölgesi suyu<br>$\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$                                                            | Derin su<br>$\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$                                  |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1. Dalga profili                               | Aynı                                                                                  |                                                                                                                             | Aynı                                                                     |
| 2. Dalga hızı                                  | $C = \frac{1}{T} = \sqrt{gd}$                                                         | $\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$                      | $C = C_0 = \frac{1}{T} = \frac{gT}{2\pi}$                                |
| 3. Dalga boyu                                  | $L = T \sqrt{gd} = CT$                                                                | $C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right)$                                                   | $L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = C_0 T$                                    |
| 4. Grup hızı                                   | $C_g = C = \sqrt{gd}$                                                                 | $C_g = nC = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] \cdot C$                                        | $C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$                                  |
| 5. Su partikülünün hızı<br>(a) Yatay           | $u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$                                      | $u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\cosh(2\pi d/L)} \right]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta$ | $u = \frac{\pi H}{L} \cdot \frac{L}{L} \cos \theta$                      |
| (b) Düşey                                      | $w = \frac{H\pi}{T} \left( 1 + \frac{1}{d} \right) \sin \theta$                       | $w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\cosh(2\pi d/L)} \right]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta$ | $w = \frac{\pi H}{L} \cdot \frac{L}{L} \sin \theta$                      |
| 6. Su partikülünün ivmeleri<br>(a) Yatay       | $a_x = \frac{H\pi}{T} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$                                 | $a_x = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\cosh(2\pi d/L)} \right]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta$       | $a_x = 2H \left( \frac{\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{L}{L} \sin \theta$  |
| (b) Düşey                                      | $a_z = -2H \left( \frac{\pi}{T} \right)^2 \left( 1 + \frac{1}{d} \right) \cos \theta$ | $a_z = -\frac{g\pi H}{L} \frac{\sinh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\cosh(2\pi d/L)} \right]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta$      | $a_z = -2H \left( \frac{\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{L}{L} \cos \theta$ |
| 7. Su partikülü yerdeğiştirmeleri<br>(a) Yatay | $\xi = -\frac{HT}{4\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$                               | $\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cosh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\sinh(2\pi d/L)} \right]}{\sinh(2\pi d/L)} \sin \theta$           | $\xi = -\frac{H}{2} \cdot \frac{L}{L} \sin \theta$                       |
| (b) Düşey                                      | $\zeta = \frac{H}{2} \left( 1 + \frac{1}{d} \right) \cos \theta$                      | $\zeta = \frac{H}{2} \frac{\sinh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\sinh(2\pi d/L)} \right]}{\sinh(2\pi d/L)} \cos \theta$          | $\zeta = \frac{H}{2} \cdot \frac{L}{L} \cos \theta$                      |
| 8. Yüzeyaltı basıncı                           | $p = \rho g (\eta - z)$                                                               | $p = \rho g \eta \frac{\cosh \left[ \frac{2\pi(z+d)/L}{\cosh(2\pi d/L)} \right]}{\cosh(2\pi d/L)} - \rho g z$               | $p = \rho g \eta \cdot \frac{L}{L} - \rho g z$                           |

Şekil 2.6. Lineer (Airy) Dalga Teorisi'nin ve dalga özelliklerinin özeti.

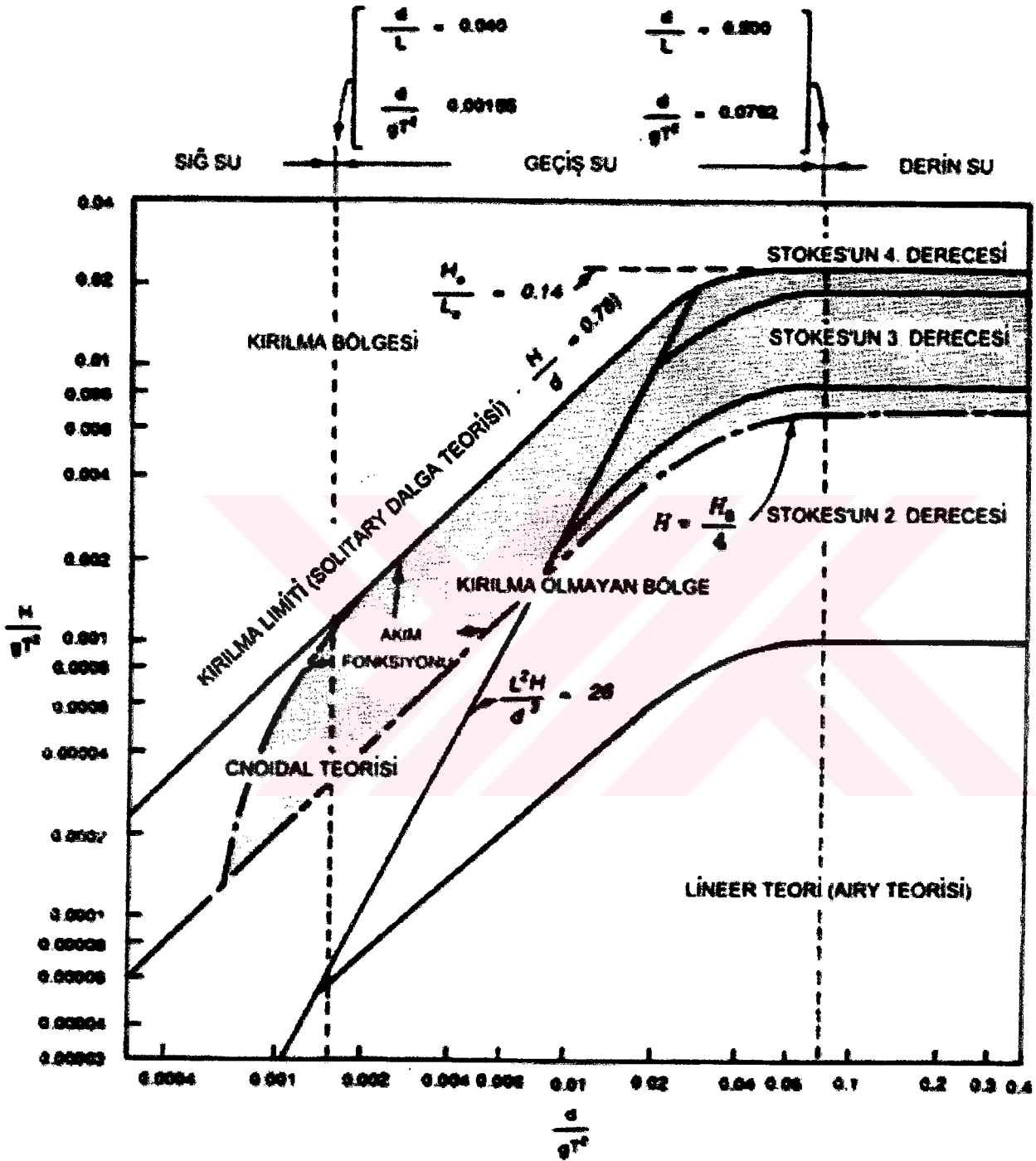
### **i) Lineer Dalga Teorisinin Özeti**

Lineer dalga teorisinin su yüzey profili, suyun tanecik hızları, suyun tanecik ivmelenmeleri ve su taneciklerinin yer değiştirmelerini tarif eden eşitlikler Şekil (2-6) da özetlenmiştir.

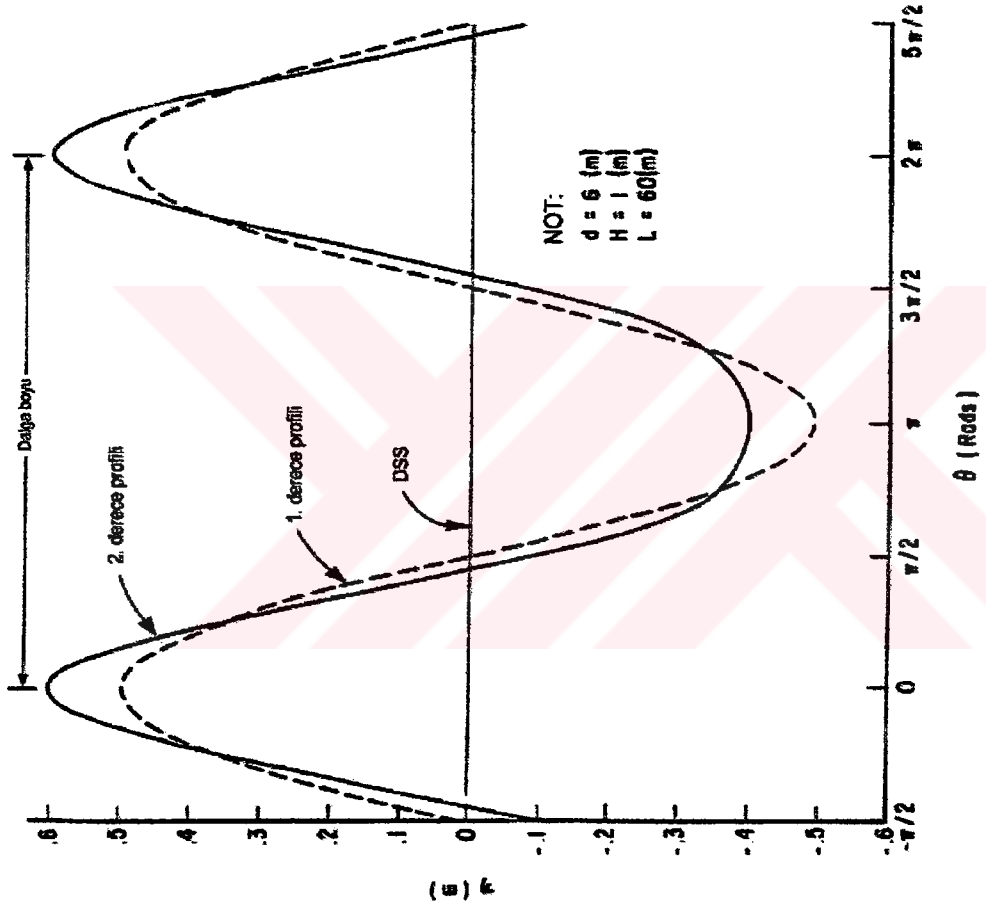
### **j) Birinci ve İkinci Derecedeki Teorilerin Kıyaslanması**

Birinci ve ikinci derecedeki teorilerin karşılaştırılması, belirli bir problem için seçeceğimiz teoriyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Lineer Dalga Teorisi, su partiküllerinin kapalı yörüngeler içinde hareket ettiğini, dalganın durgun su seviyesine göre simetrik olduğunu ve kütle taşınımı olmadığını kabul eder.

Stokes'un ikinci derece teorisine göre dalganın durgun su seviyesine göre simetrik olmadığı, fakat tepeden geçen düşey eksene göre simetrik olduğu, su partikülünün açık yörünge izlediği ve dalganın yayılımı yönünde bir kütle taşınımı olduğu fakat düşey düzlemde böyle bir taşınımın söz konusu olmadığı kabul edilir.



Şekil 2.6. Çeşitli dalga teorilerinin geçerli olduğu bölgeler.



Şekil 2.8. Stokes'un 2. derece profili ile lineer profilin kıyaslanması.

### 3. DALGA KIRILMASI

#### 3.1. GİRİŞ

Dalga hızının, dalganın yayıldığı yerdeki su derinliğine bağlı olduğu (3-1) eşitliği ile ifade edilir.. Eğer dalga hızı derinlikle azalıyorsa dalga boyu da orantılı olarak azalır. Dalga hızındaki bu değişme belli bir açıda sualtı eşyükselti eğrilerine doğru hareket eden bir dalganın tepesi boyunca oluşur çünkü derin sudaki dalga, sığ sudaki dalgadan çok daha hızlı bir şekilde hareket eder. Bu değişimden dolayı dalga tepesinin eşyükselti eğrilerinin sıralanışına doğru kıvrılmasına neden olur. Kırılma olarak adlandırılan bu hadise su derinliği ile dalga boyunun ilişkisine bağlıdır. Sudaki kırılma olaylarına benzer olarak ışık ve ses dalgalarındaki kırılma olayları örnek verilebilir.

##### 3.1.1 Kırılmayı Önemli Kılan Sebepler

(1) Kırılma, derin sulardaki dalga koşulları (dalga yüksekliği, periyodu ve ilerleme yönü) için herhangi bir derinlikte dalga yüksekliğini belirler. Kırılma bu yüzden kıyı boyunca dalga enerjisinin dağılımı ve dalga yüksekliğinde önemli bir tesire sahiptir.

(2) Dalganın farklı kısımlarının yönündeki bir değişme, dalga enerjisinin yakınsaması veya ıraksaması ile sonuçlanır ve maddi olarak ta dalgaların yapılar üzerine uyguladıkları kuvveti etkiler.

(3) Kırılma, sahildeki katı maddelerin birikmesi ve aşınması ile taban topografyasının değişmesine katkıda bulunur. Munk ve Taylor (1947), çok önce sahil maddelerinin birikmesi ve aşınması, kıyı boyunca dalga enerjisi dağılımı ve kırılma arasındaki karşılıklı ilişkiyi göstermişlerdir.

(4) bir bölgenin kıyı yakınındaki batimetri, dalga kırılma örneklerinin hava görüntülerini analiz ederek de bazen elde edilebilir.

Bir kıyı girişinde kırılma, akıntı hızının değişmesi ile oluşabilir. Akıntının oluşturduğu kırılma, dalgaların akıntıyı belli bir açı ile kesmesi ile meydana gelir. Hangi akıntının kırılmaya sebep olacağı, dalga tepesi ile akıntı yönü arasındaki açıya,

gelen dalganın karakteristiklerine ve akıntının gücüne bağlıdır.dalgaların uzaması, akmakta olan akımın yönü ve dalga tepeleri arasındaki ilk açıya, farklı dalgaların özelliklerine ve akımın gücüne bağlıdır. En azından iki durumda, akımlardan kaynaklanan dalga kırılması pratikte önem arz edebilir. Gelgit ile ilgili girişlerde çekilen akıntılar farklı dalgalara doğru ters yönde hareket edebilir ve sonuç olarak dalganın yüksekliğini ve dikliğini artırır. Aynı zamanda Gulf Stream gibi ana okyanus akıntılarının kıyılara ulaşan dalgaların yaklaşma yönünde, yüksekliklerinde ve uzunluklarında bazı etkileri olabilir. Akımlarla oluşan kırılmanın etkilerinin nicel değerlendirilmesi zordur. Genellikle kırılma analizinin iki temel tekniğine grafik ve nümerik olarak ulaşılabilir. Grafik metotta bir kaç yöntem mevcuttur. Fakat temel olarak kırılma analizinin bütün metotları Snell'e ait kanunlara dayanır.

### 3.1.2 Dalga Kırılmasında Farz Edilen Varsayımlar

- (1) Dalga ışınları veya ortogonalleri arasındaki dalga enerjisi sabittir. (Ortogonaller dalga tepeine dik olarak çizilen doğrultudur ve dalga ilerleme yönünde uzanır.)
- (2) Dalga ilerleme yönü dalga tepeine diktir. (Örneğin ortogonallerinin yönünde)
- (3) Belirli bir bölgede peryoduyla verilmiş dalganın hızı sadece bu bölgedeki derinliğe bağlıdır.
- (4) Taban topografyasındaki değişiklikler dalga boyuna bağlı olarak derece derecedir.
- (5) Dalgalar; uzuntepeli, sabit peryotlu, küçük genlikli ve monokramatiklerdir.
- (6) Akımların, rüzgarların, sahillerden yansımaların ve sualtındaki topoğrafik değişmelerin etkileri ihmal edilebilir.

### 3.2. BATİMETRİ İLE GENEL KIRILMA

1/2L Dalga boyundan daha derin suda, hiperbolik tanjant fonksiyonu (tanh) formülünde verildiği gibi,

$$C^2 = \frac{g \cdot L}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (3-1)$$

$\tanh(2\pi d/L) \cong 1$  takriben bire eşittir. (3-1) eşitliği aşağıdaki duruma dönüşür,

$$C_o^2 = \frac{g}{2\pi} L \quad (3-1a)$$

Bu denklemde  $C_o$  hızı derinliğe bağlı değildir. Bu sebeple  $1/2L$  dalga boyundan (derin suda) daha derin olan bölgelerde batimetrimin meydana getirdiği kırılmalar önem arz etmeyecektir. Su derinliğinin, dalga boyunun “1/2” ile “1/4” arasında olduğu (geçiş su bölgesi) yerde ve su derinliğinin dalga boyunun 1/4’ten daha az olduğu bölgede (sığ su bölgesi) kırılma etkileri önemli olabilir. Geçiş su bölgesinde dalga hızı (3-1) eşitliğinden hesaplanmalıdır; sığ suda  $\tanh(2\pi d/L)$  takriben  $2\pi d/L$ ’ye eşit olur ve (3-1) eşitliği (3-2) eşitliğine indirgenir.

$$C^2 = g.d \text{ veya } C = \sqrt{g.d} \quad (3-2)$$

(3-1) ve (3-2) eşitliğinin her ikisi de dalga hızının derinliğe bağlılığını gösterir.

İlk yaklaşımda bir dalgadaki her birim tepe genişliğindeki toplam enerji aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (3-3)$$

Dalga enerjisi  $E$ ’nin tamamının dalga ile birlikte iletilmediği daha önce ifade edilmişti. Sadece 1/2’si derin suda ileri doğru iletilir. Eğer taban sürtünmesi ( $K_f=1$ ), perkülasyon (sızma) ve yansıtılmış dalga enerjisinden kaynaklanan enerji kaybı ihmal edilebilirse derin sudan kırılma çizgisine doğru hareket eden dalga gibi verilmiş bir dalga için ileriye doğru iletilen enerji miktarı sabit kalır.

Kırılma analizlerinde kıyıya doğru ilerleyen bir dalga için bir dalga tepesi boyunca hiçbir yanal enerji akımının olmadığı farz edilir. Örneğin iletilmiş enerji ortogonaller arasında sabit kalır. Derin suda iki bitişik ortogonal arasındaki karşı bir düzleme doğru iletilen dalga enerjisi (ortalama enerji akısı) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\bar{P}_0 = \frac{1}{2} b_0 \bar{E}_0 C_0 \quad (3-4)$$

Burada. “ $b_0$ ” derin suda seçilmiş ortogonaller arasındaki mesafedir. “ $o$ ” her zaman derin su şartlarını ifade eder. Bu güç sığ suda aynı iki ortogonal arasında nakledilen enerjiye eşit sayılabilir.

$$\bar{P} = nb\bar{E}C \quad (3-5)$$

Burada “ $b_0$ ” daha sığ suda ortogonaller arasındaki boşluktur. Bu sebeple,  $1/2b_0\bar{E}_oC_o = nb\bar{E}.C$  olur veya

$$\frac{\bar{E}}{E_o} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{n} \right) \left( \frac{b_o}{b} \right) \left( \frac{C_o}{C} \right) \quad (3-6)$$

(2-36) eşitliğinden

$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\frac{\bar{E}}{E_o}} \quad (3-7)$$

Ve (3-6) ve (3-7) eşitliklerinin birleşmesiyle,

$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{n} \right) \left( \frac{C_o}{C} \right)} \sqrt{\left( \frac{b_o}{b} \right)} \quad (3-8)$$

Bu terim  $\sqrt{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{n} \right) \left( \frac{C_o}{C} \right)}$ ;  $K_s$  veya  $\frac{H}{H_o}$  sığlaşma katsayısı olarak bilinir. Bu sığlaşma

katsayısı, dalga boyu ve su derinliğinin bir fonksiyonudur.  $K_s$  ve  $d/L$ 'nin birçok diğer

fonksiyonları örneğin  $\frac{2\pi d}{L}$ ,  $\frac{4\pi d}{L}$ ,  $\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$  ve  $\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)$ . C ekinde

tablolaştırılmıştır ( $d/L_o$ 'ın çift artışlar için tablo C-2). Ortogonaller arasındaki rölatif

boşluk belirlendiği zaman derin sudaki dalga yüksekliğinin bilinmesi ile, (3-8)

eşitliği sığ suda veya geçiş su bölgesinde dalga yüksekliklerinin belirlenmesine izin

verir. Bu rölatif boşluğun karekökü  $\left( \sqrt{\frac{b_o}{b}} \right)$  “ $K_r$ ” kırılma katsayısıdır.



Şekil 3.1. New York Long Island'da Westhampton Sahili'ndeki dalga kırılması.

Kırılma diyagramlarının inşa edilmesinde bir çok metot kullanılabilir. İlk yaklaşımlarda, ardışık dalga tepelerinin çizimine ihtiyaç duyulurdu.

Ortogonal yönündeki değişme aşağıdaki yaklaşımla yapılabilir;

$$\sin\alpha_2=(C_2/C_1)\sin\alpha_1 \text{ (Snell's Kanunu)} \quad (3-9a)$$

Burada;

$\alpha_1$ = Dalga tepesinin dalganın üzerinden geçtiği taban eşyükselti eğrisiyle yaptığı açı (ortogonale dik).

$\alpha_2$ = Dalga tepesinin (veya ortogonalin) bir sonraki taban eşyükselti eğrisi üzerinden geçerken ölçülebilen bir açıdır.

$C_1$ = İlk eşyükselti eğrisinin bulunduğu derinlikteki dalga hızıdır (eşitlik 3-1).

$C_2$ = İkinci eşyükselti eğrisinin bulunduğu derinlikteki dalga hızıdır.

Bu eşitlikten, yönü değişmiş ortogonali çizmek için belli bir eşyükselti eğrisi aralığı üzerinden geçen bir ortogonalde oluşan  $\alpha$ 'daki açısal değişimi gösterecek bir şablon yapılabilir. Benzer bir şablon (3-2)'te gösterilmiştir.

Kırılma, düzgün kıyı çizgisi ile kıyı açığında ona paralel eşyükselti eğrilerinin olduğu bir yerde Snell Kanunları'nı doğrudan doğruya kullanarak analitik yollardan tesbit edilebilir.

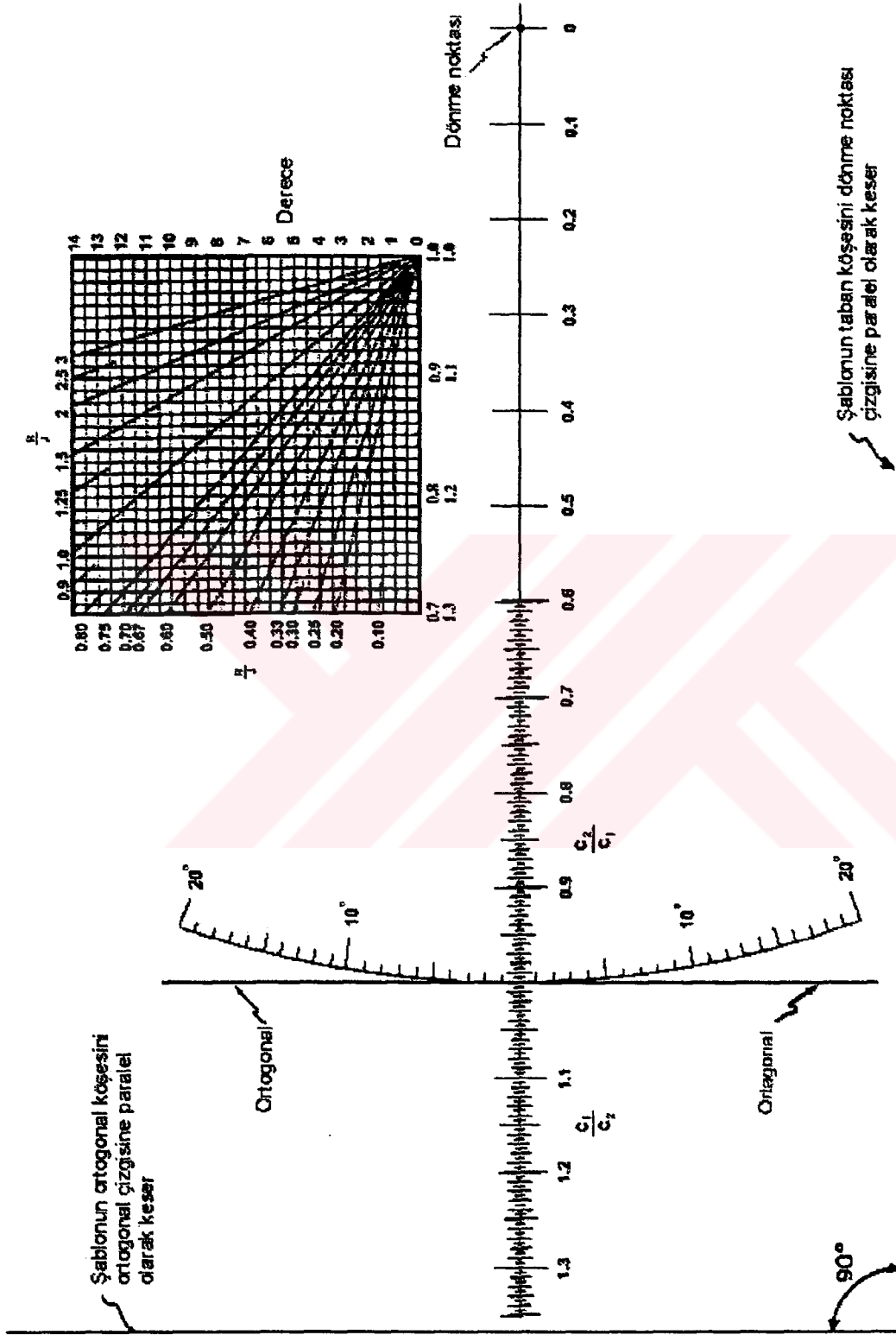
$$\sin\alpha=(C/C_0)\sin\alpha_0 \quad (3-9b)$$

Burada;

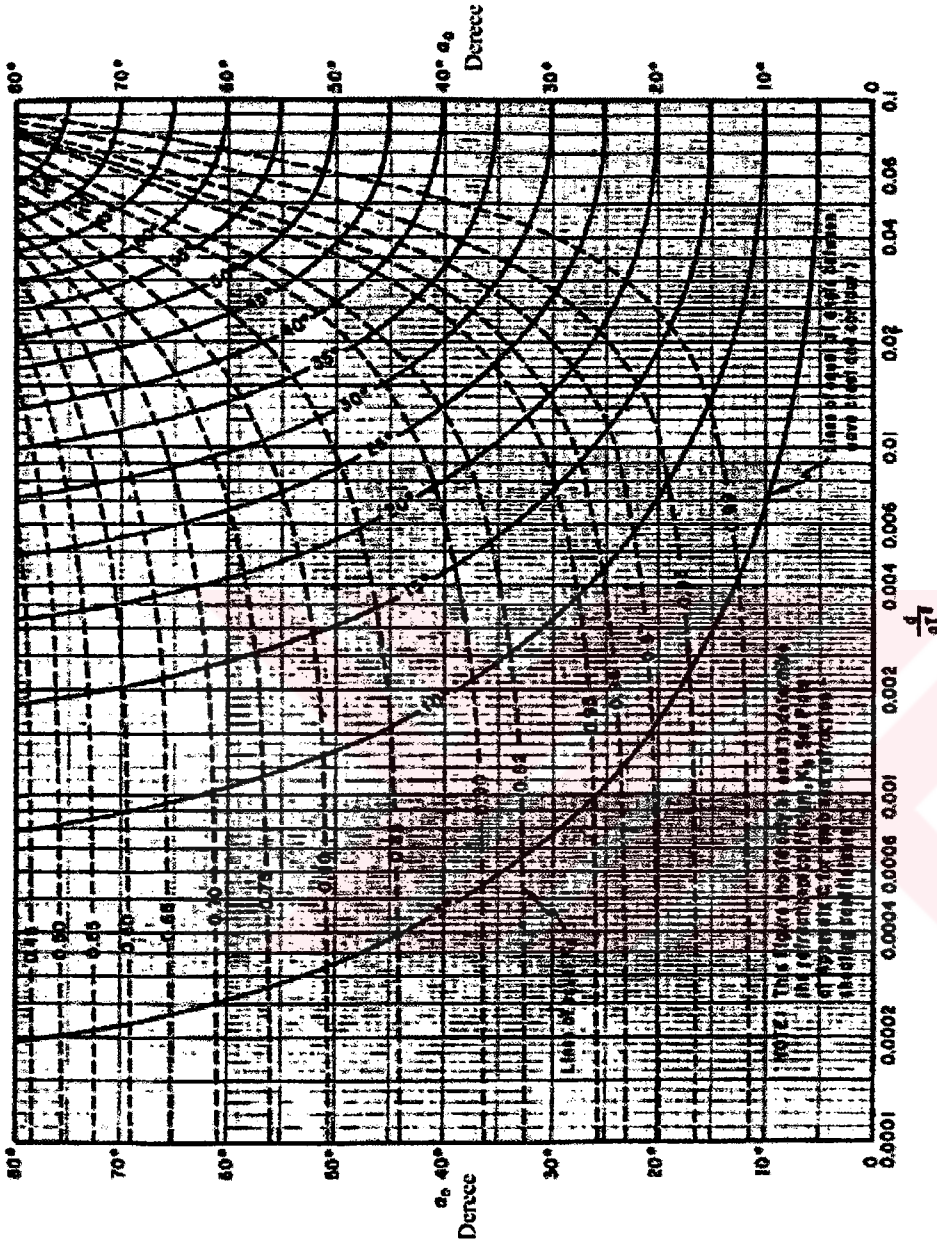
" $\alpha$ ", Dalga tepesi ile kıyı çizgisi arasındaki açıdır ve " $\alpha_0$ " derin suda dalga tepesi ile kıyı çizgisi arasındaki açıdır.

$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha}} \quad (3-10)$$

Şekil (3-3)'te  $\alpha$ ,  $\alpha_0$ , peryod, derinlik ve  $K_r$  arasındaki ilişki grafiksel biçimde gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Dalga kılma şablonu.



Şekil 3.3. Doğru ve paralel derinlik eşyüksekli eğrileri ile eğimlerdeki kırılmaya bağlı olarak dalga yönü ve yüksekliğindeki değişimler.

### 3.2.1. Grafik Metot

Dalga sapma açılarının bulunmasında uygulanan grafik metotta aşağıdaki adımlar uygulanabilir.

- (1) Bölgeye ait batimetri haritası bulunarak batimetri çizgilerindeki zikzaklar ortadan kaldırılır ve düzgün hale getirilir. Derinlik aralıkları istenen hassasiyete göre seçilir.
- (2) Dalga yüksekliği ve peryodu hesaplanır.
- (3) Her derinlikteki dalga yayılma hızları ile  $C_1/C_2$  oranları bulunur.
- (4) Açık denizde gelen dalga cephesi ve ortogonalı işaretlenir. Sık ortogonaller daha hassas sonuç verir.
- (5) Bu ortogonaller ( $L_0/2$ ) derinliğine kadar yaklaştırılır.

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2$$

**$\alpha < 80$  dereceden küçük olduğu zaman uygulanan yöntem**

- (1) İki batimetri çizgisi arasından orta çizgi geçirilir ve ortogonal oraya kadar uzatılır.
- (2) Orta çizgi ile ortogonalin kesim noktasından ortogonale teğet çizilir.
- (3) Şekil (3-2)'de verilen şablondaki ortogonal çizgisi ile ortogonal "1,0" noktası kesim noktasına gelecek şekilde üst üste konur.
- (4) Şablon dönme noktası etrafında ( $C_1/C_2$ ) oranı teğeti kesişinceye kadar döndürülür. Bu durumda şablonun ortogonalı dalganın yeni yönünü gösterir.
- (5) Şablonun ortogonaline gelen ortogonalle kesişecek şekilde paralel çizilir. Kesim noktası ortogonalin iki batimetri çizgisi arasındaki dönme noktasıdır. Aynı işlemler bütün derinliklerde tekrarlanır.

### $\alpha > 80$ dereceden büyük olduğu zaman uygulanan yöntem

Bu durumda, yukarıdaki işlemleri yapmak güçleşir. Bu sebepten batimetri çizgileri daha sık hale getirilerek işlemler yapılır.

#### 3.2.2 Nümerik Metot

Açık denizden kıyıya yaklaşan dalgaların batimetri dolayısıyla sapması taban batimetrisinin düzgün olduğu durumlarda nümerik metotla hesaplanabilir. Bu metotta, hesaplar aşağıdaki tablo düzenlenerek yürütülebilir.

(1) d- su derinliği: Derin sudan başlayarak kıyıya doğru batimetri çizgilerindeki su derinlikleridir.

(2) L-dalga boyu: Her su derinliğindeki dalga boyu geçiş ve sığ su ifadelerinden hesaplanır.

(3) Sığ sulardaki dalga hızının açık denizdeki dalga hızına oranıdır ve  $\tanh(2\pi d/C)$  değerine eşittir. Tablodan alınabilir.  $(C/C_0)$

(4) Sığlaşma katsayısı da tablodan alınabilir.

(5)  $\alpha$  dalga cephesi ile batimetri çizgisinin yaptığı açı;

$$\sin \alpha = (C/C_0) \sin \alpha_0 \quad (3-9b)$$

eşitliği yardımıyla bulunabilir.

(6)  $n$  değeri dalga grup hızının dalga hızına oranıdır ve açık denizde  $1/2$  ye eşittir. Diğer bölgeler için ise tablolardan " $h/L_0$ " oranına bağlı olarak bulunabilir.

(7) Sığlaşma katsayısı  $K_r$  ise;

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

eşitliği yardımıyla bulunabilir.

(8)  $H_0 = H \cdot K_s$  'dir.

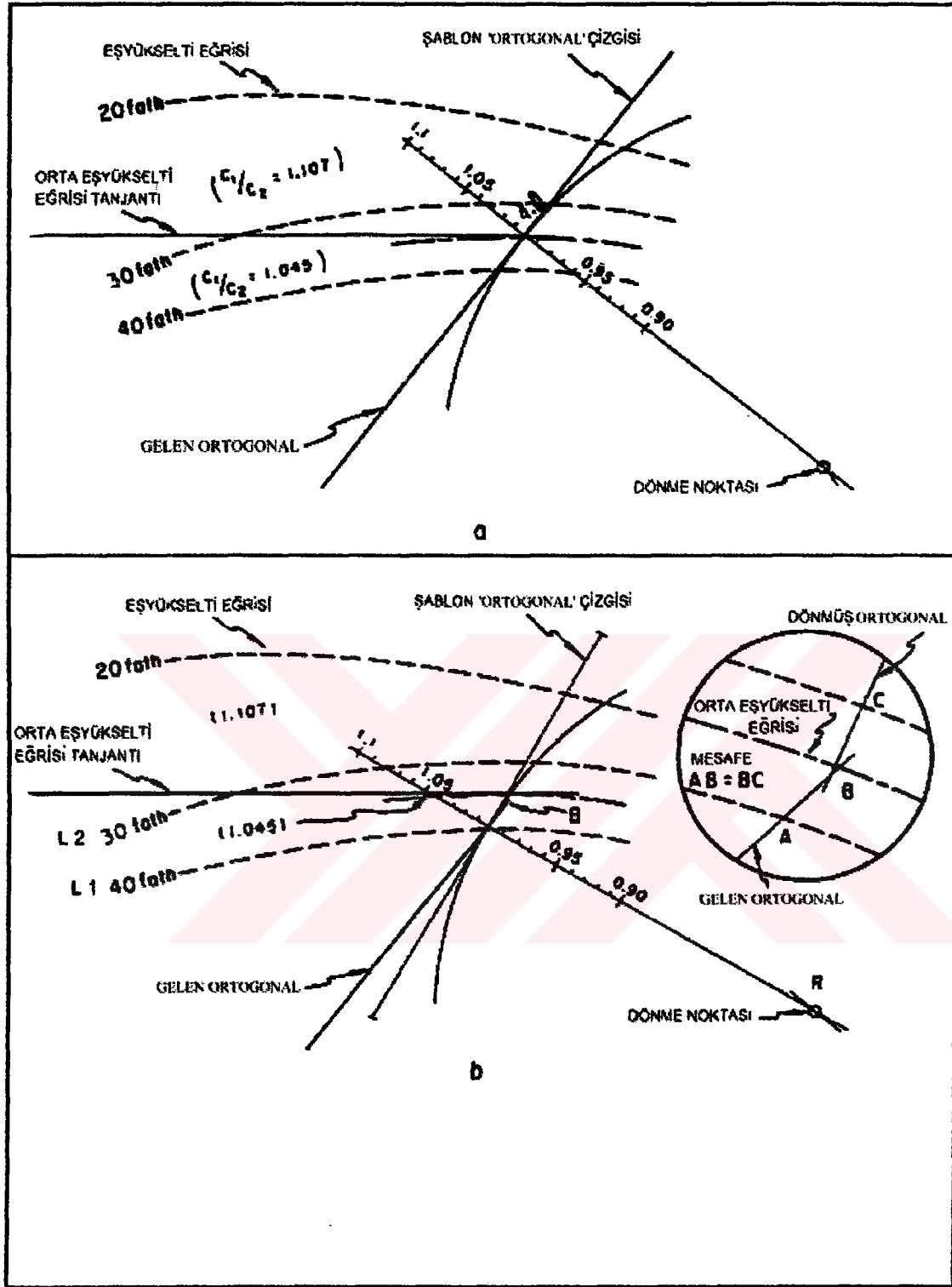
(9)  $H = H \cdot K_r$  'dir.

### 3.2.3. Deniz dalgalarının kırılması

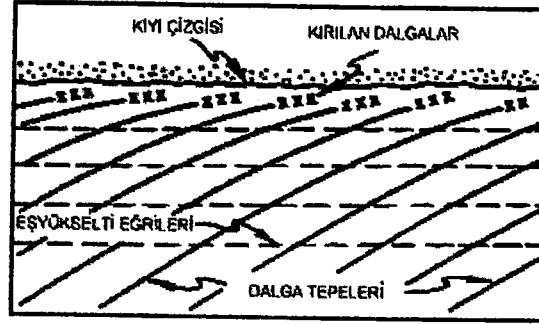
Düzenli (monokromatik) dalgaların tersine, mevcut okyanus dalgaları karmaşıktır. Tepe uzunlukları kısa, şekilleri süreksiz , yayılma hızları, peryotları ve yönleri dalgadan dalgaya farklıdır.

Pierson (1951), Longuet-Higgis (1957) ve Kinsmun (1965) okyanus dalgası kırılma problemine bir çözüm önermişlerdir. Derin denizin yüzey dalgalarının, her biri farklı frekansta ve yayılma yönleri farklı olan düzenli dalgaların birer bileşeni olduğunu kabul etmişlerdir. Spektrumdaki her bir bileşenin enerjileri veya yükseklikleri bulunabilir ve geleneksel kırılma analizi teknikleri uygulanabilir. Kıyı yakınındaki belirli bir doğrultudaki dalga enerjisi yayılımının, verilen doğrultuda kırılan bütün dalga bileşenlerinin frekansları toplamı olarak alınabilir.

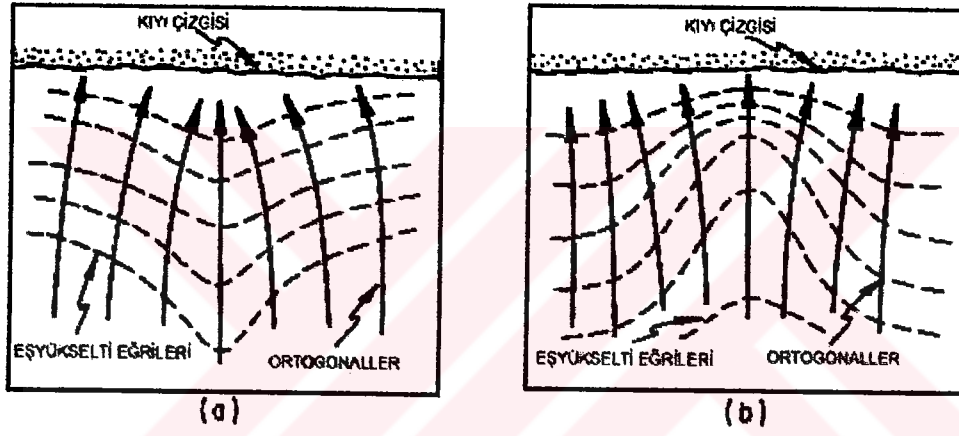
Bu analizden beklenen iş ise, bileşenlerin her birinin küçük bir miktarı için bile yorucu ve zaman alıcı olmasıdır. Az sayıdaki bileşenler için Borgman (1967) ve Fon ve Borgman (1970) tarafından yapılan araştırma, karma kırılma problemlerinin hızlı çözümü için bir teknik sağlayan doğrusal ışın fikrini kullanmıştır.



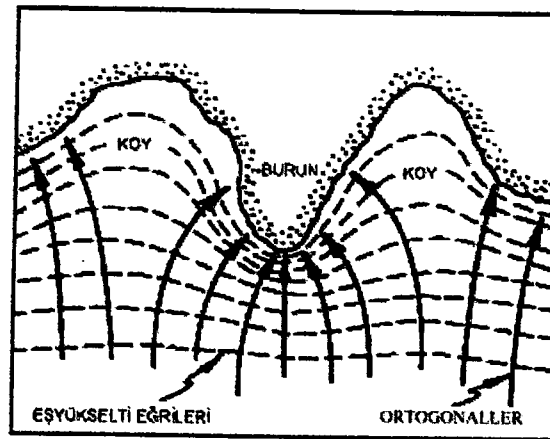
Şekil 3.4. Kırılma şablonunun kullanılışı.



Şekil 3.5. Paralel taban eşyüksekti eğrileri olan düz bir sahil boyunca kırılma.



Şekil 3.6. Bir sualtı eşiğindeki (a) ve sualtı vadisindeki (b) kırılma.



Şekil 3.7. Düzensiz bir kıyı çizgisi boyunca kırılma.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. DENEYİN YAPILIŞI

Deney için kullanılan kanal 100 cm. genişliğinde olup; yan cidarları cam, tabanı ise beton kaplıdır. Kanalin boyu 21 m. ve derinliği ise 60 cm.dir.



Foto 1- Deney Alanı Genel Görünüş

Laboratuarda geliştirilen birdeşarj aleti yardımıyla “Rodamin B” çözeltisi enjekte edilmiştir. Anideşarj problemi hem zor hem de oldukça ilginçtir. Anideşarj için, tasarımı İ.T.Ü. Hidrolik Laboratuvarında geliştirilen bir aletten faydalanılmıştır. Alete ait şekil ve detaylar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Aletin çalışma prensibi şöyledir: Bir pirinç çubuk, bir lastik tapadan geçirilmiş ve bir tesbit somunu yardımıyla monte edilmiştir. 7 mm. çaplı bir pirinç çubuk, 17 mm. iç çaplı ve et kalınlığı 1 mm. olan bir bakır borudan geçmekte ve tankın içinden

geçirilerek yukarıya doğru uzanmaktadır. Pirinç çubuğun üst ucunun muayyen bir yerine bir yay sarılmıştır ve bu yayın hareketi bir ayar somunu yardımıyla sınırlandırılmıştır. Üstten çubuğa kumanda edilince, ayar somunu yayı basmakta dolayısıyla mantar tapa borudan kurtulmakta ve kanala “Rodamin B” çözeltisi basmaktadır. Bu hareket ani olduğundandeşarj işlemi de ani olmaktadır. Tankın muayyen bir yerinedeşarj borusu takılmış; bu boru vasıtasıyla seviye sabit tutulmuştur. Tankın üzerine takılan bir liminimetre yardımıyla her basma sonrasında seviyedeki düşme miktarı okunmaktadır. Başlangıçta, tank içindeki çözelti hacmi ile seviye arasındaki bağıntıyı gösteren anahtar eğrisi çizilmiş ve bu anahtar eğrisi yardımıyladeşarj anındaki bir seviye değişimine tekabül eden hacim okunmuştur. Bu şekilde, herdeşarjda kanala ne kadar çözeltinin basıldığı bulunmuştur.

Yapılan deneylerde, kanalın seçilen belli kesitleri gözlenmiştir. Deşarj aleti 3. kesite yerleştirilmiştir. Çözelti, suya bu kesittendeşarj edilmiştir. Bu kesitten ayrı olarakdeşarj edilen maddenin iletimini gözlemek üzere üç kesit daha seçilmiştir (4. Kesit, 5. Kesit, 6. Kesit). Bu kesitlerindeşarjın yapıldığı kesitten uzaklıkları sırasıyla şöyledir: 110 cm., 230 cm., 350 cm.

Kesitler arası mesafe ölçüldükten sonra evvela durgun su ortamında, belli bir su derinliğindedeşarj yapılarak maddenin, bu ortamdaki karışımı incelenmiştir. Dalgalı su ortamında ise maddenin dalganın ilerleme doğrultusu yönündeki karışımı incelenmiştir. Öncelikle durgun su ortamındadeşarj edilen çözülebilen bir maddenin ne kadar zaman sonra seçilen kesitlerden geçmiş olduğu gözlenmiştir. Gözlem sırasında göze çarpan olayların en ilginç olanı, madde bulutunun çevresiyle önemli bir karışım yapmadan iletilmiş olmasıdır. Halbuki aynı derinlikte yapılmış olmasına rağmen karışım olayının dalgalı su ortamında durgun haldekine göre çok daha hızlı bir biçimde olduğu ve kısa sürede homojen bir karışım oluşturarak iletildiği gözlenmiştir. Şöyle ki, maddedeşarj edildikten sonra çok hızlı bir şekilde karışarak dalga kanalına ulaşmış ve bu kanal sayesinde hızlı bir şekilde ilettime maruz kalmıştır. Bunun akabinde, dalga kanalındaki madde zamanla dalganın sebep olduğu çevrıntiler ile düşey yönde homojen bir dağılım göstermiştir. Deşarjın yapıldığı kesitte zamanla konsantrasyonun azaldığı gözlenmiştir.

Bu deneysel çalışmada, hem durgun hem de dalgalı su ortamında aynı su derinliklerindedeşarj yapılarak her iki koşulda maddenin iletim durumu karşılaştırılmıştır. Çalışmada aşağıda verilendeşarj derinlikleri kullanılmıştır.

Deşarj noktalarının kanal tabanından yüksekliklerinin su derinliğine oranlarının yüzde cinsinden değerleri aşağıda sunulmuştur.

$$d_1 = 20/42 = \%47,60$$

$$d_2 = 24/42 = \%57,10$$

$$d_3 = 29/42 = \%69,00$$

$$d_4 = 34/42 = \%80,95$$

$$d_5 = 38/42 = \%90,47$$

$$d_6 = 40/42 = \%95,23$$

Yukarıda verilen boyutsuz deşarj derinliklerinde, hem durgun hem de dalgalı su ortamında en uygun durum belirlenmeye çalışılmıştır. Bunu içinde aşağıda sıralana kriterlere dikkat edilmiştir.

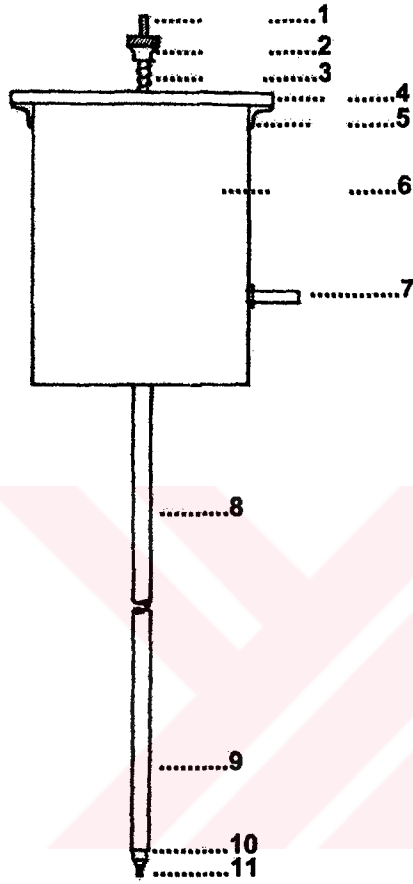
1. Deşarj edilen maddenin çok hızlı bir şekilde iletimini sağlayan bir deşarj derinliği olmalıdır.
2. Maddenin deşarjı öyle bir derinliğe yapılmalıdır ki, deşarj edilen bu madde veya kirlilik, emniyet derinliğinin altında kalmalıdır ve buradaki kirliliğin konsantrasyonu istenilen limitin altında olmalıdır.
3. Bu maddenin veya kirliliğin su yüzüne çıkması istenmediği gibi tabana çökerek canlı hayata da zararlı olmamalıdır. Tabanda da kirlilik konsantrasyonunun istenilen limit değerinin altında olması arzulanmaktadır.

Yukarıda sıralanan bu kriterlerden sonra, yapılan deneylerden ortaya çıkan neticelere bakarak ideal deşarj derinliği hakkında fikir yürütülmüştür. Bu deneyde kullanılan “Rodamin B” maddesi hakkında aşağıda detaylı bilgi verilmiştir.

## Rodamin B

“Rodamin B” maddesinin kapalı formülü “ $C_{28}H_{29}N_2O_3$ ”tür. Formülde görüleceği gibi yapısında oksijen, hidrojen, azot ve karbon bulunmaktadır. “Rodamin B”, difüzyon ve dispersiyon katsayılarının belirlenmesinde en çok kullanılan maddelerin başında gelmektedir. Esasen bu maddenin bu nevi olayları incelemek için geliştirildiği söylenebilir. “Rodamin B” floresans özelliğine sahip olmasından dolayı çok kolay izlenebilen bir maddedir. Yani ışıklı bir ortamda aldığı ışığı geri yansıtarak parlaklık sağlar ve fosforlu bir görünüm kazanarak çok kolay bir şekilde izlenebilir. Bu madde çevreye zarar vermemesi nedeniyle çok fazla kullanılan bir maddedir ayrıca diğer bir özelliği de arıtma tesislerinde çok rahat bir şekilde artırılabilmesidir. “Rodamin B” çözeltisi 1 lt. saf suya 1 gr. “Rodamin B” maddesinin karıştırılması suretiyle oluşturulmaktadır.



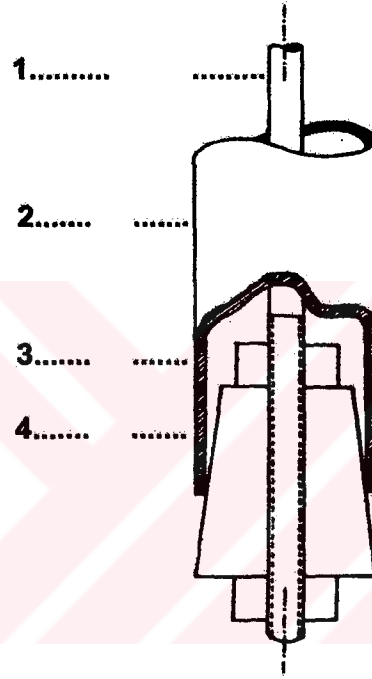


1. Lastik tapaya hareket veren piring çubuk
2. Ayar somunu
3. Çelik yay
4. Altlık parçası
5. Tespit köşebenti
6. Depo
7. Deşarj borusu
8. Bakır boru
9. Piring çubuk
10. Lastik tapa
11. Tespit somunu

**ÖLÇEK 1/5**

Şekil 4.1 Tecrübede kullanılan sıvı verme aleti I

1. Piring ubuk
2. Bakır boru 3"/4
3. Tespit somunu
4. Mantar tapa



Şekil 4.2 Tecrübede kullanılan sıvı verme aleti II

**Tablo 4.1. Durgun Su Ortamında 1. Deney Serisi**

| Ortam Şartları | Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | $d=h/H$ (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------|-------------|----------------------|--------------------|----------|----------|
|                |                 |                        |                    |             |                      | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Durgun Su      | Rodamin B       | 20                     | 42                 | 47,6        | 120                  | 2,45               | 6,36     | 7,90     |

**DURGUN SU ORTAMINDA 1. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:**

Bu deneyde, kanal tabanından deşarj derinliğine kadar olan bölgede madde yoğunlaşarak bir tabaka oluşturmuş ve tabakanın kalınlığını muhafaza ederek iletildiği gözlenmiştir.

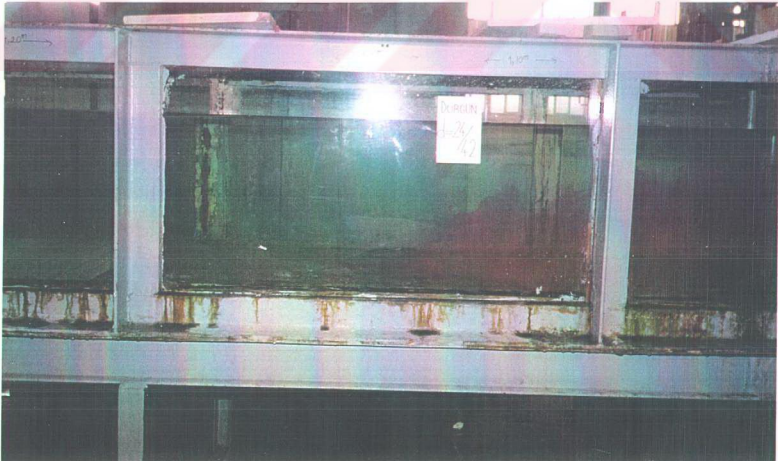
## 2. DENEY SERİSİ (DURGUN SU ORTAMI)

Tablo 4.2. Durgun Su Ortamında 2. Deney Serisi

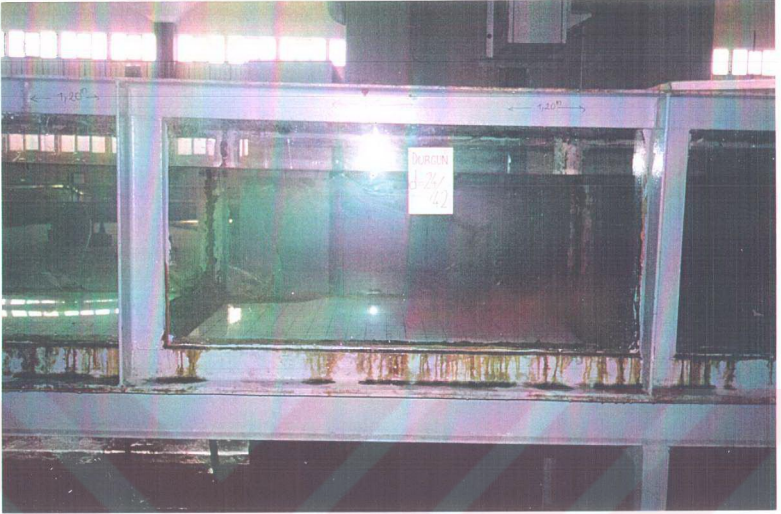
| Ortam Şartları | Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------|----------|----------|
|                |                 |                        |                    |           |                      | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Durgun Su      | Rodamin B       | 24                     | 42                 | 57,1      | 180                  | 2,32               | 8,50     | 16,02    |



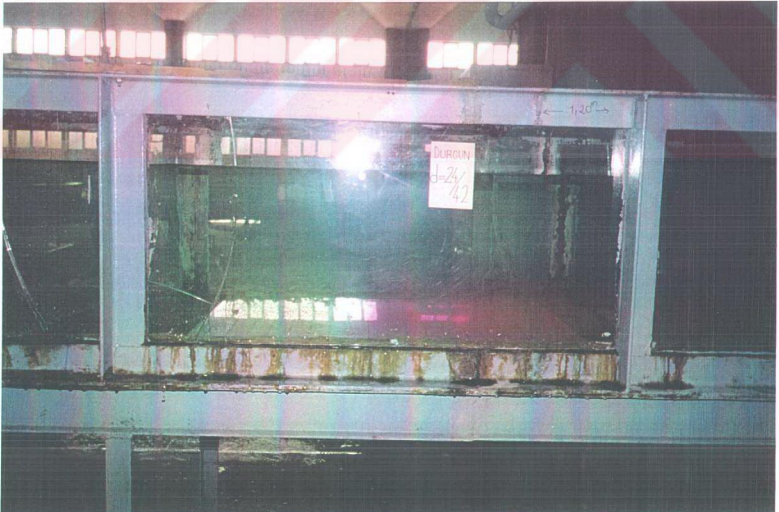
2.Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



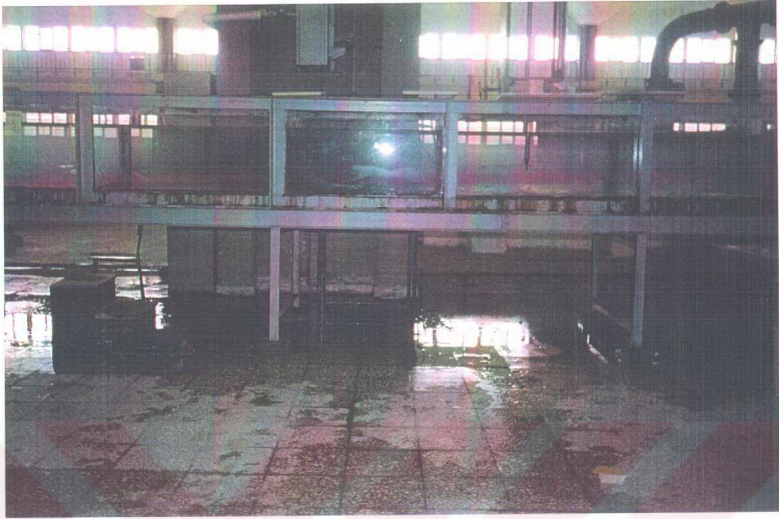
2.Deney Serisi Foto:2 (t=2,32 dk, 4. Kesit)



2. Deney Serisi Foto:3 ( $t=8,50$  dk, 5. Kesit)



2. Deney Serisi Foto:4 ( $t=16,02$  dk, 6. Kesit)



2. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

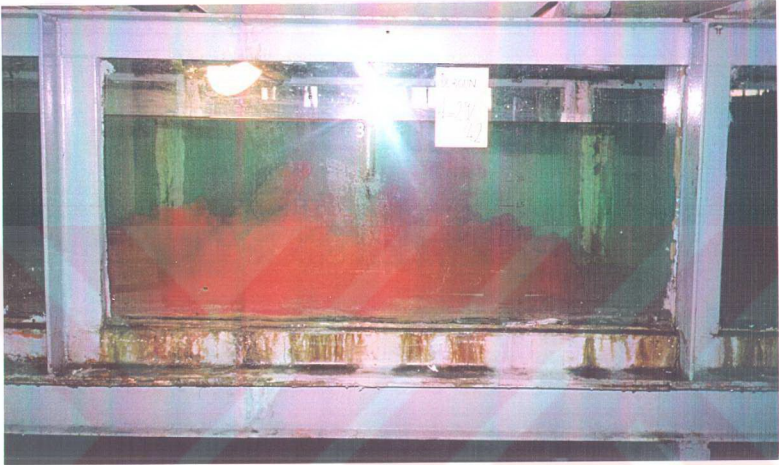
#### DURGUN SU ORTAMINDA 2. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Seyrelme çok hızlı olmuştur. Tabakalaşma neredeyse hiç gerçekleşmemiştir. Su yüzeyine çok az bir miktarda maddenin çıktığı gözlenmiştir. Madde bulutunun tabana çok yakın bir mesafede iletimi sağlanmıştır.

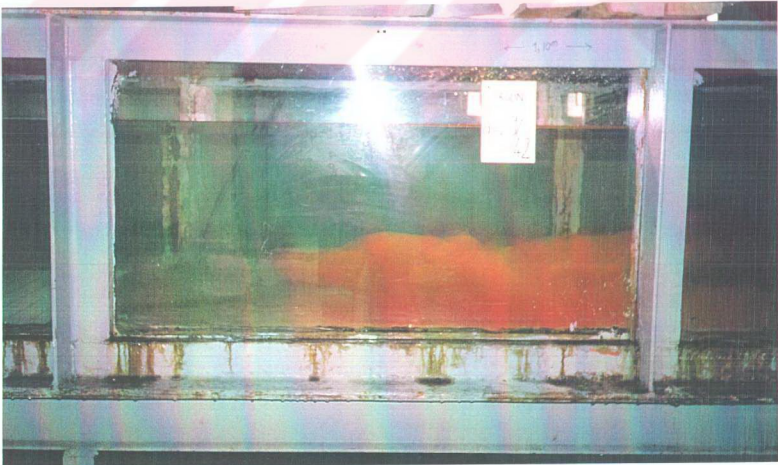
### 3. DENEY SERİSİ (DURGUN SU ORTAMI)

Tablo 4.3. Durgun Su Ortamında 3. Deney Serisi

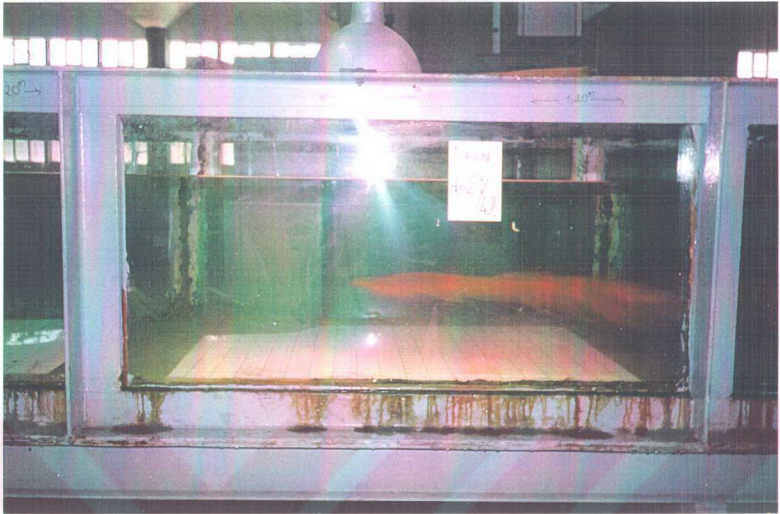
| Ortam Şartları | Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (ml) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|---------------------|--------------------|----------|----------|
|                |                 |                        |                    |           |                     | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Durgun Su      | Rodamin B       | 29                     | 42                 | 69        | 200                 | 2,30               | 7,10     | 14,45    |



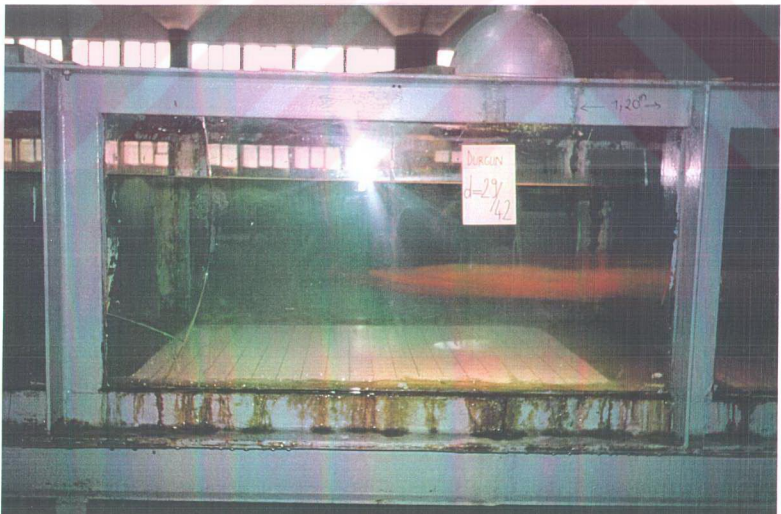
3. Deney Serisi Foto:1 ( $t=0$ , Deşarj Kesiti)



3. Deney Serisi Foto:2 ( $t=2,30$  dk, 4. Kesit)



3. Deney Serisi Foto:3 ( $t=7,10$  dk, 5. Kesit)



3. Deney Serisi Foto:4 ( $t=14,45$  dk, 6. Kesit)



3. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

DURGUN SU ORTAMINDA 3. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Deşarj edilen madde bulutu belli bir derinlikte asılı tabaka halinde ilerlemiştir.

#### 4. DENEY SERİSİ (DURGUN SU ORTAMI)

Tablo 4.4. Durgun Su Ortamında 4. Deney Serisi

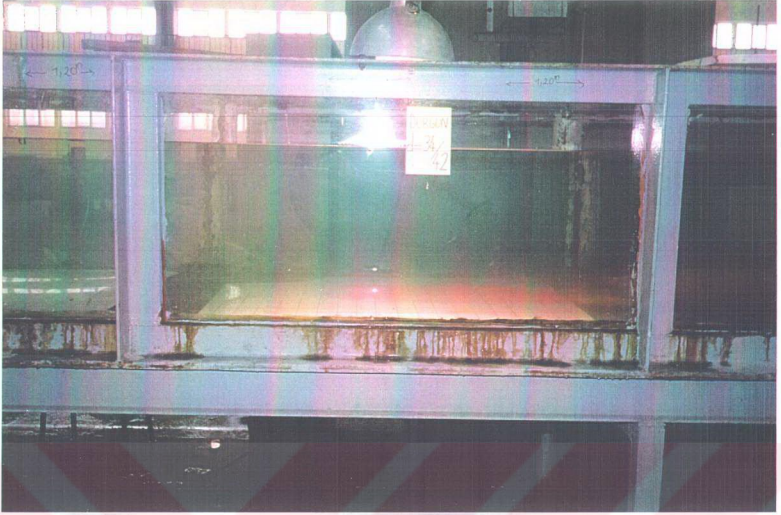
| Ortam Şartları | Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği H(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------|----------|----------|
|                |                 |                        |                    |           |                      | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Durgun Su      | Rodamin B       | 34                     | 42                 | 80,95     | 140                  | 3,15               | 8,50     | 15,40    |



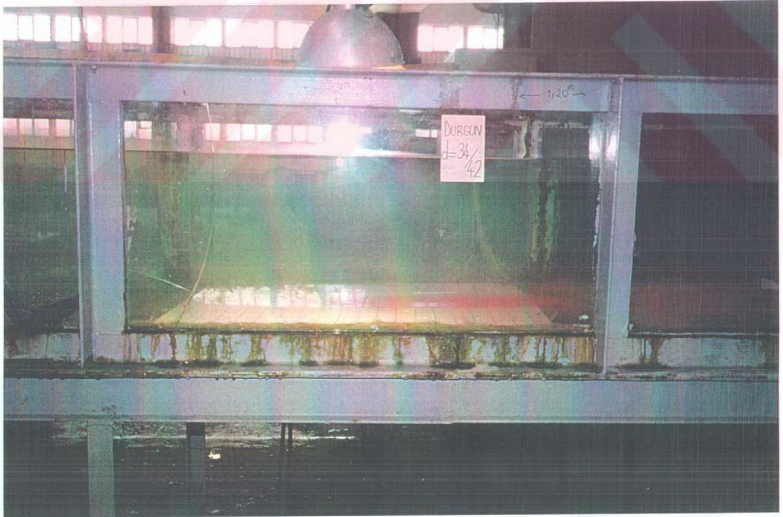
4. Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



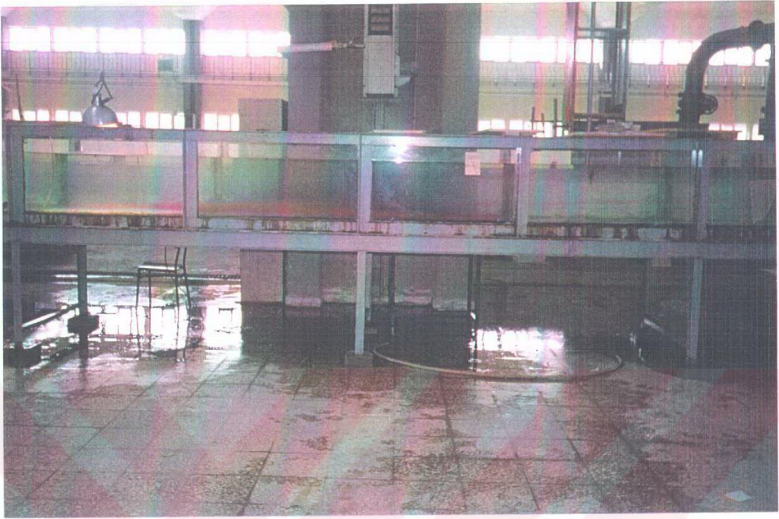
4. Deney Serisi Foto:2 (t=3,15 dk, 4. Kesit)



4. Deney Serisi Foto:3 ( $t=8,50$  dk, 5. Kesit)



4. Deney Serisi Foto:4 ( $t=15,40$  dk, 6. Kesit)



4. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

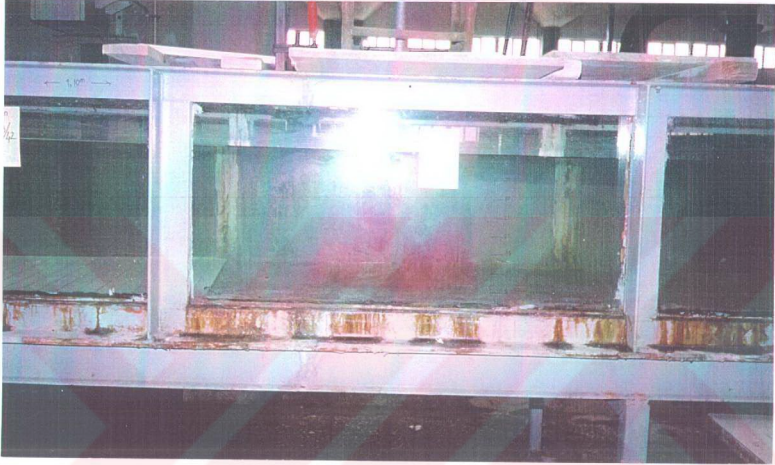
#### DURGUN SU ORTAMINDA 4. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Maddenin büyük bir kısmının ilk karışım safhasından sonra dibe çöktüğü ve tabana yakın bir tabaka halinde iletildiği gözlenmiştir.

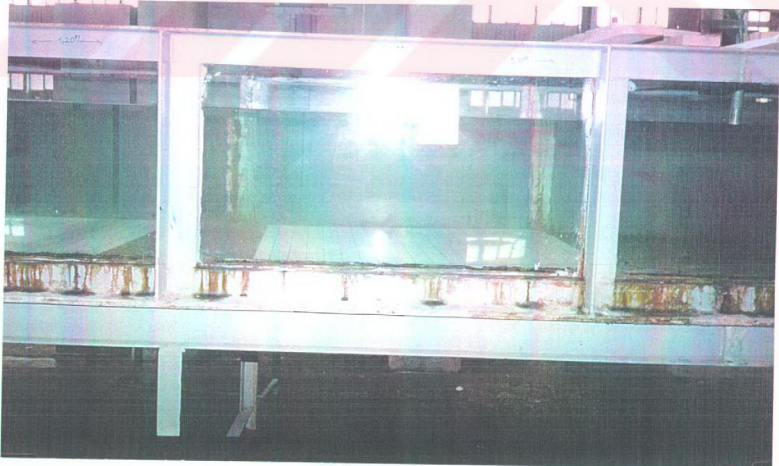
## 5. DENEY SERİSİ (DURGUN SU ORTAMI)

Tablo 4.5. Durgun Su Ortamında 5. Deney Serisi

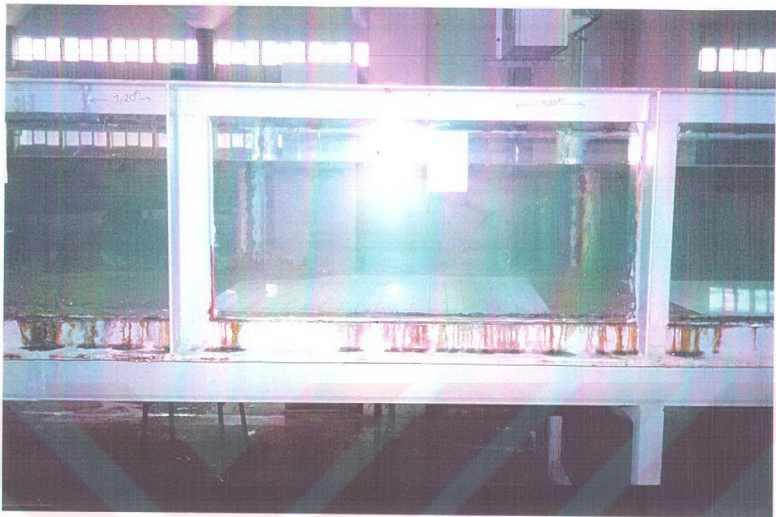
| Ortam Şartları | Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | $d=h/H$ (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------|-------------|----------------------|--------------------|----------|----------|
|                |                 |                        |                    |             |                      | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Durgun Su      | Rodamin B       | 38                     | 42                 | 90,47       | 120                  | 3,12               | 6,30     | 10,00    |



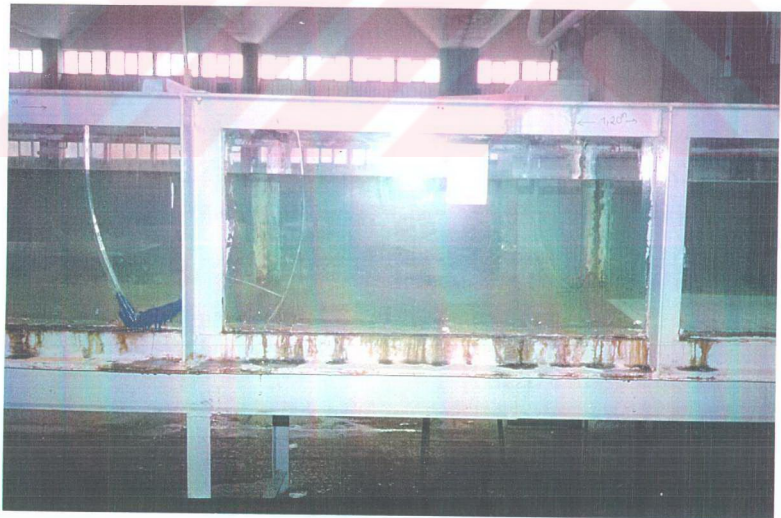
5. Deney Serisi Foto:1 ( $t=0$ , Deşarj Kesiti)



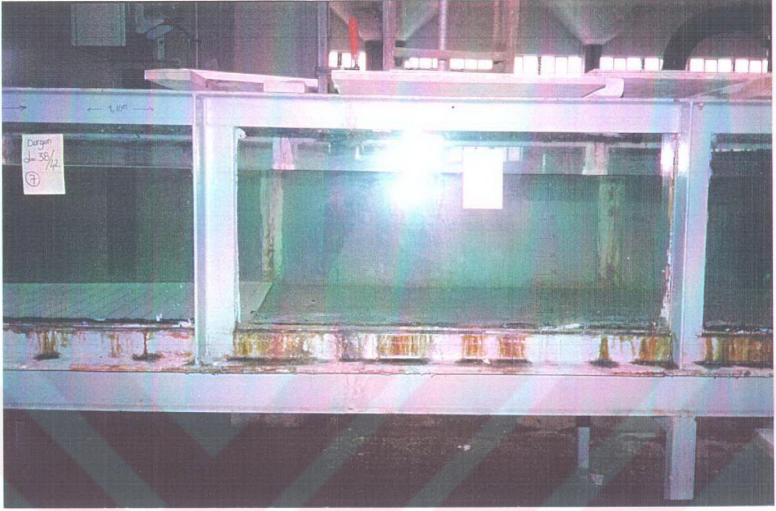
5. Deney Serisi Foto:2 ( $t=3,12$  dk, 4. Kesit)



5. Deney Serisi Foto:3 ( $t=6,30$  dk, 5. Kesit)



5. Deney Serisi Foto:4 ( $t=10,00$  dk, 6. Kesit)



5. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

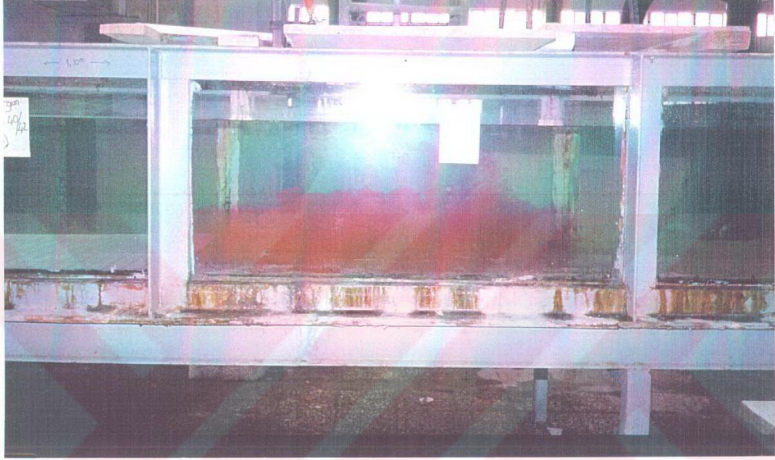
#### DURGUN SU ORTAMINDA 5. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Karışma süresi çok yavaştır. Deşarj noktasında oluşan bulut su yüzeyinden 3/42 oranındaki bir mesafede tabakalı halde yayılmış, 4. ve 5. kesitte su yüzeyinden gittikçe aşağıya doğru inerek ilerlemiştir.

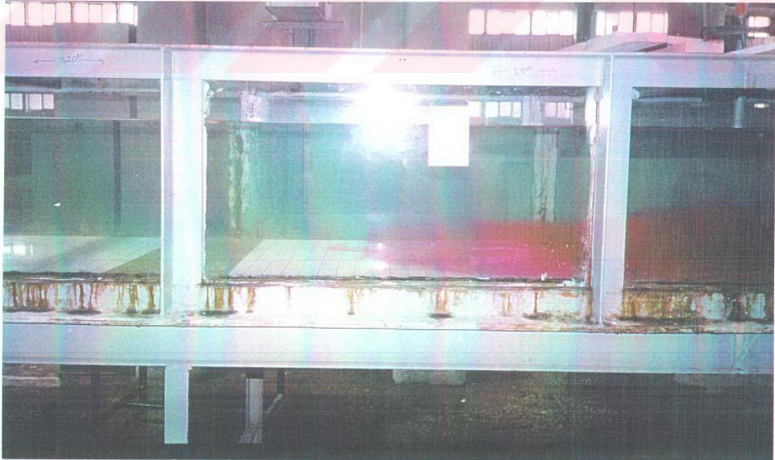
## 6. DENEY SERİSİ (DURGUN SU ORTAMI)

Tablo 4.6. Durgun Su Ortamında 6. Deney Serisi

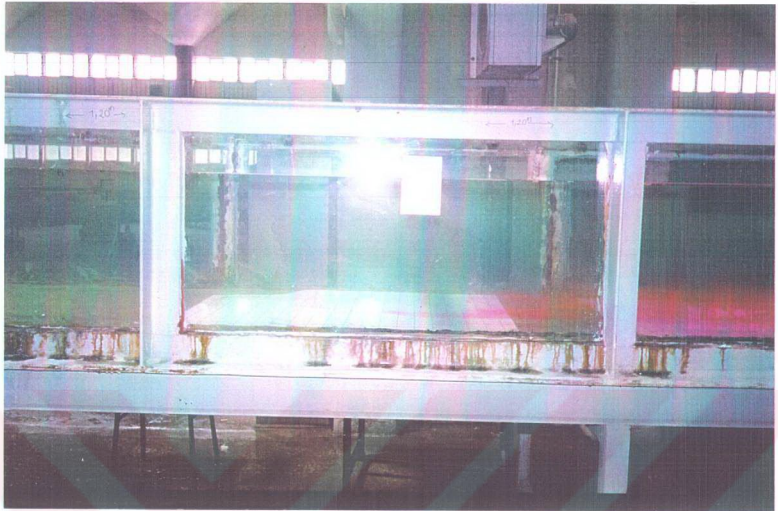
| Ortam Şartları | Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği H(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------|----------|----------|
|                |                 |                        |                    |           |                      | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Durgun Su      | Rodamin B       | 40                     | 42                 | 95,23     | 160                  | 1,55               | 4,10     | 7,09     |



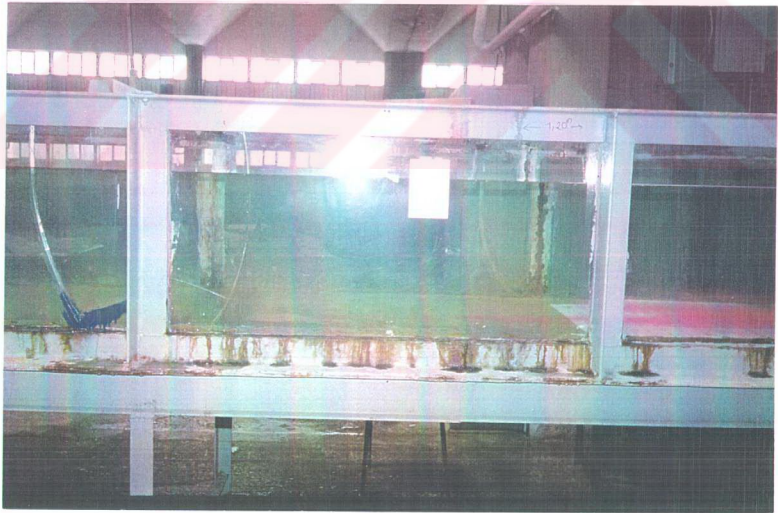
6. Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



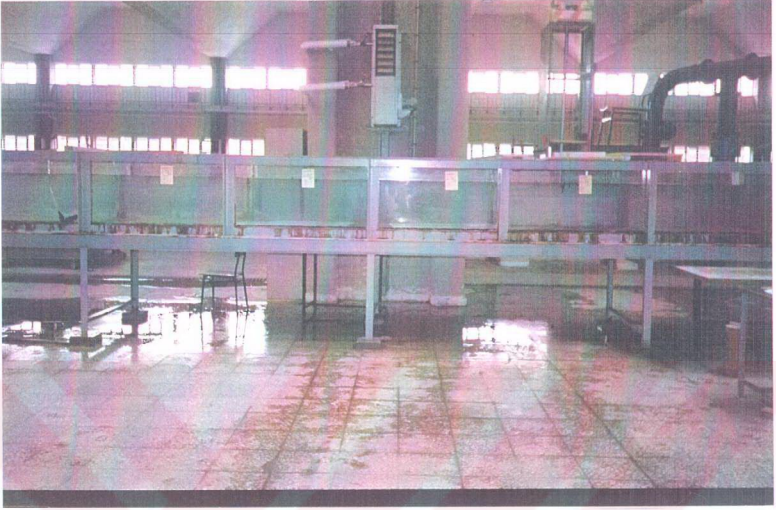
6. Deney Serisi Foto:2 (t=1,55 dk, 4. Kesit)



6. Deney Serisi Foto:3 ( $t=4,10$  dk, 5. Kesit)



6. Deney Serisi Foto:4 ( $t=7,09$  dk, 6. Kesit)



6. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

**DURGUN SU ORTAMINDA 6. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:**

3. Kesitte deşarj edilen maddenin tabana çökerek bir tabaka halinde ilerlediği gözlenmiştir. Deşarjın yapıldığı bölgede çok az miktarda madde su yüzüne çıkmıştır.
4. Kesitte tabandan  $\frac{3}{42}$  oranında bir derinlikte tabaka halinde ilerlemeye devam etmiştir. Diğer kesitlerde de aynı durum gözlenmiştir.

#### 4.3. DALGALI SU ORTAMINDA YAPILAN DENEY SONUÇLARI

##### 1. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

**Tablo 4.7. Dalgali Su Ortamında 1. Deney Serisi**

| Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | Peryot T(sn) | Dalga Boyu L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                        |                    |           |                      |              |                 | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Rodamin B       | 20                     | 42                 | 47,6      | 180                  | 0,84         | 1,10            | 1,10               | 1,80     | 2,20     |

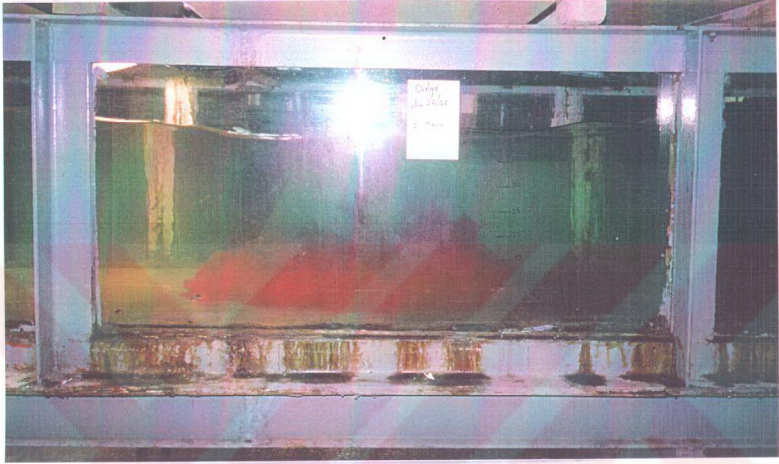
##### DALGALI SU ORTAMINDA 1. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Dalganın tesiriyle deşarj edilen madde, çok süratli bir şekilde çevredeki suyla karışmıştır. Daha sonra yüzeye çıkan bir kısım madde dalga kanalıyla (Dalganın tepe ve çukur aralığı) iletilmiştir. Dalga kanalıyla iletilmiş olan madde çevrinti hareketlerinin tesiriyle dalga kanalının altında kalan bölgede, zamanla homojen olarak dağılmıştır.

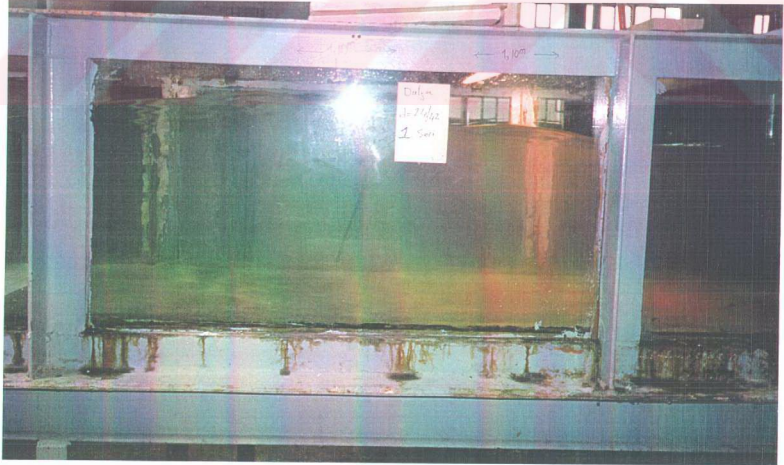
## 2. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

Tablo 4.8. Dalgalı Su Ortamında 2. Dency Serisi

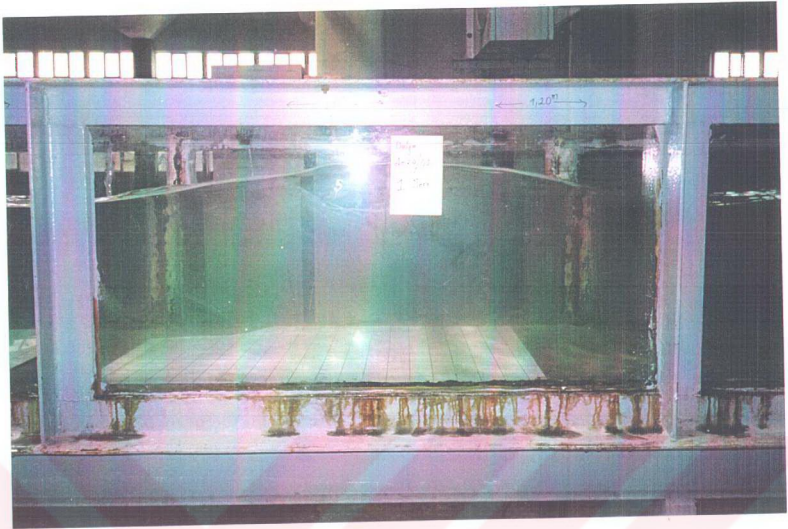
| Dency Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | Peryot T(sn) | Dalga Boyu L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                        |                    |           |                      |              |                 | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Rodamin B       | 24                     | 42                 | 57,10     | 200                  | 1,0          | 1,56            | 1,41               | 3,14     | 4,48     |



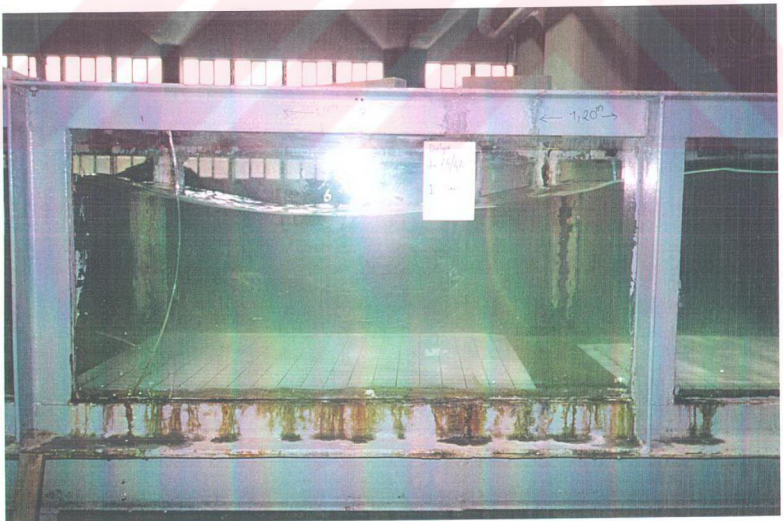
2. Dency Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



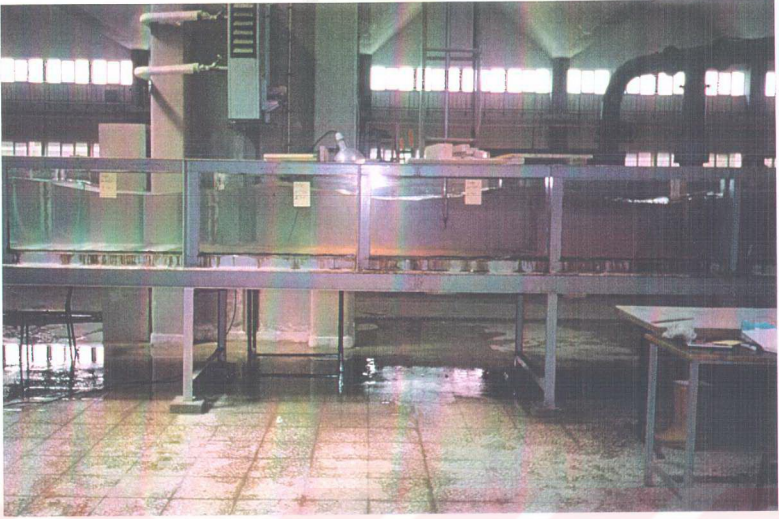
2. Dency Serisi Foto:2 (t=1,41 dk, 4. Kesit)



2. Deney Serisi Foto:3 ( $t=3,14$  dk, 5. Kesit)



2. Deney Serisi Foto:4 ( $t=4,48$  dk, 6. Kesit)



2. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

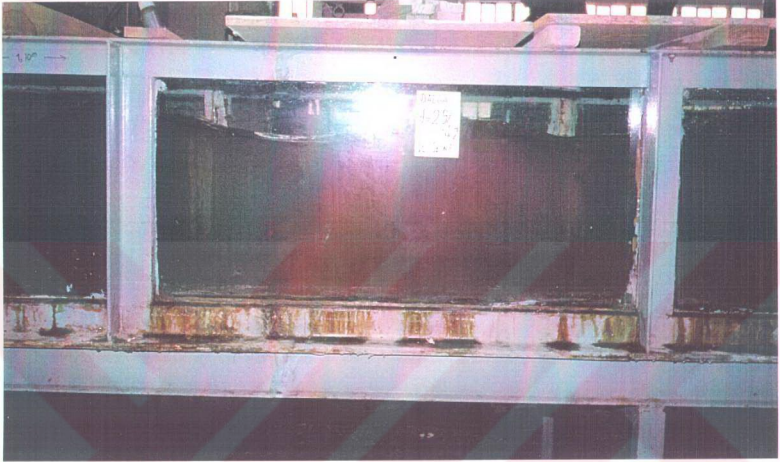
#### DALGALI SU ORTAMINDA 2. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Homojen bir dağılım meydana gelmiştir. Dalganın ilerleme yönünde, dalga kanalı içinde hızlı bir şekilde iletilmiştir. Fakat iletme miktarı diğer deneylere nazaran daha azdır. Sebebinin ise deşarjın, dalganın etkime derinliğinin altında yapılmasının olduğu sanılmıştır.

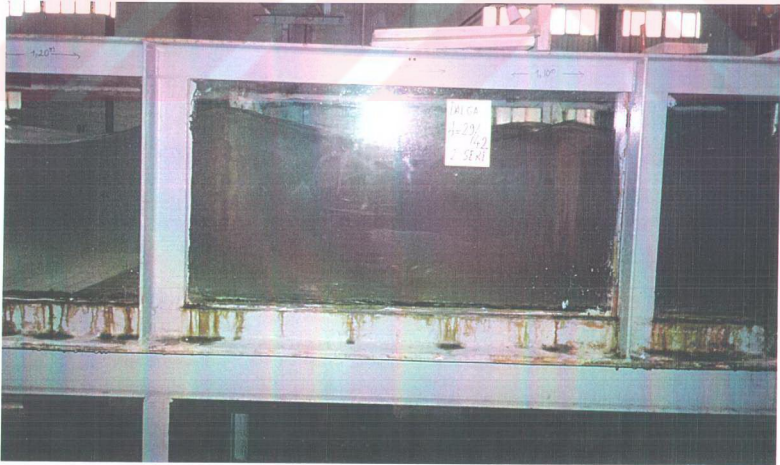
### 3. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

Tablo 4.9. Dalgalı Su Ortamında 3. Deney Serisi

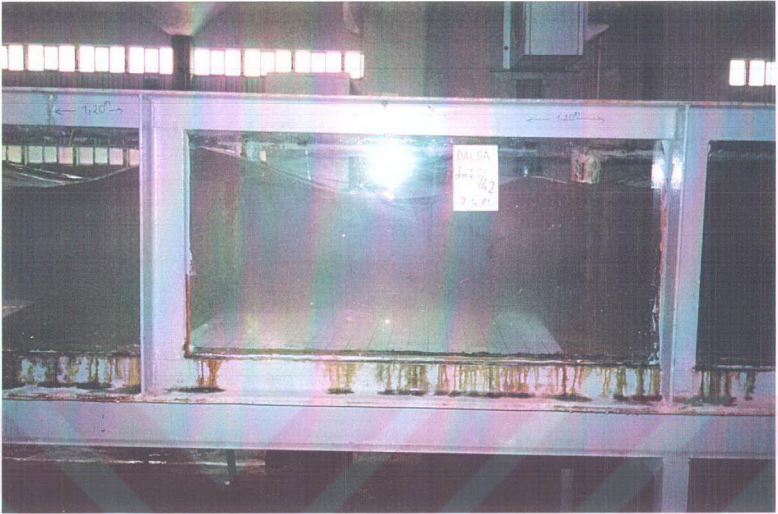
| Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği<br>h(cm) | Su Derinliği<br>H(cm) | D-h/H<br>(%) | Deşarj Miktarı<br>(ml) | Peryot<br>T(sn) | Dalga Boyu<br>L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                           |                       |              |                        |                 |                    | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Rodamin B       | 29                        | 42                    | 69           | 150                    | 0,77            | 0,94               | 0,76               | 1,34     | 2,20     |



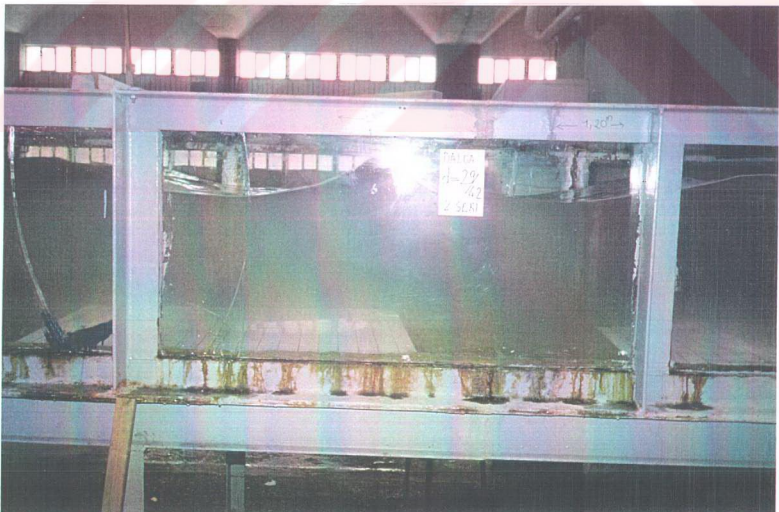
3. Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



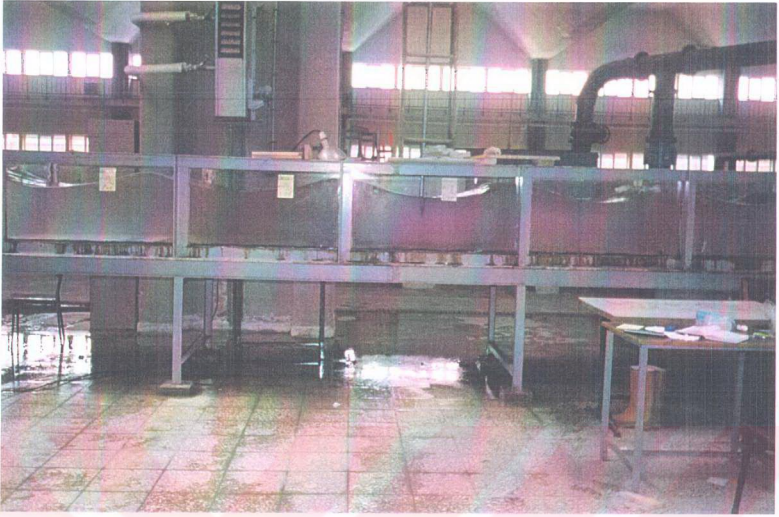
3. Deney Serisi Foto:2 (t=0,76 dk, 4. Kesit)



3. Deney Serisi Foto:3 ( $t=1,34$  dk, 5. Kesit)



3. Deney Serisi Foto:4 ( $t=2,20$  dk, 6. Kesit)



3. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

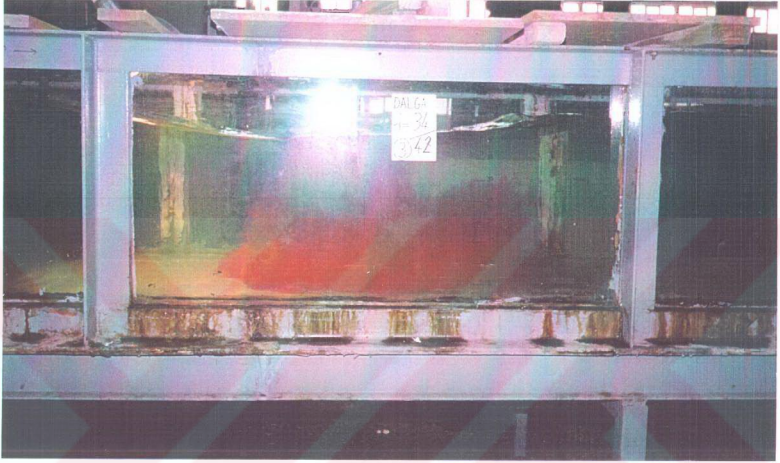
#### DALGALI SU ORTAMINDA 3. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Hızlı bir karışım gözlenmiştir ve malzemenin homojen dağılarak çok hızlı bir şekilde iletildiği görülmüştür. Genel olarak dalgali bir ortamda maddenin dalga kanalında iletildiği gözlenirken daha sonra dalga kanalından yayılan bulut zamanla çevrinti hareketi yaparak kesitlere homojen olarak dağılmıştır.

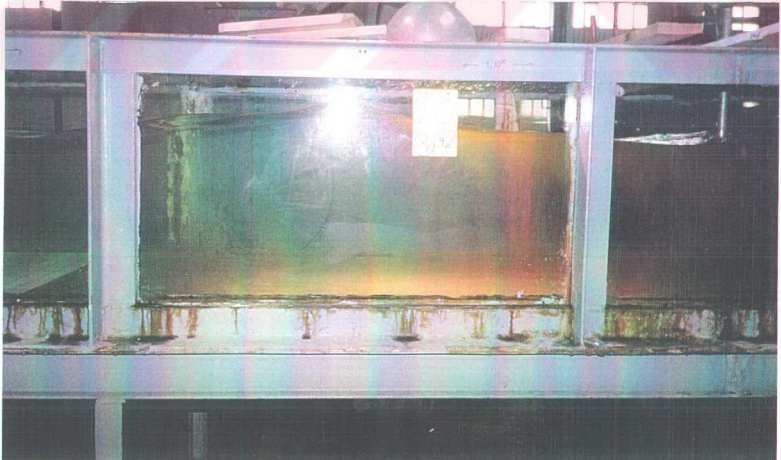
#### 4. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

Tablo 4.10. Dalgalı Su Ortamında 4. Deney Serisi

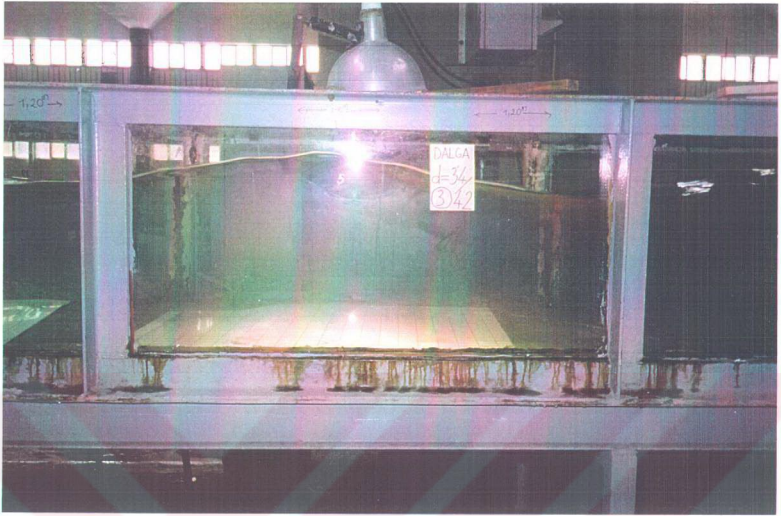
| Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | $d=h/H$ (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | Periyot T(sn) | Dalga Boyu L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|------------------------|--------------------|-------------|----------------------|---------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                        |                    |             |                      |               |                 | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Rodamin B       | 34                     | 42                 | 80,95       | 180                  | 0,87          | 1,25            | 1,0                | 2,30     | 3,10     |



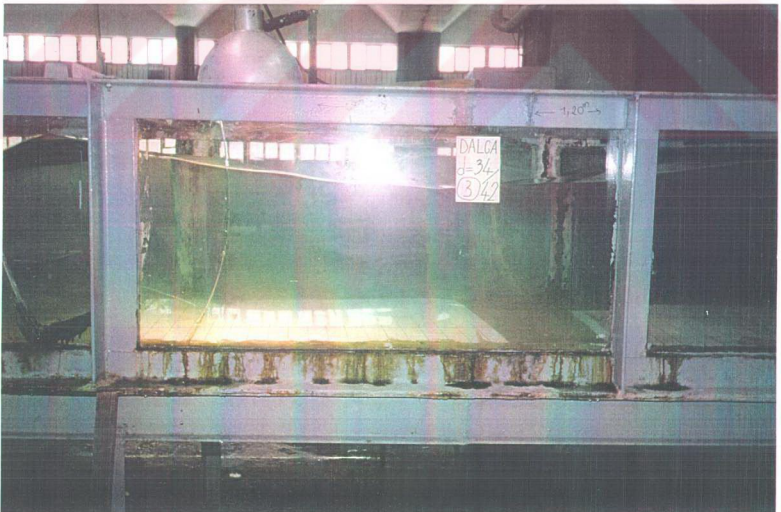
4. Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



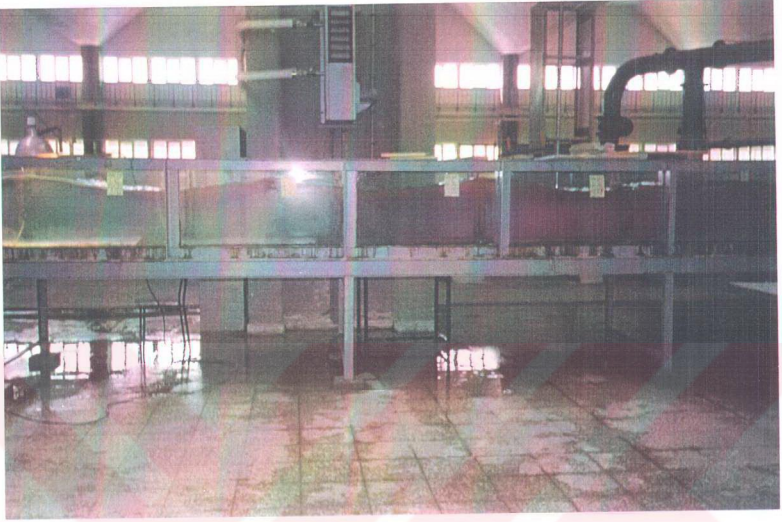
4. Deney Serisi Foto:2 (t=1,0 dk, 4. Kesit)



4. Deney Serisi Foto:3 ( $t=2,30$  dk, 5. Kesit)



4. Deney Serisi Foto:4 ( $t=3,10$  dk, 6. Kesit)



4. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

#### DALGALI SU ORTAMINDA 4. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Madde deşarj edildikten çok kısa bir zaman içerisinde karışarak dalga kanalına (dalganın çukuru ve kreti arasında kalan bölge) ulaşmış ve bu ulaşan madde Foto:5'te görüldüğü gibi çok hızlı bir şekilde iletilmiştir. Dalga kanalının altında kalan bölgede, dalga kanalıyla iletilen madde bulutu çevrinti hareketleri yaparak zamanla homojen bir dağılım sergilemiştir.

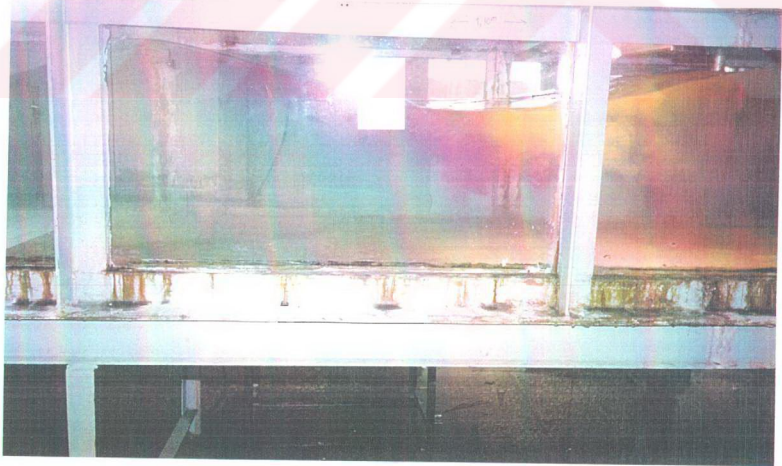
## 5. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

Tablo 4.11. Dalgalı Su Ortamında 5. Deney Serisi

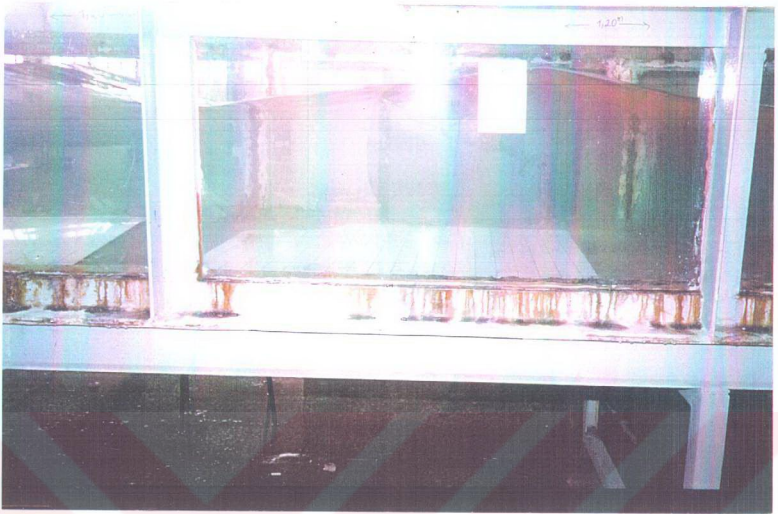
| Deney Malzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | Peryot T(sn) | Dalga Boyu L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                        |                    |           |                      |              |                 | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Rodamin B       | 38                     | 42                 | 90,47     | 160                  | 0,93         | 1,34            | 0,23               | 0,68     | 1,15     |



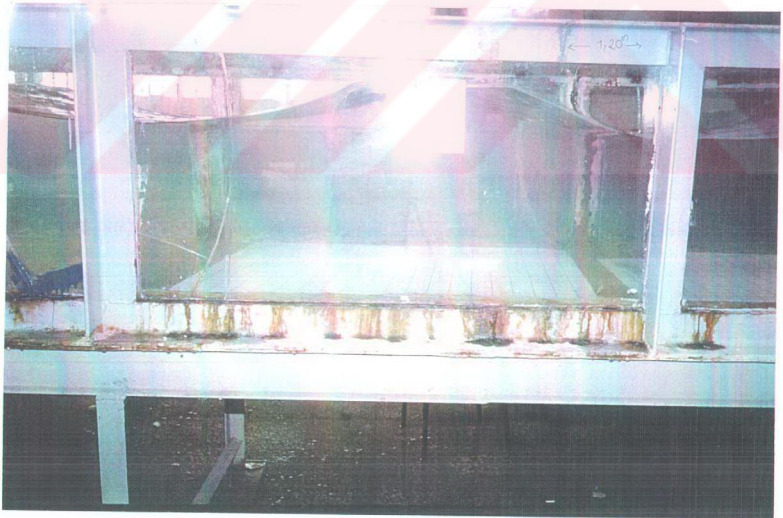
5. Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



5. Deney Serisi Foto:2 (t=0,23 dk, 4. Kesit)



5. Deney Serisi Foto:3 ( $t=0,68$  dk, 5. Kesit)



5. Deney Serisi Foto:4 ( $t=1,15$  dk, 6. Kesit)



5. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

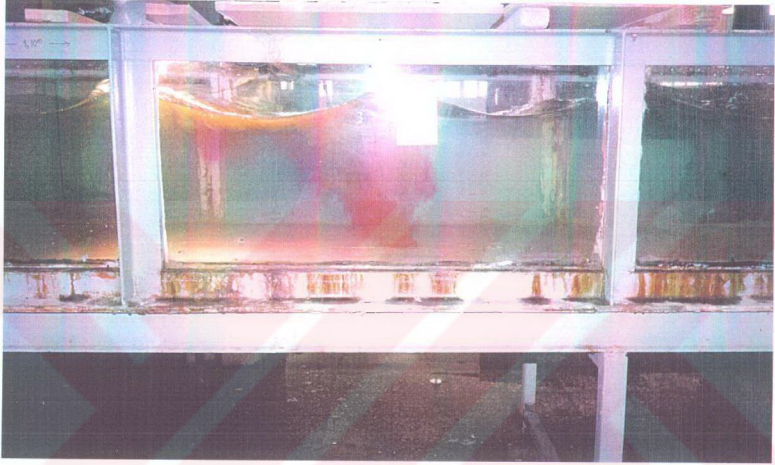
**DALGALI SU ORTAMINDA 5. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:**

Düzensiz dalgaların, boyuna dispersiyona önemli bir şekilde etki ettiği görülmüştür. Bu durumda dalga kanalında iletim çok hızlı olmuş bunun yanında düşey dispersiyon homojen bir dağılım sergileyerek oluşmuştur.

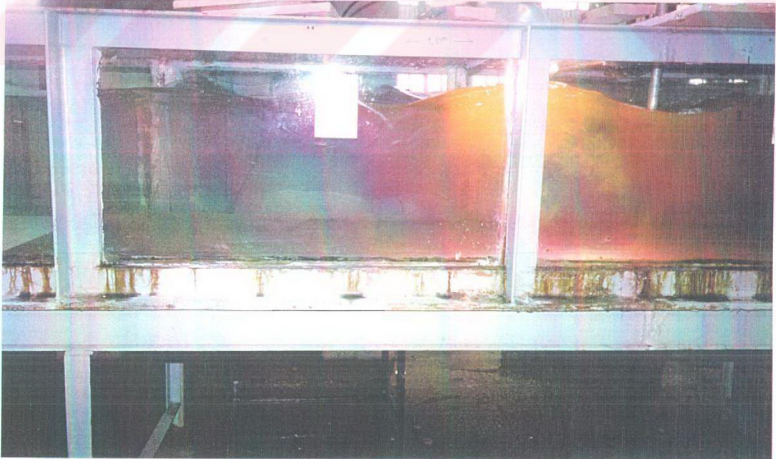
## 6. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

Tablo 4.12. Dalgali Su Ortamında 6. Deneş Serisi

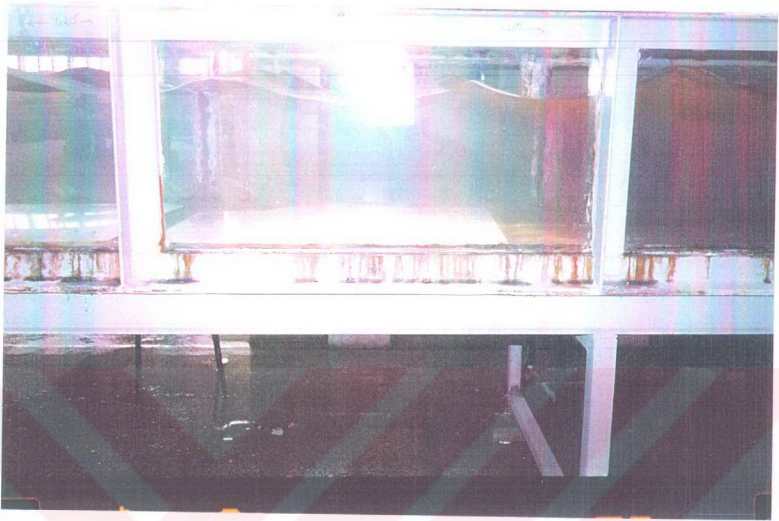
| Deneş Malzemesi | Deşarj Derinliğı h(cm) | Su Derinliğı H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (mlt) | Peryot T(sn) | Dalga Boyu L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                        |                    |           |                      |              |                 | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Rodamin B       | 40                     | 42                 | 95,23     | 160                  | 0,63         | 0,61            | 0,16               | 0,60     | 1,50     |



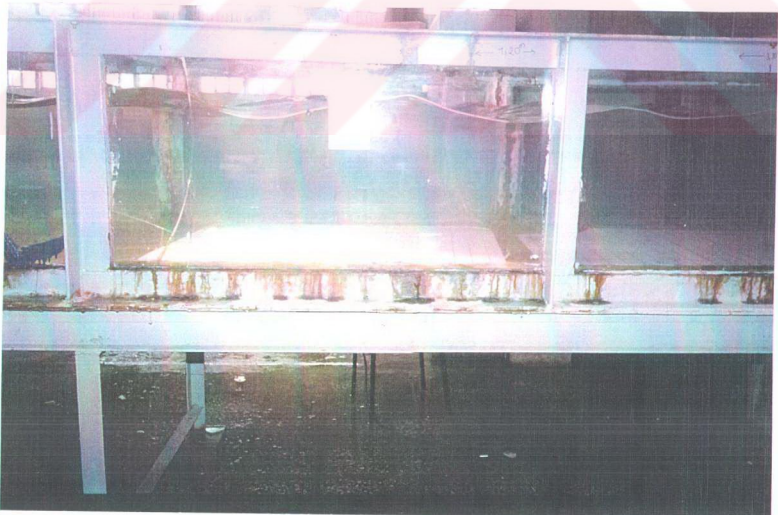
6. Deneş Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



6. Deneş Serisi Foto:2 (t=0,16 dk, 4. Kesit)



6. Deney Serisi Foto:3 ( $t=0,60$  dk, 5. Kesit)



6. Deney Serisi Foto:4 ( $t=1,50$  dk, 6. Kesit)



6. Deney Serisi Foto:5 (3., 4., 5. ve 6. Kesitler)

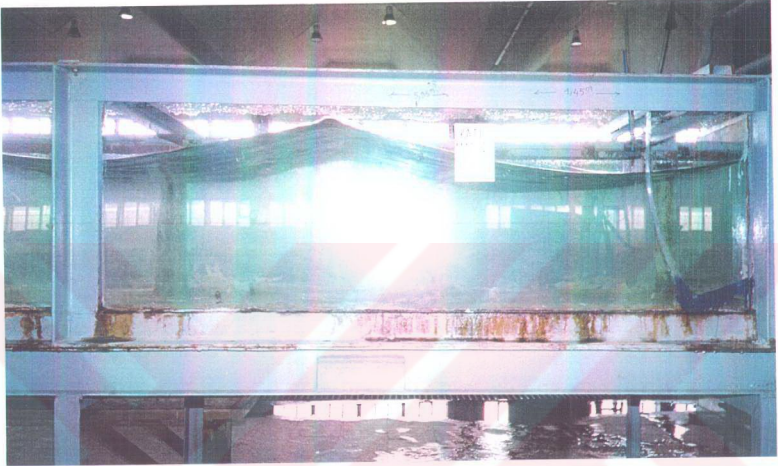
#### DALGALI SU ORTAMINDA 6. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Maddenin deşarj edildikten kısa bir süre sonra karıştığı gözlenmiştir ve dalga kanalıyla madde iletimi çok hızlı olmuştur. Dalga kanalıyla iletilen madde çevrinti hareketi yaparak dalga kanalının altındaki bölgede homojen olarak yayılmıştır. Burada deşarj dalga kreti ve çukuru aralığında yapılmıştır.

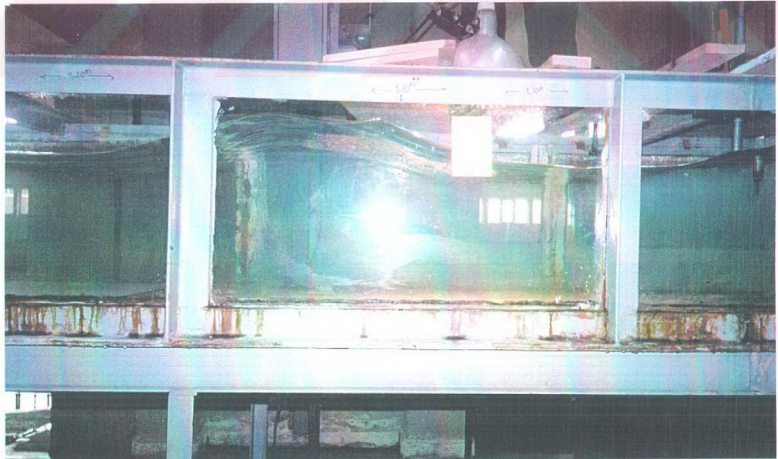
## 7. DENEY SERİSİ (DALGALI SU ORTAMINDA)

Tablo 4.13. Dalgalı Su Ortamında 7. Deney Serisi

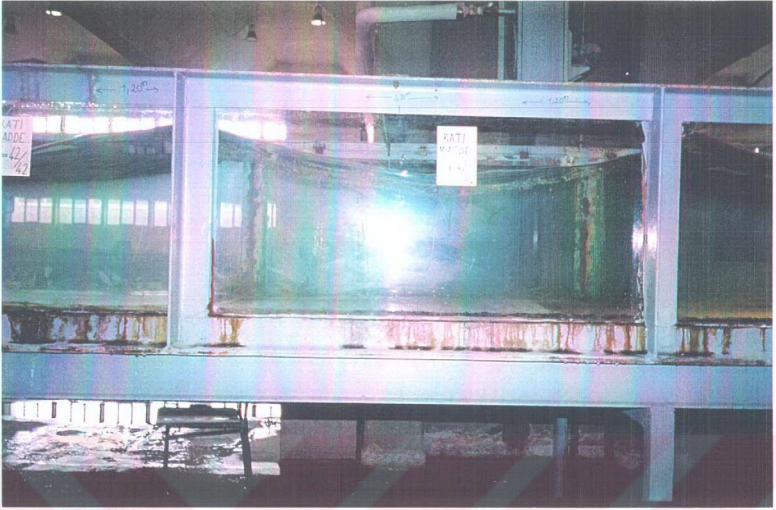
| Deney Matzemesi | Deşarj Derinliği h(cm) | Su Derinliği H(cm) | d=h/H (%) | Deşarj Miktarı (gr) | Peryot T(sn) | Dalga Boyu L(m) | İletim Süresi (dk) |          |          |
|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|---------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
|                 |                        |                    |           |                     |              |                 | 4. Kesit           | 5. Kesit | 6. Kesit |
| Talaş           | 42                     | 42                 | 100       | 20                  | 1,09         | 1,85            | 0,104              | 0,409    | 0,700    |



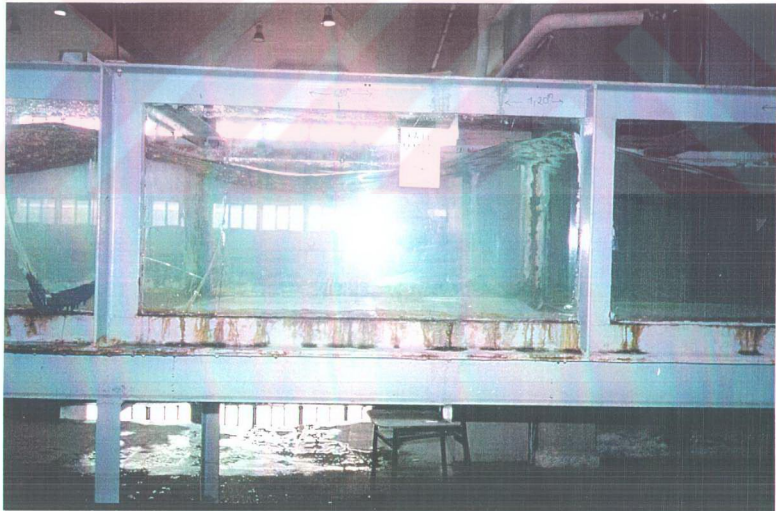
7. Deney Serisi Foto:1 (t=0, Deşarj Kesiti)



7. Deney Serisi Foto:2 (t=0,104 dk, 4. Kesit)



7. Deney Serisi Foto:3 ( $t=0,409$  dk, 5. Kesit)



7. Deney Serisi Foto:4 ( $t=0,70$  dk, 6. Kesit)

DALGALI SU ORTAMINDA 7. DENEY SERİSİ İLE İLGİLİ GÖZLEMLER:

Dalganın etkisiyle hızlı bir iletim gözlenmiştir.

#### 4.4. DİSPERSİYONUN DALGA ÖZELLİKLERİ İLE DEĞİŞİMİ

Tablo 4.14. Dispersiyonun Dalga Özellikleri İle Değişimi I

| Deney<br>Seri No | Deney<br>Ortamı | $d=h/H$ | Deşarj<br>(mlt) | T<br>(sn) | L<br>(m) | İletim Süresi (sn) |     |      |
|------------------|-----------------|---------|-----------------|-----------|----------|--------------------|-----|------|
|                  |                 |         |                 |           |          | 4                  | 5   | 6    |
| 1                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 0,50      | 0,390    | 10                 | 31  | 50   |
| 2                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 0,55      | 0,471    | 4                  | 14  | 31   |
| 3                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 0,60      | 0,561    | 5                  | 21  | 44   |
| 4                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 0,70      | 0,764    | 6                  | 24  | 33   |
| 5                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 0,80      | 0,998    | 15                 | 37  | 2,08 |
| 6                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 0,90      | 1,300    | 20                 | 43  | 1,23 |
| 7                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 1,00      | 1,560    | 20                 | 50  | 1,10 |
| 8                | Dalgalı         | 40/42   | 140             | 1,40      | 3,06     | 35                 | 1,0 | 1,34 |

Tablo 4.15. Dispersiyonun Dalga Özellikleri İle Değişimi II

| Deney   | Deney   | d=h/H | Deşarj | T     | L    | İletim Süresi (sn) |      |      |
|---------|---------|-------|--------|-------|------|--------------------|------|------|
| Seri No | Ortanı  |       | (mlt)  | (sn)  | (m)  | 4                  | 5    | 6    |
| 1       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 0,44  | 0,30 | 4                  | 15   | 35   |
| 2       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 0,506 | 0,40 | 6                  | 14   | 50   |
| 3       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 0,54  | 0,45 | 7                  | 51   | 1,28 |
| 4       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 0,57  | 0,50 | 14                 | 35   | 1,60 |
| 5       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 0,70  | 0,76 | 30                 | 1,10 | 2,20 |
| 6       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 0,94  | 1,4  | 55                 | 1,30 | 2,10 |
| 7       | Dalgalı | 38/42 | 60     | 1,41  | 3,1  | 40                 | 1,55 | 3,10 |

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada dalganın, maddenin dispersiyonundaki rolünün ne olduğu konusunda bir inceleme yapılmış ve ilerideki çalışmalarda faydalı olacak sonuçlar bulunmuştur. İncelemelerde tamamen görsel teknikler kullanılmıştır. Bilindiği gibi görsel tekniklerden, klorimetri ve tuzluluk ölçmelerinde olduğu gibi sağlıklı sonuç beklemek doğru değildir. Dalgalı bir su ortamında, maddenin dalga kanalıyla iletildiği ve homojen bir karışım oluştuğu görsel teknikler sayesinde tesbit edilmiştir. Çeşitli kesitlerdeki konsantrasyon dağılımını tesbit etmek için laboratuvarında 40 cm. boyunda, 5 cm. çapında bir boru, üzerinde 3 noktadan 1 cm çapında delikler açılarak, bu deliklerden serum hortumları geçirilerek ve bu hortumların başında 60 cl.'lik enjektör takılarak farklı derinlikteki üç noktadan numune alma mekanizması geliştirilmiştir. Söz konusu alet vasıtasıyla alınan akışkan numunelerinin konsantrasyonu fluometre aletiyle ölçülerek her kesitteki konsantrasyonun zamanla değişimi belirlenebilir. Ancak fluometre aletinin arızalı olması nedeniyle bu teknik uygulanamamıştır. Dalga hareketiyle maddenin boyuna dispersiyonu fotoğraf teknikleri kullanılarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir:

- 1) Dalgalı su ortamında madde iletiminin durgun su ortamına nazaran “10” kat daha hızlı olduğu görülmüştür.
- 2) Dalgalı su ortamında maddenin homojen dağıldığı görülmüştür.
- 3) Durgun su ortamında, ortama deşarj edilen atık maddenin yoğunluk tabakası oluşturarak iletildiği gözlenmiştir.
- 4) Atık madde, dalgalı su ortamının çeşitli boyutsuz derinliklerinden deşarj edilmiş ve maddenin dalga hareketiyle iletimi gözlenmiştir. Maddenin kesit içerisinde üniform olarak ve en hızlı şekilde iletildiği derinlik oranının 0,69 olduğu tesbit edilmiştir.
- 5) Madde iletiminin büyük bir kısmının dalga kanalında olduğu görülmüştür.

- 6) Karışım uzunluğunun dalga dikliği ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir.
- 7) Lineer dalganın madde iletimine bir katkısının olmadığı, iletimin düzensiz dalgalardan kaynaklandığı görülmüştür.
- 8) Kırılan dalgaların maddeyi su kolonundan daha derinlere doğru ilettiği görülmüştür.
- 9) Dalga boyunun azalmasıyla maddenin daha hızlı iletildiği görülmüştür.

Yukarıda beşinci maddede ifade edilen “maddenin dalga kanalıyla taşındığı” bulgusu Sobey’in araştırmasındaki dalgalarla kütle taşınımının çukur-tepe bölgesinde (dalga kanalında) olduğu sonucuyla uyusmaktadır.

Kırılan dalgaların su kolonunda madde iletimine sebep olduğunu Sobey de çalışmasında aynı şekilde gözlemiştir. Buna ilave olarak su kolonundaki maddenin çeşitli yüzey akımları ile taşınmasını incelemiştir.

Dalga dikliği ile karışım boyunun doğru orantılı olarak değiştiği sonucu Masch tarafından deneysel çalışma sonucu varılan ;

$$\zeta = B_0 \times \frac{2\delta}{g\Pi} \times \bar{q}^2_w$$

denklemleriyle teyit edilmektedir. Burada;

$\zeta$  = karışım boyu,

$\delta$  = dalga dikliği,

$B_0$  = dalga yaşı,

$q_w$  = orbital hız vektörü,

$g$  = yerçekimi ivmesi’dir.

Ancak Masch, deneysel olarak yapmış olduğu çalışmada suyun özgül ağırlığına eşit olan küreciklerin su zerresiyle aynı yörüngelyi izlediğini kabul etmiştir. Halbuki, deneyde kullandığı kürecikler suyun kaldırma kuvveti tesirinde kalarak yüzeye doğru çıkmak isteyeceklerdir. Bu ise küreciklerin pozitif yörüngesel hızda daha fazla kalmalarını sağlayacaktır. Bu sebepten dolayı, su zerrecikleri ile küresel parçacıkların aynı yörüngelyi izlemeleri mümkün değildir. Ayrıca deneyin yapıldığı

kanal yeterli genişliğe sahip olmadığı için rüzgar üreticiden çıkan rüzgarın yan duvarlarında bir sınır tabakası oluşturacağı ve su yüzeyine bırakılan küresel parçacıkların bu tabakanın içine girerek hesaplamalarda hatalı sonuçlar vermesi beklenir.

Deneylerin sonuçlarından varılan noktadaki; lineer dalganın madde iletimine bir katkısının olmadığı, taşınımın düzensiz dalgalardan kaynaklandığı sonucu Tamai'nin bulmuş olduğu sonuçlar ile uyusmaktadır.

Tamai, difüzyon kaynağını farklı dalga grupları arasındaki lineer olmayan etkileşimlerden aldığını ve difüzyon özelliğini gösteren en düşük dereceli dalga bileşeninin ikinci dereceden bileşen olduğunu göstermiştir.

İkinci madde de ifade edilen sonucu Zeidler de bulmuştur. Akımların olmadığı bir ortamda, dalganın difüzyona etkisinin homojen olduğunu ifade etmiştir.



## KAYNAKLAR

### A) Kitap ve Kitap Bölümleri

- Brebbia, C. and Anagnostopoulos, B.**, 1999. *Coastal Engineering and Marina Developments*, Witpress, Southampton.
- Borgman, L.**, 1969. *Directional Spectra Models for Design Use*, University of California, Berkeley, California.
- Csanady, G.T.** 1973. *Turbulent diffusion in the Environment*, Reider Publishing Co. Holland.
- Holly, F.M.**, 1985. *Dispersion in rivers and coastal waters- Physical principles and dispersion equations*, Developments in Hydraulic Engineering 3, Elsevier Pub., New York.
- Ippen, A.T.**, 1966. *Estuary and coastline Hyrdrodynamics*, McGraw-Hill Inc., New York.
- Kapdaşı, S.**, 1992. *Kıyı Mühendisliği*, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Kinsman, B.**, 1965. *Wind Waves, Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Lamb, H.**, 1932. *Hydrodynamics*, Cambridge University Press, London.
- Öztürk, İ.**, 1996. *Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarjı Sistemleri*, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Partridge, P.W.**, 1992. *Computer Modelling of Seas and Coastal Regions*, CM Pub. Southampton.
- Traversoni, L.**, 1995. *Computer Modelling of Seas and Coastal Regions*, CM Pub. Southampton.

## **B) Süreli Dergilerdeki Makaleler**

- Dekeyser, İ.,** 1989. Numerical Prediction of Turbulent Plane Buoyant Jets Discharging in a Stratified Stagnant or Flowing Ocean, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **116**, 371-387.
- Fischer, H. B.,** 1965. Numerical Solution to a Dispersion Equation, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **March**, 402-407.
- Holley, R. E.,** 1969. Unified View of Diffusion and Dispersion, *ASCE Journal of Hydraulics Division*, **March**, 621-631.
- Koh, C.Y.,** 1988. Shoreline Impact from Ocean Wastes Discharges, *ASCE Journal of Hydraulics Division*, **114**, 361-376.
- Lonquet-Higgins, M.S.,** 1957. On the Transformation of a Continuous Spectrum by Refraction, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, **53**, 226-229.
- Masch, F.,** 1963. Mixing and Dispersion of Wastes by Wind and Wave Action, *International Journal of Air and Water Pollution*, **7**, 697-720.
- Nordin, C.F.** 1993. Spectral analysis of sand waves, , *ASCE Journal of Hydraulics Division*, **92**, 95-114.
- Skätun, H.** 1996. A Buoyant Jet/Plume Model for Subsea Releases, *Environmental Issues and Mitigation Technologies*, 247-255
- Smith, R.,** 1996. Development and Appraisal of a Particle Tracking Model for the Dispersion of Produced Water Discharged from an Oil Production Platform in the North Sea, *Environmental Issues and Mitigation Technologies*, 225-245.
- Sobey, R. and Barker, C.,** 1997. Wave-driven Transport of Surface Oil, *Journal of Coastal Research*, **13**, 490-496.

- Seo, W. and Cheong, T.S.**, 1998. Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams, *ASCE Journal of Hydraulics Engineering*, January, 25-32.
- Sooky, A.**, 1969. Longitudinal Dispersion in Open Channels, *ASCE Journal of Hydraulics Division*, HY4-1327\*1345.
- Talbot, J.** 1981. Investigations of Dispersal in an Area of Complex Circulation-Outer Thames Estuary, *Ocean Science and Engineering*, **6**, 301-333.
- Tamai, N.**, 1972. Diffusion Due to Random Waves, *JSCE*, **203**, 79-91.
- Waldichuk, M.**, 1974. Application of Oceanographic Information to the Design of Sewer and Industrial Waste Outfalls, *Pacific Environment Institute Reun. Cons.int. Explor. Mer.*, **167**, 236-259.
- Washburn, L.**, 1991. Mixing and Dispersion Processes in the Velocity of an Ocean Outfall System in Southern California, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, 124-135.
- Zangrando, F.**, 1998. Mixing Depth of a Submerged, Horizontally Injected Bouyant Jet, *Journal of Solar Energy Engineering*, **110**, 125-131.
- Zeidler, R.**, 1976. Coastal Dispersion of Pollutants, *ASCE Journal of the Waterways Harbour and Coastal Engineering Division*, **102**, 232-254.
- Zoppou, C. And Knight, J. H.**, 1997. Analitical Solutions for Advection and Advection-Diffusion Equation with Spatially Variable Coefficients, *ASCE Journal of Hydraulics Division*, February, 144-148.

### **C) Akademik Konferanslarda Sunulan Bildiriler**

- Di Natale, M.** 1993. Advective motion of polluting surface plumes due to drift currents, *Proc. 8th Symposium on Coastal and Ocean Management*, ASCE, New Orleans, USA.
- Fan, S.S. and Borgman, L.E.**, 1970. Computer Modeling of Diffraction of Wind Waves, *Proceedings of the 12th Conference on Coastal Engineering*, ASCE, USA, September.

- Juang, J.,** 1998. Numerical Study on the Far Field Diffusion of Ocean Dumping for Liquid Waste. *8th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Montreal, Canada, May 24-29.
- Pierson, W.,** 1951. The Accuracy of Present Wave Forecasting Methods with Reference to Problems in Beach Erosion on the New Jersey and Long Island Coasts, *U.S. Army Corps of Engineers Beach Erosion Board*, Washinton D.C., USA, April.
- Savcı, M. E.,** 1989. Water Quality Control by Hydraulic Methods, *23rd Congress IAHR*, Ottawa, Canada.

#### **D) Raporlar**

- Horie, T.,** 1979. Numerical models on flow-dispersion, *P.H.R.I., Ministry of Transport*, Japan.
- Savcı, M.Emin.,**1997. Su Kirliliği Kontrolunda Nümerik Yöntemler, Su Kongresi İçin Rapor.

#### **E) Tezler**

- Savcı, M:Emin.,** 1972. Batmış Sıçramanın Etüdü ve Batmış Sıçramada Maddenin Boyuna Dispersiyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

## ÖZGEÇMİŞ

18.11.1970 tarihinde Mardin'in Midyat ilçesinde doğmuştur. İlk ve ortaöğrenimini Atatürk İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini ise Batman Lisesi'nde tamamlamıştır. Lisans eğitimini İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi'nde bitiren Abdüsselam ALTUNKAYNAK 1998 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen araştırma görevlisi olarak meslek hayatını sürdürmektedir.

