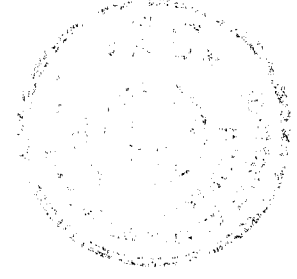


9963

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DALGA VE AKINTININ BİRLİKTE ETKİMESİ HALİNDE
DALGA VE AKINTIYA DİK YATAY KONUMLU BİR DEŞARJ BORUSUNA
GELEN YATAY KUVVET ÜZERİNE BİR LABORATUVAR ÇALIŞMASI**

DOKTORA TEZİ

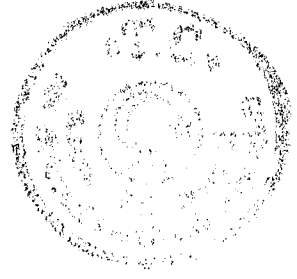
ANABİLİM DALI : İNŞAAT
PROGRAMI : HİDROLİK

ATILÂ DORUM
İnşaat Yüksek Mühendisi

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Halil ÜRÜN

KONYA - 1988

T. C.
Yükseköğretim Kurumu
Dokümantasyon Merkezi



T E Ş E K K Ü R

Tezin hazırlanması esnesında maddi, manevi katkı ve teşvikleri dolayısıyla tez yöneticisi Sayın Doç. Dr. Halil ÜRÜN'e şükranlarımı ve kalpten teşekkürlerimi sunmayı zevkli bir borç bilirim.

Deney setinin hazırlanmasında ve verilerin alınmasında yardımlarını gördüğüm labratuvar teknisyenlerine ve özellikle Temel TOSUN'a; model ve deney konularında görüşleri alınan bölüm öğretim üyeleri Sayın Doç.Dr. Recai BİLGİN, Sayın Doç.Dr. Ali KALENDER, Sayın Yard.Doç.Dr. Basri ERTAŞ'a ve labratuvarında çalışma imkanı tanıyan Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Bölümü yöneticilerine teşekkürlerimi bildiririm.

Ü Z E T



Bilindiği gibi artan nüfus ve gelişen teknoloji yerleşim merkezlerinde çevre kirliliği problemini de beraberinde getirmektedir. Sahilde kurulu yerleşim merkezleri için çevre kirliliğini önleme yollarından biri de yüksek oranda kirliliğe sahip bulunan kullanılmış suyun denizde uygun bir noktaya boşaltılıp kendi hacminin binlerce katı deniz suyu içinde karışması sağlanarak konsantrasyonunun düşürülmesi ve böylece çevre kirlenmesinin önüne geçilmesi yoludur.

1950 lerden sonra başlayan bu uygulama mühendislik açısından iki farklı problem olarak ele alınmaktadır. Birincisi özellikle, kullanılan sahil seridine zarar verilmeden, seyrelmenin istenilen standardda teminidir. Diğeri ise, atığın istenilen noktaya boşaltılmasını -deşarjı- sağlayan boru hattının (out-fall) dalga ve akıntılardan aldığı kuvvet karşısında bozulmadan ekonomik ömrünü doldurmasıdır.

Hat'a kuvvet uygulayan etkilerden akıntılar için yeterli araştırma ve tatminkâr sonuç mevcuttur. Ancak dalgalar için henüz tam veya yeterli sonuçlara ulaşılamamıştır. Dalga ve akıntının birlikte var olduğu hallerdeki kuvvetin etkisinin belirlenmesinde ise pek çok boşluk vardır.

Bu tez çalışması ile Ülkemiz sahillerinin fiziki şartları da dikkate alınarak dalga ve akıntının, büyük ölçekli bir model üzerinde labratuvarda benzetimi yapılmaya çalışılmıştır.

Aranan kuvvetin tayininde kritik durum ve ekstrem şartlar ele alınmış olup, böyle hallerde durumun ne olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu münasebetle dalga ve akıntı aynı yönde etkililmiş ve üretilen dalgalar sığ su veya derin su dalgası olmayıp, orta derinlikli su dalgası olmuştur. Çünkü sığ su dalgasının zararı sığ kesimde hatın gömülmesiyle daha kolay bir şekilde önlenilmekte, derin suda ise yüzeydeki enerjinin tabana pek az oranda ulaşabilmesi dolayısıyla hasar yapma gücü azalmaktadır.

Testler, yatay bir tabanın hemen üzerine ve dalga ile akıntıya dik konumda yerleştirilmiş bulunan bir asbest beton boruya uygulanmıştır.

Bu teze amaçlanan hedef bir metod geliştirmek olmayıp, dalga ve akıntının birlikte varlığı halinde etkiyen kuvveti deneyle bulup, mevcut ve yaygın kullanımlı metodlardan hangileri ile belirtilen şartlar için nasıl uyduğunun araştırılmasıdır. Bu münasebetle bulunan sonuçlar yaygın kullanımlı üç metod ile mukayese edilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu hususlar IV.Bölüm'de yer almaktadır.

I. Bölüm'de ise Deşarj yapısı genel olarak tanıtılmakta, elemanları ve projelendirme esasları verilmektedir.

II. Bölüm'de dalga, akıntı müşterek hali hakkında bilgi verilmekte ve sadece dalga veya akıntı hakkındaki bilgiler ise hacmi artırmamak amacıyla ekte sunulmaktadır.

III. Bölüm'de ise tez için kurulmuş bulunan model tanıtılmaktadır.

Bu çalışma ile elde edilen bilgiler ise Sonuçlar başlığı altında tekdüm edilmektedir.

İÇİNDEKİLER



Sayfa No

TEŞEKKÜR	I
ÖZET	II
İÇİNDEKİLER	III
I. BÖLÜM DENİZE DEŞARJ VE DEŞARJ YAPILARININ TANITILMASI	1
I.1 Genel	1
I.2 Karadaki Yapılar	2
I.3 Deşarj Hattı	3
I.4 Difüzör (Dağıtıcı)	6
I.5 Seyrelme	8
I.6 Hattın İnşası ve Diğer Hususlar	14
I.7 Borunun Stabilitesi	14
II. BÖLÜM KUVVET HESAPLAMA YÖNTEMLERİ VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	18
II.1 Genel	18
II.2 Dalga Kuvvetleri Hesaplama Yöntemleri	18
II.3 Dalga- Akıntı Konusundaki Mevcut Çalışmaların Değerlendirilmesi	62
III. BÖLÜM DENEY DÜZENEGİ	64
III.1 Genel	64
III.2 Deneyin Gerçekleştirildiği Labratuvar	64
III.3 Deney Düzenegi	65
III.4 Dalga Karakteristiklerinin Ölçülmesi (H,L,T)	72
III.5 Kuvvetin Ölçülmesi	75
III.6 Deney Düzeneginin Çalıstırılması ve Verilerin Alınması	82
III.7 Deney Düzenegi Üzerine Düşünceler	83
IV. BÖLÜM DENEYLER MUKAYESELER DEĞERLENDİRMELER	85
IV.1 Giriş	85
IV.2 Deney Elemanları Parametreler ve Prosedür	88
IV.3 Deneyler	90
IV.4 Mukayese için Kullanılan Metodlar	91
IV.5 Değerlendirmeler	99
SONUÇLAR	103
KAYNAKLAR	105
EK-1	112
EK-2	132
ÖZGEÇMİŞ	

I. BÖLÜM



DENİZE DEŞARJ VE DEŞARJ YAPILARININ TANITILMASI

I.1 GENEL

Bilindiği gibi temel ihtiyaç maddelerinden olan su gereksiz doğrudan insanlar tarafından, gerekse sanayide kullanıldıktan sonra çoğunlukla yüksek seviyede kirlenmektedir. Bu sular için kirlisu, kullanılmış su veya atıksu terimleri kullanılmakta olup burada atıksu terimi tercih edilecektir. Teknolojinin gelişmesi ve çoğalan nüfus, günümüzde bu atıksuların kontrolsuz olarak çevreye bırakılmasını, çevre kirliliği açısından çok mahzurlu hale getirmiştir. Çünkü kontrolsuz halde bırakılacak olan atıksuyun çevreye vereceği zararın giderilmesi için yapılacak harcamalar, kirliliğin kontrol edilmesini sağlayacak yapılar için gerekli olan harcamalardan çok daha fazla olabilmektedir. Bu nedenle atıksuların bertaraf edilmesi günümüzde inşaat ve Çevre Mühendisliği'nin en önemli problemlerinden biri haline almıştır. Bu problem ya kirliliğin çeşitli şekillerde olmak üzere karada yok edilmesi veya deniz, göl, nehir gibi büyük su kütlelerine uygun biçimde boşaltılması yoluyla çözülmektedir.

Bu boşaltım işine "Denize Deşarj" adı verilmektedir. Bu terim "Denize Boşaltım" terimi yanında Türkçe kaynaklarda daha çok kullanılma eğilimindedir.[1].

Atıksuyun üretim noktası karadır. Dolayısıyla zararsız hale getirilme işi yukarıda da belirtildiği gibi hem karada, hemde denizde olabilmektedir. Bunlardan hangisinin tercih edileceği daha ziyade ekonomik değerlendirmeler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bilindiği gibi sahilde yer alan yerleşim merkezleri için denize deşarj tesisleri, karadaki tasfiye tesislerine göre daha uygun bulunmaktadır I 2 I.

Atıksuyun karada arıtılması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler esas itibariyle fiziksel veya mekanik, kimyasal ve biyolojik usulleri ihtiva etmektedir. Fiziksel işlemler katı maddeler ve yağlar için azgalarla tutulma, süzme veya süzülme, yüzdürme, çöktürme ve fiziksel adsorbsiyon gibi işlemlerdir. kimyasal işlemler ise çeşitli katkı maddeleri kullanma, iyon değiştirme, kimyasal çöktürme, kimyasal stabilizasyon, yumaklaştırma (koagülasyon) gibi işlemleri içerir. Biyolojik yöntemler ise yine yumaklaştırma ve çöktürme gibi işlemleri içine alır. Bu yöntemlerden yararlanılarak çeşitli tip ve şekillerde tasfiye tesisi projelendirmeleri yapılmaktadır I 3,4,5 I.

Atığın zararsız hale getirilme işi ister karada, ister denizde gerçekleştirilsin esas olan nokta çevre kirliliğinin önüne geçilmesidir. Tabii ki

burada çevreden kasıt hem kara ve hemde deniz ortamıdır. Buna göre yapılan boşaltım sonucu denize zarar verilmemesi projelendirilmesinin ana hedefidir. Çünkü esas itibariyle yerleşim merkezinin hemen yanında bulunan denizin insanlar tarafından dinlenme, eğlenme ve spor yapma gibi amaçlarla kullanılması arzulananmaktadır. Ayrıca denizdeki doğal dengenin bozulması insanlık için dolaylı zararlar doğuracaktır. Bilindiği gibi bu tezde, atıksuyun denizde zararsız hale getirilmesi konu edilmektedir. Bu maksatla bu bölümde deşarj ve deşarj yapıları ile bunların projelendirme esasları tanıtılacaktır.

Görüldüğü gibi deşarj problemi esas itibariyle bir Çevre Mühendisliği problemi. Deşarj, atıksuyun bir boru ile deniz içinde uygun bir noktaya boşaltılmasıdır. Deşarjı gerçekleştiren boru hattı (outfall) dizaynı ise bir hidromekanik problemidir.

Bir deşarj projesinin hesabı kanalizasyon projesinden alınan üzerine kurulur. Bunun temel sebebi deşarj hattını oluşturan borunun çapıdır. Çünkü boşaltım işi bu boru ile temin edilmektedir ve borunun alacağı hidromekanik etkiler hesap metodu ne olursa olsun boru çapına bağlıdır. O halde projelendirmeye kanalizasyondan gelen nihai atıksu debisinin tesbiti ile başlamak gereği doğmaktadır. Atıksu debisi ise ilgili bölgenin nüfusu, sosyal ve ekonomik yapısı ile gelecekteki değişimler ve gelişmelerle ilgilidir. Bu sebeple konunun incelenmesini bu noktadan başlanılmaktadır.

Ülkemizde birçok yerleşim merkezinin kanalizasyon şebekesi tamamlanmış olmakla birlikte, daha büyük bir yoğunluğunki ise henüz yok veya yetersiz durumda bulunmaktadır. Tamamlanmış olanlarda çevre kirliliği problemi ise henüz tümüyle halledilmiş değildir. Deşarj yapıları projelendirme debileri için nüfus tahminleri önceki sayımlara dayalı olarak ve ençok %3'lük bir artış öngörülerek hesaplanmakta ve o nüfusun doğuracağı atıksu debisi tahmin edilmektedir. Bu debi evsel atıksular terimi ile ifade edilmekte olup toplam debinin büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır. Bunun dışında endüstriyel atıksular ve diğer debileri dikkate almak gerekmektedir. Bunlar arasında yerleşim merkezi turistik özelliği sahip ise turist yoğun mevsimdeki artışlar, kanalizasyon şebekesine dışarıdan sızan sular ve birleşik sistem bir şebeke sözkonusu ise yağmur suları sayılabilir.

I-2 KARADAKİ YAPILAR

I-2-a Ana Toplayıcılar ve Ünarıtma: Kanalizasyon şebekesi topografik yapıya bağlı olarak bir noktada değil birden fazla noktada son bulabilir. Böyle bir durumda birden fazla boşaltım hattı inşa edilmesi teknik ve ekonomik

sebeplerle uygun olmayacağı için bu dağınık mansap uçları ana toplayıcılar (kolektör) vasıtasıyla bir noktada toplanır. Fakat bu haliyle deşarj hattına yüklenmesi uygun olmaz. Yatırım ve işletme masraflarının azaltılması açısından bu atığın bir önarıtma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu basit işlem en azından ızgara ve kum tutucular koymaktır. Debi arttıkça önarıtma işlemi için daha ileri seviyede arıtma işlemi gerekir. Böylece tasfiye tesisi ile atıksu, kirletici yoğunluğu bakımından hem zayıflatılmış ve hemde iç hat veya dış hat üzerinde yapılan bir dengeleme ile kirleticiler bakımından dengeli ve kararlı bir hale getirilmiş olarak, yani kontrollü bir şekilde hatta yüklenmiş olur I 7 I.

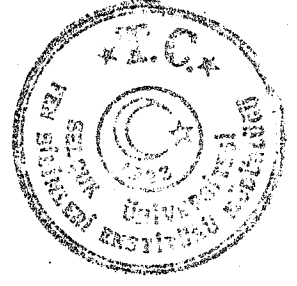
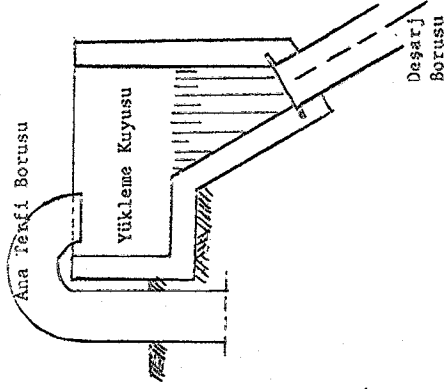
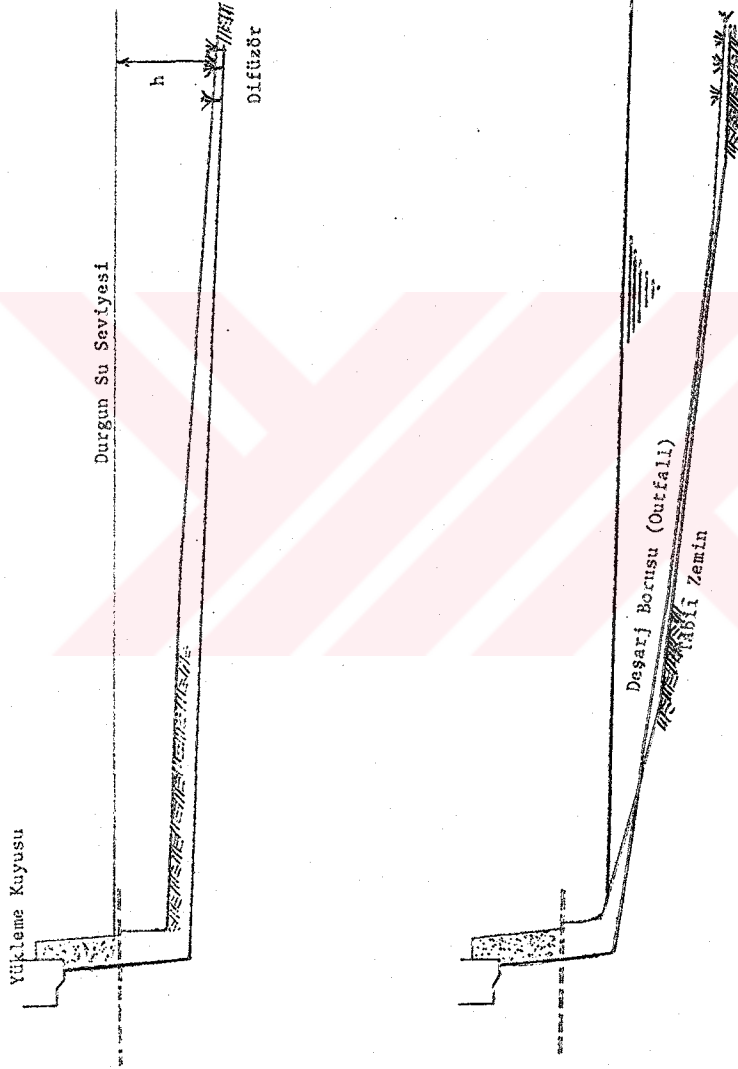
I.2.2 T e r f i M e r k e z i v e D o l u S a v a k : Bir önarıtma ile hatta yüklenmeye hazır hale gelmiş olan debi, denizde, dipte bir noktaya açılacağı için ve işletme şartları bakımından belli bir enerjiye sahip olarak yüklenmek zorundadır. Boşaltım borusunun başlangıç ucu karada bir nokta, bitiş ucu denizde bir noktadır. Bu arada en az birkaç yüz metre uzunluk söz konusudur ve dikkate alınması gereken bir yük kaybı getirir. Ayrıca çıkış ucu üzerinde bir miktar su ve dalgalanma basıncı vardır. Bu sebeplerle atığın girişte belli bir kottan yapılması veya hatta yüklenen atığın belli bir enerjiye sahip olması gerekmektedir. Bu maksatla yükleme belli bir kottan yapılır. Bu kota ulaşmak için çoğunlukla bir terfi merkezi inşası gerekli olmaktadır.

Terfi merkezlerinde elektrik kesilmesi veya bir bozulma sonucu pompaların ani durması ile sürpresyon veya depresyon olayı meydana gelecektir. Bu aşırı basıncın borulara zarar vermesini önlemek amacıyla terfi sistemine bir su darbesi önleme cihazı ilave edilmesi gerekmektedir. Bu cihaz için öncelikle basınçlı hava kazanı olmak üzere, su kazanı, denge bacası, şüpbab volan gibi alternatifler söz konusu olabilmektedir. Bu esnada kanalizasyon sisteminden atığın gelişi durmayacağından, bu atığın terfi merkezini istila etmemesi için birde uygun bir noktaya açılan bir dolu savak ilave edilmektedir I6I.

I.2.3 Y ü k l e m e K u y u s u : Atığın boşaltım hattına yüklenmesi bir yükleme kuyusu vasıtası ile olmaktadır. Yükleme kuyusu atmosfer basıncına açıktır, fakat hattaki akımın basınçlı olmasını temin edecek kot ve şekle sahiptir. Eğer böyle bir nokta bulunamaz ise yükleme yine pompa ile yapılabilir (Şekil I.1).

I.3 DEŞARJ HATTI (OUTFALL)

Deşarj sistemi içinde daha ağırlıklı yapıları oluşturan karadaki yapı-



ŞEKİL 1.1. Deşarj Hattı Genel Görünüşü

lar vasıtasıyla boşaltıma hazır hale gelen atıksuyun denizin uygun bir noktasına iletilmesini sağlayan hat olup, deşarj borusu ile en uç noktada yer alan ve difüzör adı verilen bir dağıtıcıdan meydana gelir.

Deşarj borusu başlangıç noktasından itibaren belli bir uzunluk boyunca karada ve denizde zemin altına döşenir. Gömülü kısmın denizdeki uzunluğu dalgaların tabanda oluşturduğu kuvvetin etkisi dikkate alınarak belirlenir. Bilindiği gibi, açık denizde oluşan dalgalar kıyıya yaklaştıklarında, hem yön değiştirerek kıyıya paralel hale gelirler ve hemde açık denizdeki yüksekliklerini kaybederler. Dalga yüksekliğinde meydana gelen bu azalma dalga çukurlarının deniz tabanına çarpması ile oluşur. Bu çarpma esnasında dalga tarafından taşınan enerji tabana nakledilir. Bu olayın tekerrür adedi hatırlanırsa bu bölgede borunun açığa döşenmesi halinde, alacağı kuvvetin büyüklüğü ortaya çıkacaktır. Bu nedenle kırılma bölgesinde hattın gömülü olarak döşenmesi, açığa döşenerek tesbit kitleleri ile sabitlenmesine nazaran daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca bu bölgedeki sığlık hattın döşenmesinde kolaylık sağlayacaktır.

Deşarj hattının projelendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1.3.1 Boşaltım Borusunun Yeri : Hattın yerleştirilmesinde atığın özellikleri, topografya, karadaki yapılar, atığın denizde seyrelmesini ve yok olmasını sağlayan dalga ve akıntı şartları ve deniz suyunun sıcaklık, tuzluluk, tabakalaşma , v.b. özellikleri esas olarak alınır. Borunun doğrultusu ise, maksimum seyrelmeyi sağlayacak şekilde ve borunun alacağı kuvvetler dikkate alınarak belirlenir.

1.3.2 Borunun Uzunluğu : Minimum uzunluk atıksu tarafından sahilin belli bir genişliğinin kirlenmesini önleyecek miktarda olmalıdır. Burada sahil hattı konfigürasyonu ve deniz tabanı topografyası esas faktörler olarak ele alınır. Böylece seçilen uzunluk kullanılan sahil bölgesine, kirleticilerin belli bir miktarın üzerinde bir değerde ulaşmasını önleyecek miktarda olur.

1.3.3 Hattın Doğrultusu : Bu husus bir projelendirme faktörü olarak ele alınır. Genel olarak difüzörün sahildeki ana akıntı doğrultusuna dik olacak şekilde konulması, atıksuyun seyreltilmesinde daha yüksek bir verim sağlar.

1.3.4 Hattın Ulaşması Gereken Derinlik : Atıksu difüzörden boşaltıldıktan sonra önce deniz suyu ile karışarak seyrelir. Buna başlangıç sulanması denilmektedir. (İnitial Dilution, İnitial Mixing). Sonra topografya, tuzluluk, sıcaklık, yoğunluk ve akıntı tesirle-

rine bağılı olarak deniz içinde veya yüzeyde bir noktada tutsaklanıyor (trapping of sewage). Bu suretle kirleticilerin seyrelerek ve yok olarak insanlar tarafından kullanılan sahil bölgesinin, istenmiyen oranda kirlenmesinin önüne geçilmiş olmaktadır. Bu nedenle derinlik bu prosesin gerçekleşebileceği bir derinlik olarak ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak sahilin temizliği borunun yeri, uzunluğu, doğrultusu, derinlik, dalga ve akıntı tesirleri ile birlikte değerlendirilerek temin edilmiş olmaktadır.

1.4 DAĞITICI (DİFÜZÖR)

Deşarj borusu ile istenilen bölgeye ulaştırılan atık, yağılmanın önlenmesi ve daha etkin bir seyrelmenin sağlanabilmesi amacıyla boru bitiş noktasında tek noktada salıverilmek yerine, boru üzerine sıralanmış deliklerle tedricen boşaltılır. Difüzör adı verilen bu kısım genellikle boşaltım borusunun bir uzantısıdır. Ancak bazan boru kesiti daraltılabilmekte veya Y şeklinde çatallı olarak yapılabilmektedir.

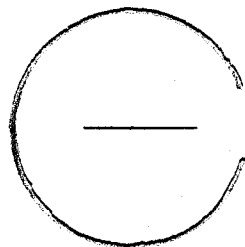
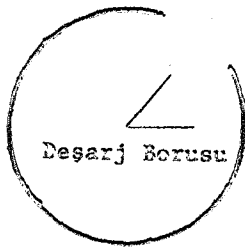
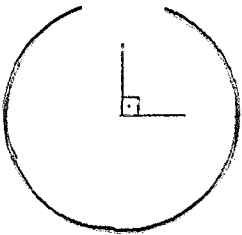
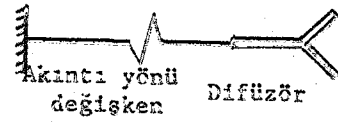
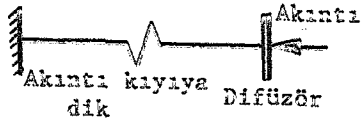
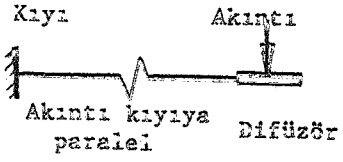
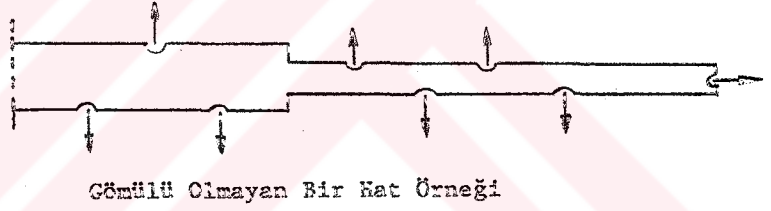
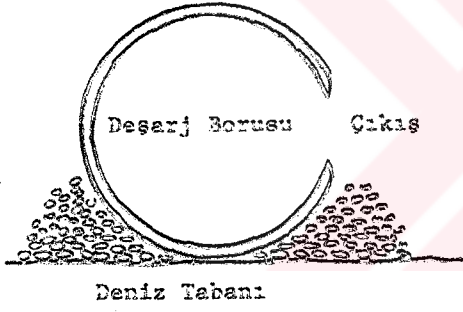
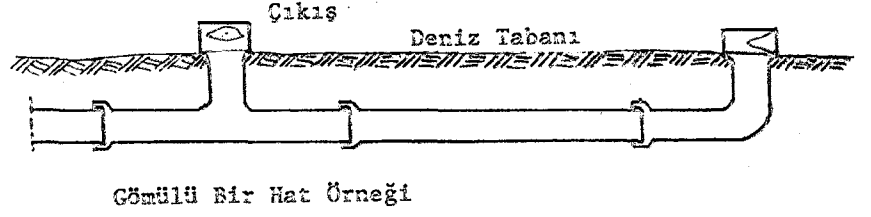
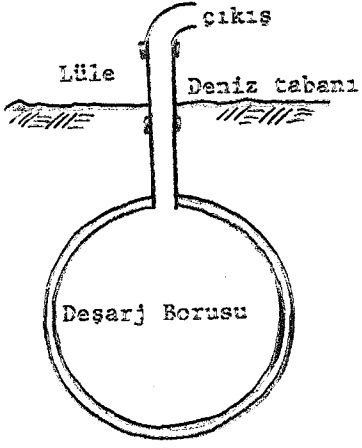
Dağıtıcının uzunluğu, ilk yaklaşımla bir günde boşaltılan miktarın her 1000 m³ için 1-2 m kadar alınabilmektedir. Daha sonra seyrelme hesapları sırasında bu uzunluğun yeterli olup olmadığı tahkik edilmektedir.

Difüzörün doğrultusu, boşalmanın sabit yük altında yapılabilmesini temin açısından, eşderinlik eğrilerine paralel olmaktadır.

Boşaltma genellikle borunun üzerine açılan dairesel şekilli delikler vasıtasıyla yapılmaktadır. Ancak bunun yanında boruya yerleştirilmiş lüleler de kullanılabilir (Şekil I.2). Delikler, boşalmayı yataya göre dik veya eğik bir açıda gerçekleştirebilecek şekilde ve keskin kenarlı veya çan ağızlı olarak yapılabilmektedir. Çan ağızlı delik, yük kayıpları için daha uygundur.

Delik çapları ise geneelde 5-25 cm olarak verilmektedir. Ancak ABD Los Angeles, Whites Point örneğinde görülen bu uygulama az bulunmakta ve 10 cm den küçük delik çapları tavsiye edilmemektedir I 8,3 I. Ayrıca uygun çap aralığı değerini yoğunluksal Froude sayısı, hız, delik çapı ve yoğunluk değişkenlerine bağılı olarak veren basit bir formülasyon I 8 I tarafından verilmektedir. Burada enaz 10 cm seçiminin esas sebebi boru gövdesini saran canlı organizmaların zamanla deliğin çapını küçültebileceği veya tabandaki malzemenin akıma tesir edebileceğidir. Borunun bitiş ucunda bulunan delik alanı ise diğerlerinin 1.5 katı olarak verilmektedir.

Delik aralıkları, seyrelmenin en yüksek şekilde oluşumunu temin edecek şekilde düşünülmektedir. Bunun için delik çapının 20-30 katı kadar bir aralık 2.5-4.5 m gibi bir aralık teklif edildiği gibi bunun yanında her bir delik-



Çıkış Ağız Konumları

ŞEKİL 1.2 Difüzör ve Yerleştirilmesi (I 11,13 I)

ten çıkan atığın tutsaklanma bölgesine kadar birbiri ile karışmamasını te-
min edecek bir yükseklik olarak teklif edilen ve su derinliğinin üçde biri
kadarlık bir aralığı uygun gören değerler verilmektedir (I 9,10 I, (Şekil
I.3).

Toplam delik alanı ve delik sayısı: Deliklerin toplam alanı, borunun
enkesit alanına eşit veya daha küçük olmalıdır. Delik sayısı ise sadece 3-4
tane olabileceği gibi (Danimarka, Frederica projesi 3 adet; Alanya projesi
4 adet), 15 e kadar da değişebilmektedir (Danimarka Aarhus Projesi), I 11 I.

Burada sonuç olarak şunu da ifade etmek yerinde olacaktır. Arıtma te-
sisi, pompa istasyonu ve ekleri ile karadaki yapılar, deşarj hattı ve difü-
zör ile denizdeki yapılar bir bütündür ve denize boşaltım işini birlikte
üstlenmektedirler. Bu sebeple bunların birlikte ele alınmaları ve mümkün
seçeneklerir birlikte değerlendirilmesi hem fonksiyonel hemde ekonomik bir
çözümün bulunabilmesi için gerekli olmaktadır I 12,13 I.

I.5 SEYRELME

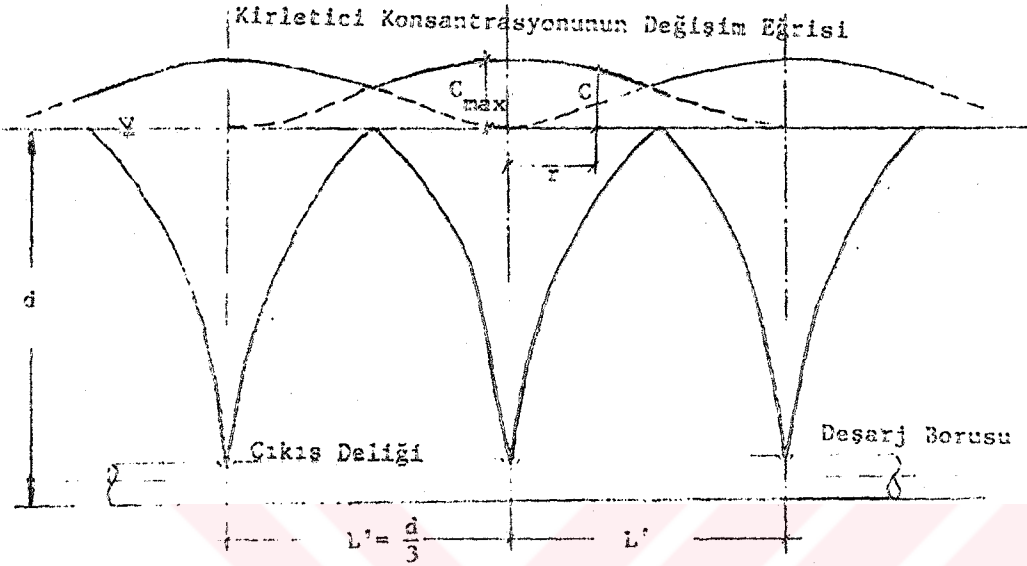
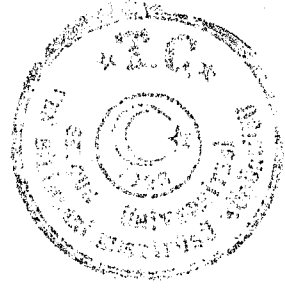
I.5.1 G e n e l : Atıksu bilindiği gibi yüksek yoğunlukta kirleticiler
ihtiva eder ve bu nedenle bulunduğu ortamdaki canlı hayata zarar veren, na-
hoş manzara ve kokular doğuran bir karışımdır. Bu nedenle atıksuyu üretim
noktası olan karada kendi haline bırakmak söz konusu olmayıp, doğuracağı o-
lumsuz etkilerin bertaraf edilmesi cihetine gidilmektedir. Atıksuyun bu o-
lumsuz etkilerinin yok edilmesi veya azaltılması esas itibariyle şu iki yol-
la olmaktadır. Birincisi: fosseptik çukurlarında, tasfiye tesislerinde ol-
duğu gibi çeşitli fiziksel, kimyasal, biyolojik metodlarla kirleticilerin
sudan ayrılması; ikincisi ise deşarj sisteminde olduğu gibi kirleticileri
sudan ayırmadan, kirletici madde miktarına nazaran çok büyük bir su kütlesi
karışmasının sağlanarak önce kirlilik konsantrasyonunun azaltılması ve son-
ra zaman içinde yok olmaları veya yeterince dağılmalarıdır. Bu ikincisinde
meydana gelen olguya seyrelme adı verilmektedir. Seyrelmenin matematik ifa-
desi şu şekildedir.

$$S = \frac{\text{Atıksu hacmi} + \text{Deniz suyu hacmi}}{\text{Atıksu hacmi}}$$

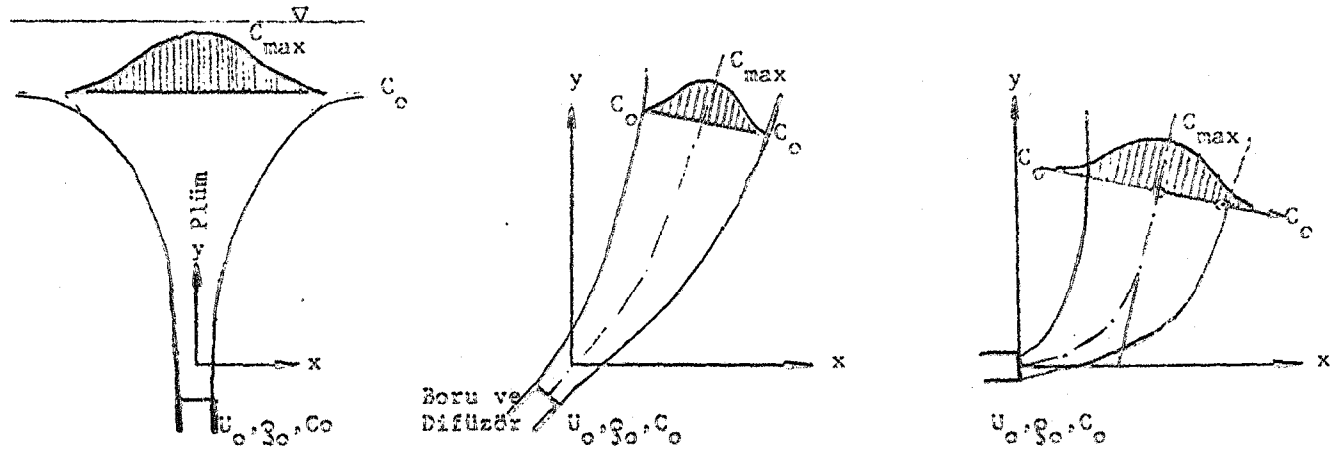
Burada karışan su kütlelerinin oranının ilk safhada veya kısa sürede 1
e 80-100 gibi bir miktar olduğunun ve daha sonra bunun çok daha üzerine çı-
kıldığının ifade edilmesi yerinde olacaktır.

Kirleticilerin deniz ortamında seyrelmesi iki safhada oluşan bir olay-
dır. Birinci safhada oluşan seyrelmeye ilk seyrelme adı verilmektedir. İlk
seyrelme difüzör çıkış ağzından başlayıp, su içinde veya yüzeyde bir bölge-
de birikme veya depolanma (tutsaklanma) süreciyle sona erer.

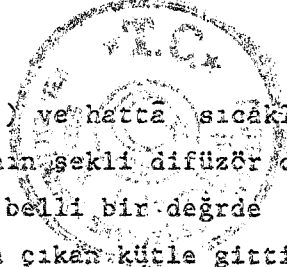
Difüzör deliğinden çıkan atık sahip olduğu hız, deniz suyu ile kendi-



ŞEKİL 1-3 Difüzör Delik Aralıkları ve Bir Seyrelme Şeması Örneği (1 6 1)



ŞEKİL 1.4 Difüzör Konum ve Yayılma Şekilleri



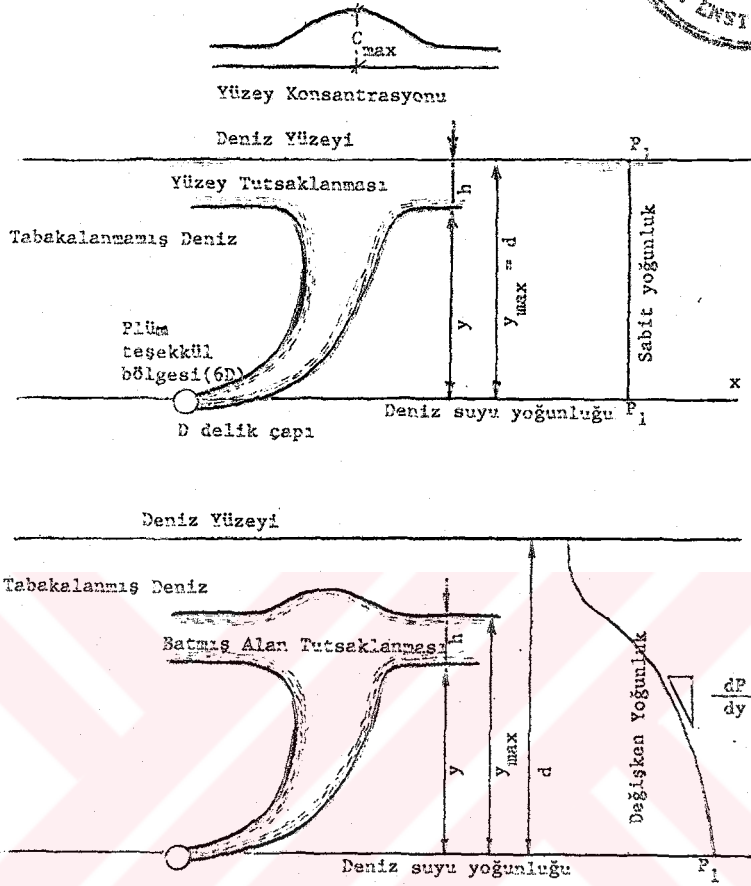
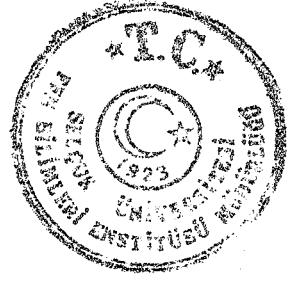
si arasında ki yoğunluk farkı (atıksuyunki daha azdır) ve hatta sıcaklık farkı gibi sebeplerle deniz içinde yayılır. Bu yayılmanın şekli difüzör deliğinin konumuna bağlıdır (Şekil I.4). Çıkış ağzında belli bir değerde olan hız, gittikçe azalacak, fakat buna karşılık borudan çıkan kütle gittikçe yayılacaktır. Burada meydana gelen şekle jet yayılması adı verilmektedir. Difüzör ağzında teşekkül eden jet gittikçe genişliyerek yükselmeye başlıyarak yükselen jet içerisinde yoğunluk gittikçe artacaktır. kaldırma kuvveti ve yoğunluk farkı etkisinin bittiği yani çevre ile dengenin kurulduğu noktada yükselme duracaktır. Buraya kadar oluşan şekle plüm (plume) adı verilmektedir.

Bundan sonraki yayılma, konsantrasyon farklılığının ve deniz suyundaki hareketliliğin etkisi ile plümdesine nazaran daha yavaş olmak üzere devam edecektir. Bu yayılma bölgesine tutsaklanma (veya batmış alan) bölgesi adı verilmektedir. Dengenin kurulmuş olduğu bu bölge ile difüzör çıkışı arasındaki yüksekliğe tutsaklanma yüksekliği adı verilmektedir. Bu yükseklik bölgedeki deniz suyunun tabakalaşmış olup olmamasına bağlı olarak değişmektedir. Tabakalaşmanın bulunmadığı bir ortamda tutsaklanma deniz yüzeyinde oluşmakta ve buna yüzey tutsaklanması veya yüzey alanı (surfacing field) adı verilmektedir (Şekil I.5). Eğer tabakalaşma varsa tutsaklanma yüzeyde değil iç kısımda oluşmaktadır. Buraya kadar anlatılan seyrelme, ilk seyrelmedir, yakın alan bölgesi seyrelmesi olarak da anılmaktadır.

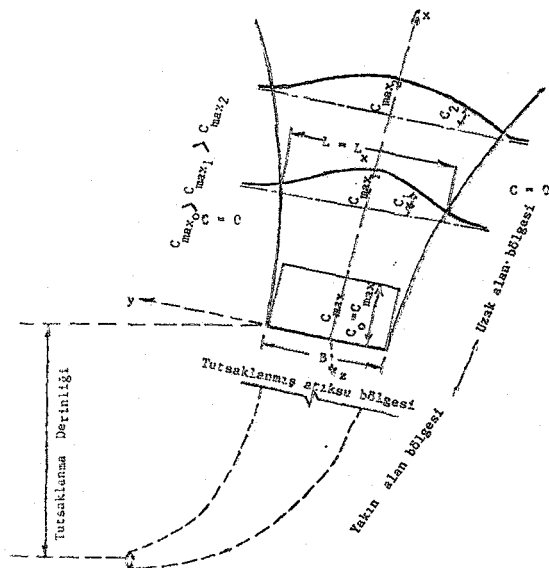
Bundan sonraki yayılma, ikinci seyrelme veya uzak alan bölgesi seyrelmesi olarak anılmaktadır.

Bunun yanında seyrelmenin bir diğer vechesi daha vardır: kirleticilerin korunur veya korunmaz vasıfta olması; bir diğer deyişle zamanla yok olup, olmaması. Korunan bir kirleticinin zararının giderilmesi ilk ve ikinci seyrelmeler esnasında konsantrasyonun azalması ile olur. Korunmayan bir bir kirleticinin zararının giderilmesi ise fiziki bir olay olan seyrelmeler yanında biyolojik ve kimyasal olarak yok olma şeklinde gerçekleşir. Buna üçüncü seyrelme adı verilmektedir. Bu sebeple bu üç unsurun birlikte değerlendirilmesi ile seyrelme hesapları yapılmakta ve sonuçta ulaşılmış olan toplam seyrelme miktarı belirlenmektedir. Seyrelmenin bu üç safhasını daha yakından ele alalım.

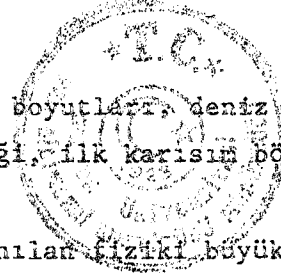
I.5.2 İ l i k S e y r e l m e : Yukarıda da ifade edildiği gibi, difüzörden çıkış anında başlayıp tutsaklanma veya yüzey bölgesine kadar devam eden seyrelmedir. Seyrelmeyi sağlayan fiziki özellikler atığın boruyu terk ederken hız olduğu hız vasıtasıyla kazanılmış olan momentum ile iki sıvı arasındaki yoğunluk farkları olup, olayı etkileyen faktörlerin aşağıdaki gibi sıralanması mümkündür.



SEKİL I-5 Atığın Denizde Yükselişi ve Tutsaklanma



SEKİL 1.6. Yayılma ve Seyrelme



Atıksuvarın miktarı ve yoğunluğu, difüzörün tip ve boyutları, deniz su-
yundaki tabakalaşma durumu, deşarj noktasının derinliği, ilk karışım bölge-
sindeki su değişiminin şiddeti.

Hesaplamalar için teklif edilen metodlarda kullanılan fiziki büyüklük-
ler şunlardır. Yoğunluksal Froude sayısı, çıkış ağız çap veya genişliği, su
derinliği, jet hızı, bir delikten çıkan atıksu debisi, toplam debi, atık ve
deniz suları yoğunlukları, yer çekimi ivmesi, atığın konsantrasyonu ve bun-
lar arasında yazılan boyutlu veya boyutsuz değişkenler.

Bu konuda bir çok araştırmacı tarafından çeşitli formülasyon verilmiş
olup ülkemiz, İtalya, İspanya, Danimarka ve ABD den proje örneklerinin yer
aldığı I 6, 8, 11, 14 I gibi literatürlerde Cederwal, Abraham, Pan ve B-
rooks ve silvester formleri kaynak olarak gösterilmektedir

Bu metodlar kullanılarak önce eksendeki, sonra jet kenarlarında ki
seyrelme değerleri ve jetin geometrik sınırları bulunabilmektedir. Meselâ
ABD Kaliforniya kıyıları için ilk seyrelme değerlerinin zamanın % 50 sinde
enaz 100 kat olması, ayrıca zamanın %90 ında enaz 80 olması gerektiği ve
bunun kanunla konulmuş bir sınırlama olduğu belirtilmektedir I 8 I.

I.5.3 İkinci Seyrelme : Tutsaklanma bölgesi dışında dalga-
lar, akıntı veya çevriler yardımıyla oluşan seyrelmedir. Bu safhadaki sey-
relmenin belirlenebilmesi için olayın meydana geldiği uzak alan bölgesinde-
ki çevri şiddetini belirleyen difüzyon hızının saptanması gerekmektedir. Bu
terim ile moleküler etki veya çevri (türbülans) etkisiyle olan karışma ve
dispersiyon terimi ile de hız farklılıkları ile oluşan karışma edilmektedir.
Pratikte, yapılacak dispersiyon katsayıları ölçümleri tabii olarak difüzyon
etkilerini de kapsamaktadır I 15, 16, 17 I.

Difüzyon hızı üzerinde etkili olan bir faktör dağılım bölgesinin ge-
nişliğidir. Çünkü bu bölgenin genişlemesi ile çevri sayısı artacak ve bil-
hassa bölgedeki diğer çevrilerle temas sağlanmış olacağından difüzyon kat-
sayısı büyümüş olacaktır. Böylece ilk seyrelme sonunda ulaşılmış olan ve i-
kinci seyrelme için referans olarak kabul edilen C_0 miktarındaki bir kon-
santrasyon değerinin, kirleticilerden korunması istenilen bölgede arzulanan
seviyeye düşmesi sağlanır (Şekil I.6) Burada olaya etkili olan büyüklük-
ler difüzyon katsayısı, L aksel yayılma uzunluğuna bağlı olarak tariflie-
nen bir değişken, genişlik, hız ve taşınım uzaklığı değerleri olarak alın-
makta olup, Brooks un verdiği hata fonksiyonu şeklindeki denklem deha çok
kullanılmaktadır. Bu aşamada elde edilen seyrelme katsayısı ise 10 dan kü-
çük olmaktadır I 11, 6 I.

I.5.4 Üçüncü Seyrelme : Bundan önceki seyrelmeler esna-
sında dalga ve akıntı hareketleri ile sahile, korunma bölgesine doğru sü-

rüklenen korunamıyan kirleticiler (örneğin koliform bakterileri) deniz ortamındaki doğal radyasyon, tuzluluk, sıcaklık, v.b. etkilerle ölererek yok olurlar. Bu konuda, esas alınan miktar %90 oranındaki ölüm miktarıdır. Bu değeri gerçekleştiren zamanın, her proje için ayrı ayrı tespiti gerekmektedir. %90 ölüm için zamana, T_{90} süresi adı verilmektedir ve genellikle iki saat civarında değerler almaktadır. Böylece üçüncü seyrelme değeri için bu süre ile, kirleticilerin koruma bölgesine ulaşma zamanı esas alınmaktadır. Buradan üçüncü seyrelme için tek bir ifade ile $S_3 = 10^{t/T_{90}}$ yazılabilmektedir. Bu aşamada sağlanan seyrelme ikinci seyrelmeye nazaran çok daha büyük olmaktadır I 6 I.

I.5.5 T o p l a m S e y r e i m e : Her üç seyrelmenin çarpımı ile ifade edilen seyrelmedir. Görlüldüğü gibi, atıksu kendi ilk hacminin binlerce katında bir hacimle karışmış olmaktadır. Böylece sonuç olarak koruma bölgesi koruma bölgesi için kirletici konsantrasyonunun belli bir değer üzerine çıkması önlenmiş olmaktadır. Bu değerın üst sınırı ülkeden ülkeye çok değişmekte ise de ülkemizde ve bazı Akdeniz ülkelerinde üst sınır 1000 koliform / 100 ml olarak alınmaktadır I 6, 11 I.

I.5.6 D i ğ e r H u s u s l a r : Koliform miktarı kirliliğin en önemli unsuru olmakla birlikte konu ile ilgili tek parametre de değildir Bunun dışında yağ, yüzücü maddeler, PH değeri, çözülmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), radyoaktivite, toksik maddeler, bulanıklık, koku, toplam nitrat ve fosfat değerleri ve sıcaklık gibi unsurlar yoluyla da kirlenme olabilecektir. Hernekadar, yüzbinler mertebesinde seyrelme sağlanan bir ortamda, bu hususların bir tehlike oluşturması kolay gerçekleşecek bir olgu olmasa da özel dudumların dikkate alınması yararlı olacaktır.

I.5.7 S o n u ç : Sonuç olarak seyrelme ile amaçlanan hedef, ortama verilen korunan ve korunmayan madde konsantrasyonlarının sınır değerlerinin altına düşmesidir. Bu yüzden toplam seyrelme sonucu oluşan seyrelmenin kabul edilen standartlara uygunluğu kontrol edilir. Doğal olarak seyrelme için kullanılan hesap metodları birden fazladır, ancak bunların verdikleri sonuçlar birbirinden çok farklı olmamaktadır I 14 I. Bir deşarj tasarımıında sonuç olarak iki önemli hesap aşaması vardır. Bunlardan ilki seyrelmedir. İkincisi ise bunu sağlayacak borunun stabilizasyonu yani borunun önceden tesbit edilen işletme süresi içinde görevini yerine getirebilecek olmasıdır; dolayısıyla borunun alacağı kuvvettir. Bunlardan seyrelme için değişik metodların verdiği sonuçlar aynı olmakla birlikte, kuvvet hesabında kullanılan metodlar için aynı durum mevcut değildir I 6, 14 I. Bu durum tez konumuzun seçiminde önemli bir etken olmuştur.

I.6 HATTIN İNŞASI VE DİĞER HUSUSLAR

I.6.1 G e n e l : Şekil I.1 de de görüldüğü gibi, hattın başlangıç tarafında boru gömülü, diğer tarafların ise deniz tabanına gömülü olarak inşak görülen bir haldir. Bunun yanında denizdeki kısmın hemen bütünüyle açıkta veya difüzör hariç bütünüyle gömülü olması da mümkündür.

I.6.2 B o r u M a l z e m e s i : Malzeme seçiminde esas olan faktörler esas itibariyle hattın inşasında kolaylık, denizdeki canlı hayata ve suyun kimyasal özelliklerine direnç kabiliyeti, deniz tabanındaki katı dane taşınımı dahil tüm mekanik etkilere karşı uygunluk ve iç cidarda yük kayıpları, dış cidarda ise pürüzlülük faktörleridir. Bu dört şart ve işletme şartları da dikkate alınarak en uygun veye ekonomik çözüm aranmaktadır. Çeşitli projelerde kullanılmış olan malzeme örnekleri şunlardır. Demirli beton, pik döküm demir, hadde demir, çelik, çelikle zırhlanmış beton, plastik, fiberglas takviyeli plastik, yüksek yoğunluklu polietilen I 18, 19 I.

I.6.3 İ n ş a İ l e İ l g i l i E s a s l a r : Plastik veya polietilen borular hafif olduklarından karada veya deniz üzerinde eklenerek istenilen doğrultuya getirilir ve sonra batırılır. Beton veya çelik borular ise kıyıda uç uca getirilerek eklenir ve sonra boru dizisi olarak dizisi olarak denize çekilir. Kıyıda böyle bir işlem için uygun bir yer bulunması gerekir. Uygun bir yerin bulunmaması bu işi tehlikeye düşürebilir. Ancak zorunlu hallerde, özellikle açık denize karşı olmayan, az dalga tutan yerlerde bu işlem deniz üzerinde de gerçekleştirilebilir. Zorunun yere tesbiti esnasında ağır borular için tabanla boru arasında mesafe bırakılmaz, fakat hafif borular için D/4 m kadar bir aralık bırakılır. Bunun sebebi alttan kaldırma tesirini azaltmaktır.

I.6.4 T e m i z l e m e , B a k ı m , T a m i r v e K o n t r o l : Bütün geniş çaplı borularda temizlik, bakım ve onarım amacıyla giriş holü adını verebileceğimiz ve gerektiğinde dalgıçlar tarafından açılıp kapanabilen düzenekler konulmaktadır (manhole veya access manhole). Bunlar için 120-200 m civarında değişen aralıklar uygun görülmektedir. Bunun dışında yine temizleme maksadıyla kuvvetli bir akımla yıkama gibi işlemlerin yapılabilmesi için kapak veya kapı biçiminde bir terminal yapısı teses edilmektedir I 19, 11, 8 I.

I.7 BORUNUN STABİLİTESİ

I.7.1 G e n e l : Bir deşarj borusu inşasında hedef, boruya gelmesi muhtemel kuvvetlere karşı, boruya önceden kararlaştırılmış olan ekonomik ömür süresince yeterli ve güvenli bir stabilitenin kazandırılmasıdır. Bu husus hem sahil kesiminin temizliğinin sağlanabilmesi ve hemde boru ferşiya-tının yüksek maliyetli oluşu açısından önemlidir.

Deşarj borusunu etkileyen kuvvetler ise, esas itibarıyla dalgalar ve akıntılar tarafından oluşturulurlar. Bu etkilerin doğurduğu kuvvetleri sebebiyle borunun stabilitesini sağlayabilmek için bu tesirlerle oluşan yatay ve düşey dinamik etkilere karşı koyabilecek bir yapının oluşturulması gerekir. Bu ise borunun zati ağırlığı ve ilave olarak tesbit kütlelerinin ağırlığı ile sağlanmaktadır. Bunun dışında stabiliteyi temin eden bir diğer yöntem, önceden de bahsedildiği gibi tabanda açılan uygun bir hendeğe borunun gömülmesi yöntemidir. Gömülme işlemi her proje örneğinde bulunmamakta ise de dalga kırılması etkisiyle taban hareketlerinin ve deniz trafiğinin yoğun olduğu kıyı kesimlerinde uygulanmaktadır. Gömülme durumunda stabilite ise derinlik ve genişlik olarak hendek kesiti ve dolgu malzemesinin birim ağırlığı ve çapı ile ilgilidir. Bu üç faktörü daha yakından ele alalım.

1.7.2 G e r e k l i B o r u B i r i m B o y u A ğ ı r l ı ğ ı :

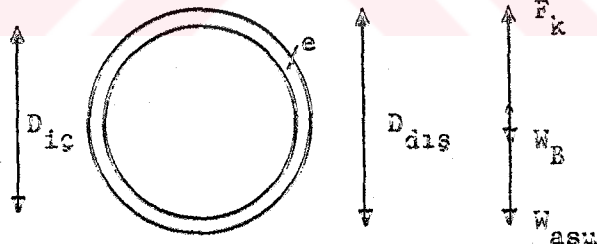
Boruya etkileyen kuvvetler borunun kendi ağırlığı (W_B), içindeki atıksuyun ağırlığı (W_{as}), hidrostatik kaldırma kuvveti (F_k) ve hidrodinamik etkiler olan kaldırma tesiri doğuran düşey kuvvetler ile, sürüklenme tesiri veren yatay kuvvettir. Birim boru boyu için gerekli olan kuvvet boruyu harekete zorlayan kuvvetlere karşı koymayı sağlayacak olan kuvvetlerdir. Bu ise borunun ve atıksuyun ağırlığından doğan kuvvet ile su içindeki ağırlık, bu kâfi gelmediği takdirde tesbit kitlelerinin ağırlığı vasıtası ile sağlanan kuvvettir. Borunun su içindeki ağırlığı (W'_B) şu denklem yardımıyla bulunur.

$$W'_B = W_B + W_{asu} - F_k$$

$$W_B = \pi \cdot D_{ort} \cdot e \cdot \gamma_{boru} \cdot l$$

$$W_{as} = \frac{\pi \cdot D_{iç}^2}{4} \cdot \gamma_{asu} \cdot l$$

$$F_k = \frac{\pi \cdot D_{dış}^2}{4} \cdot \gamma_{dsuyu} \cdot l$$



Atıksuyun yoğunluğunun, deniz suyunun yoğunluğundan az oluşu (1.00, 1.02 - 1.03 kg/m³ gibi) ve borunun yüksek yoğunluklu polietilen gibi plastik esaslı bir malzemeden seçilmesi sonucu borunun su içindeki ağırlığının negatif değerde olması sonucunu vermektedir. Boru için beton malzeme kullanılması halinde bile su içindeki ağırlık, stabilite için düşük değerde bulunmaktadır. Bu sebeple boru hattının tesbit kitlesi adı verilen batan ağırlık kitleleri ile donatılması gerekmektedir.

1.7.3 T e s b i t K i t l e l e r i : Stabil bir boru hattı, hattın yatay ve düşey hareketinin önlenmesi ile inşa edilebilir. Düşey kuvvetin önlenmesi ağırlığın etkisiyle temin edilir. Yatay kuvvetin önlenmesi ise

kaymaya mani olmak demektir ve düşey ağırlık kuvvetlerinden sürtünme etkisiyle oluşan yakay kuvvetler vasıtasıyla sağlanır.

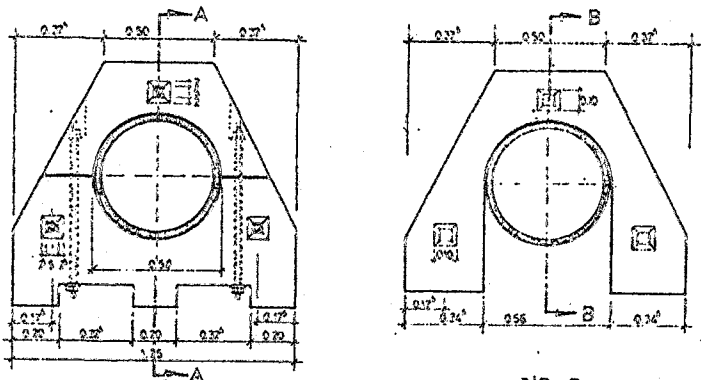
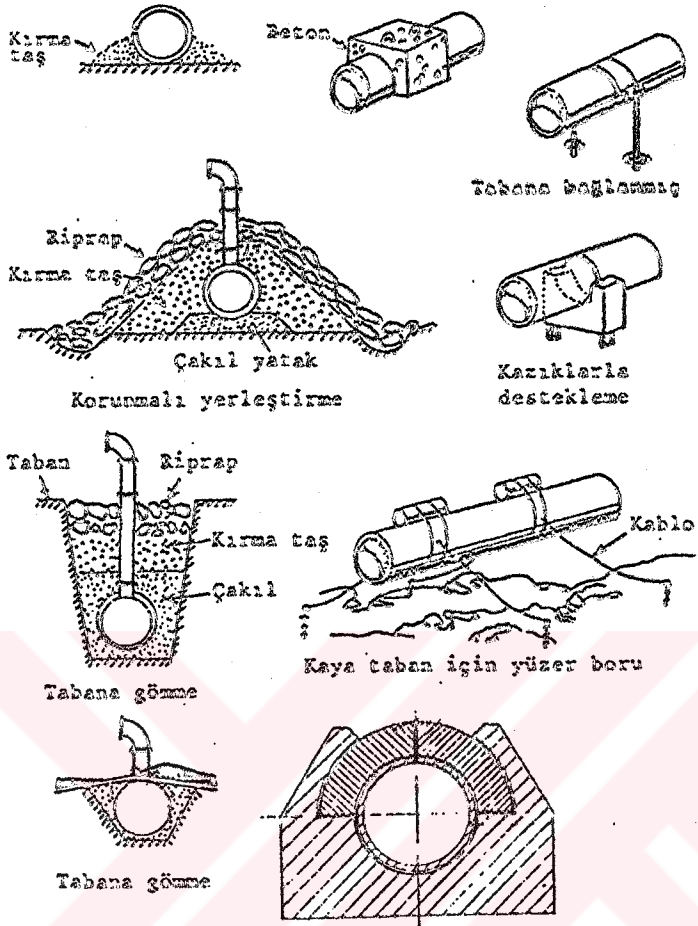
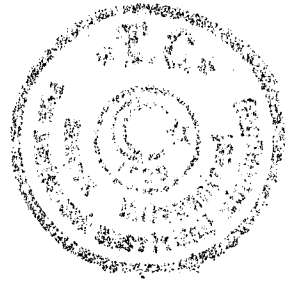
$(W_k^i + W_B^i - P^i) f = F_{\max}^i$ kayma tesiri için

$W_k^i = \frac{F_{\max}^i}{f} + P_{\max}^i - W_B^i$ Düşey kuvvet tesiri için

Burada W_k^i beton kütlenin su içindeki ağırlığı, W_B^i borunun su içindeki ağırlığı, P^i düşey hidrodinamik kuvvet, f sürtünme katsayısı, F_{\max}^i ise yatay hidrodinamik kuvvettir.

Yatay ve düşey hidrodinamik kuvvetlerin büyüklükleri derinlikle değişken olduğu için tesbit kitleleri ağırlıkları da buna paralel olarak düzenlenmektedir. Şekil I.7 de çeşitli tesbit kitleleri örnekleri görülmektedir. I 20,11,6 I.

I.7.4 H e n d e k D o l g u M a l z e m e s i S e ç i m i : Deniz tabanındaki su molekülleri dalğa ve akıntıdan kazandıkları hız ve ivmenin tesiri ile tabanda oyulma meydana getirebilmektedirler. Böylece tabanda içinde gömülü bulunan hattın üzerinin açılması durumu ortaya çıkmaktadır. Olayda etkili olan kuvvetler bu hız ve ivmeden doğan kuvvetlerle, yerçekimi ivmesi, denenin ve deniz suyunun özgül ağırlığıdır. Bu kuvvetlerin etkisi altında hareket etmeyecek büyüklükte dane çapları veren hesap yöntemleri türetilmiştir. Kullanılan metodlar arasında I 8 I tarafından verilen ve esasen İngilterede Wallingford Hidrolik Araştırma Enstitüsünce geliştirilmiş olan formülasyon ve Amerikan kıyı mühendisleri tarafından verilen formülasyon sayılabilir.



TESBİT KİTLESİ TIP-A Ölçek:1/10 TAKVİYE TESBİT KİTLESİ TIP-B

ŞEKİL I.7 Deşarj Borusu Babitlenme Örnekleri

II. BÖLÜM

KUVVET HESAPLAMA YÖNTEMLERİ VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

II.1 GENEL

Daha öncede belirttiği gibi, bir deşarj yapısının fonksiyonu atığın seyreltilerek hem insanların kullandıkları kara ve deniz çevresinin kir- lenmesinin, hemde denizdeki canlı hayata zarar verilmemesi idi. Bunları sağlayan özellik ise deniz suyunun hareketliliği yani dalgalar ve akıntı- lardır. Görüldüğü gibi su kütleindeki bu hareketlilik seyrelme açısından müsbet bir etkidir. Ancak aynı hareketlilik hattın inşası ve stabilitesi açısından menfi bir olgudur. Çünkü hareket hareket halinde olan bir sıvı kendi içine batmış olan cisimler üzerine bir kuvvet etkileyecekler. Bu etki- nin büyüklüğü, bir taraftan önceden vazedilmiş standartların sağlanmasın- da rol oynarken diğer taraftan hattın inşa maliyetinin yükselmesi sonucunu getirmektedir. Bu durumda, doğal olarak seyrelme standartlarından taviz verilmeyip, mevcut şartlar altında yapının sağlam kalabilmesinin temini yoluna gidilmektedir. Stabilitenin gerçekçi bir şekilde temini ise, önce- likle suda hareketi doğuran dalgalar ve akıntıları, sonra da bunlar tara- fından doğurulan kuvvetleri yeterince ortaya koyabilmekle mümkündür. Bu bakımdan dalgaları, akıntıları, bunlarla ilgili teorik yaklaşımları ve dalgalardan, akıntılardan ve her ikisinin müşterek etkisinden doğan kuvvetleri ele alacağız. Bu bölümün ana konusu dalgalar ve akıntılardan doğan kuvvetler ve kuvvetin dalga ve akıntı müşterek hali için incelenmesi. konusundaki mevcut bilgilerin özetlenerek aktarılmasıdır. Ancak bunu yapabilmek için dalgalar ve akıntılar hakkında kısa bilgi sunulması ve böylece kuvvet he- sabının daha rahat anlaşılmasının sağlanması uygun görülmüştür. Bu bilgi - lerden dalga ve akıntı teorileri EK - 1 de ve bunlar hakkında seçilmiş li- teratür ise EK - 2 de yer almaktadır.

II.2 DALGA KUVVETLERİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

II.2.1 G e n e l : Dalga teorilerinin Airy ve Stokes tarafından orta- ya konulmaya başlanması ile dalgalar altında batmış bir cismin üzerine ge- len kuvvetlerin belirlenmesi çalışmaları da başlamıştır. İlk yayında yine Stokes tarafından 1851 de yapılmıştır. Ancak konunun ciddi olarak ele a- linmesi daha çok 1950 li yıllara rastlamaktadır I 21, 22 I.Çünkü ikinci Dünya Savaşı sonrasında denizde bulunan petrol ve tabiğaz gibi maddelerin üretimi ve karaya alınması mecburiyeti ortaya çıkmış; böylece denizde pet- rol platformlarının (oil rig) inşasına, bunların geçici olarak depolanması için deniz dibi tanklarına ve karaya nakli için boru hatlarına ihtiyaç ha- sı olmuştur. Böylece, düşey, yatay ve eğimli silindirik yapı elemanlarına

dalgalar vasıtasıyla etkiyen kuvvetler problemi ortaya çıkmıştır. Değeri boruları problemi ise hemen sonradır.

Bu çalışmaların ilklerinden olan I 23 I ile batmış bir silindir üzerine geçen bir su dalgası için lineerleştirilmiş potansiyel problemin çözümü verilmiştir. Burada boru etrafındaki dalganın, çevredekilerle aynı amplitüde sahip olduğu, fakat boruyu geçme esnasında bir faz farkı olduğu fark edilerek belirtilmiş bulunmaktadır. Hemen bir müddet sonra Ursel yeni bir yaklaşım getirmiştir. I 24 I. Bu yaklaşım daha sonra Ogivie tarafından 2 merteye teoremini genişletilmiş ve 1. merteye probleminin genel çözümü verilerek sabit silindir, salınmaya zorlanmış silindir ve sabitlenmemiş silindir halleri için çözüm teklif edilmiştir. Bu çözümler analitik formdadır ve uygulamada veya projelendirmede kullanılmamaktadır.

Su içine batmış silindirler üzerine dalgadan etkiyen kuvvet, F , birçok değişkene bağlıdır.

$$F = F(H, L, T, a, d, g, \rho, \nu, t, D, \epsilon, \delta, d', a', \theta, \beta, \alpha, u, v, \dot{u}, \dot{v}, \omega)$$

Burada H, L, T, a sırasıyla dalganın yüksekliği, uzunluğu, periyodu, amplitüdüdür, (amplitüd her zaman yüksekliğin yarısı olmamaktadır). d borunun bulunduğu yerdeki su derinliği, g yer çekimi ivmesi, ρ akışkanın özgül kütlesi, ν kinematik viskozitedir. D silindirin etkili çapı (dış çap), ϵ silindirik elemanın pürüzlülük yüksekliği, δ silindirin tabandan uzaklığı, d' serbest yüzeyden uzaklığı, a' boru eksenini seviyesinde su partikülünün yatay salınım uzunluğu, θ dalga faz açısı, β dalga ilerleme doğrultusu ile silindir eksenini arasındaki açı, α silindirin eğiklik açısı, u, v, \dot{u}, \dot{v} silindir eksenini seviyesinde su partikülünün yatay ve düşey hız ve ivmeleri, ω ise vortisiteyi göstermektedir.

Eğer cisim silindirik değilse kübik veya prizmatik şekilde ise ayrıca şeklin geometrisi de etkili olmaktadır. Ayrıca boru çapının, dalga uzunluğu ve su derinliğine nazaran büyüklüğü de önemli bir faktördür.

Bunların yanında bir de akımın lineerlik, üniformluk ve kararlılıkla (steady veya permanent) ilgili özellikleri belirtilmek zorundadır. Herne kadar bunlar yukarıda verilen hız, ivme, vortisite ve zaman değişkenleri içerisinde mütalâa olunabilirse de konunun önemi ve genişliği sebebiyle ayrı olarak ele alınmaktadır. Bu konu EK-1 de özetlenmeye çalışılmış olan teoriler ve kabuller, çözümler ve tablo, abak ve bilgisayar programlarının hazırlanması bakımından fevkalâde uğraştırıcı ve boşlukları çok olan bir konudur I 26 I.

Yukarıda belirtilen çok sayıda değişken ve teoriler ışığında dalgalar-dan doğan kuvvetin hesabı içine ilgili büyüklüklerin bir çoğu katsayılar ile girmektedir. Bu katsayılar üç adet olup C_D sürüklenme (Drag), C_L atalet

(Inertia) ve C_L kaldırma (lift) boyutsuz katsayılarıdır. Şimdi kuvvet hesaplama yöntemlerini teker teker ele alalım.

II.2.2 M o r i s o n D e n k l e m i : Kuvvet hesabı için Morison ve diğerleri tarafından 1950 yılında verilen bu formülasyon I 27 I ve zedildiği halin dışına taşılarak çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gerçekten, bu denklem silindirik yapı elemanları (cylindrical vertical pile) üzerine etkiyen yatay yönlü kuvvetler için verilmiştir; eğimli veya yatay silindirler haline ise sonradan uzatılmıştır. Denklemin ifadesi aşağıdaki şekildedir.

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A U |U| + C_M \rho V \frac{dU}{dt} \quad (\text{kg/m})$$

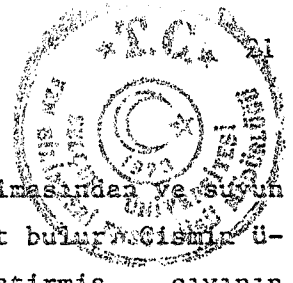
Burada ρ akışkanın özgül kütlelerini, A silindirin dalgaya maruz izdüşüm alanını, U kuvvet hesabının yapıldığı noktadaki yatay hızı, V silindir ile yer değiştirmiş sıvı hacmini, C_D ve C_M sürüklenme ve atalet kuvvetlerini göstermektedir. Kuvvet, silindirin l m si üzerinden hesaplanırsa kg/m birimindedir.

Denklemdaki kritik terim Udur, ayrıca C_D ve C_M dir. Kuvvetinin doğru olarak tahmin edilebilmesi bunların isabetle seçimine bağlıdır.

II.2.2.1 H ı z : Dalga hareketi periyodik ve (kapalı bir yörünge üzerinde) salınımlı bir hareket olduğundan, hızın yönü dalga ilerleme doğrultusunda veya tam ters yönde olabilir. Bu sebeple yön tesirine dikkati çekmek ve onu dikkate alabilmek için mutlak değer işareti kullanılmaktadır. Salınım hareketi 360° lik faz açısı içerisinde gerçekleştiğinden partikül hızları, bu faz içerisinde her yönde vuku bulmaktadır. Bu sebeple bir çok müellif hızı U_x ve U_y ayrımı ile vermektedirler. Burada mesela U_x yatay bileşeni için, U maksimum hız ise $U \cos 2\pi t/T$ gibi bir ifade alınmaktadır.

II.2.2.2 K u v v e t K a t s a y ı l a r ı : C_D sürüklenme, C_L kaldırma, C_I atalet katsayısı olup $C_I = 1 + C_M$ şeklindedir. Burada C_M suyun yerine bir başka cismin varlığı ile ilgili olup, akımın salınımlı akım olmasından kaynaklanmaktadır.

C_D katsayısı, sıvı partiküllerinin cisme çarpması sonucu doğar ve şekil sürüklemesi (form drag) ile kauk sürtünmesi (skin friction) şeklinde iki ayrı elemandan oluşur. Şekil sürüklemesi batmış cismin geometrik şekline bağlıdır. Bu bağımlılık kare, dikdörtgen, eşkenar dörtgen, üçgen eliptik borular kullanılmak suretiyle ortaya konulmuştur I 28 I. Şekil sürüklemesi: sınır tabakasındaki büyüme ve dağılıma vasıtasıyla doğan, yapının ön ve arka uçları arasındaki basınç farkları ile ilgilidir; geometrik şekle, Reynolds sayısına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Kabuk sürtünmesi ise, cismin dış cidar pürüzlülüğüne ve bu pürüzlülüğünden doğan akım değişmelerine



bağlıdır.

C_L atalet katsayısı, suyun yerini bir başka cismin almasında ve suyun salınım hareketlerini doğuran basınç salınımlarından vücut bulur. Cisim üzerindeki nihai basınç dağılımının integrasyonu, yer değiştirmiş sıvının kütlesine eşdeğer bulunmuştur. $C_L = 1 + C_M$ deki i değeri basınç alanı için katsayıdır ve onu ifade etmektedir. Şöyle ki, cisim orada olmasaydı cismin yerindeki sıvı kendisine çevreden gelen basıncı karşılayacaktı ve her iki sıvı arasında zorunlu olarak bir denge oluşacaktı. Ohalde bu basıncın toplam değeri katı cisimle yer değiştirmiş sıvının kütlesine eşit olmak zorundadır. Bu sebeple bu alandaki basınçtan kaynaklanan boyutsuz kuvvet katsayısı i 'e eşit olmaktadır. Gerçekten bu katsayıya Yamamoto 'basınç alanı katsayısı' demektedir I 29 I. Sıvının hareketinden bağımsız olarak basınçtan başka birde sıvı hareketli olduğu için akışkanı ivmelendiren bir basınç alanı vardır. Bu ilave basınç alanı silindir üzerine bir ilave basınç verir. Bu ise eklenik basınç adını almaktadır. Bu basınçtan doğan katsayıya ise, eklenik kütle katsayısı (added mass coefficient) C_M denilmektedir. Görüldüğü gibi, bu kütleli kuvvet katsayısı, basınç salınımlarından doğmaktadır. Değeri basınç salınımlarını doğuran ivmeye bağlıdır. İvmenin en yüksek olduğu zaman kütleli kuvvet de en büyük değerine ulaşır. Halbuki C_D ve C_L hızla bağımlı değerler idi. Hızın maksimum olduğu zaman ile ivmenin maksimum olduğu zaman aynı ana tesadüf etmediği için sürükleme ve kaldırma kuvvetleri ile kütleli kuvvet aynı fazda değildirler. Bu nedenle önce sürükleme ve kütleli kuvvetleri bulunup sonra aynı faza isabet eden kuvvet değerleri toplanarak her ikisinin etkisiyle aynı anda oluşabilecek olan azami kuvvet bulunmaktadır. Gerçekten bazı akım şartları için bu son kuvvet diğerlerinden daha büyük olabilmektedir. (bakınız Bölüm II-2-2-7)

C_L kaldırma kuvveti (liftforce) boyutsuz katsayısı düşey yönde etkiyen bir kuvvet katsayısıdır ve salınımlı akımda hem yukarı hem de aşağıya doğru yönelir. Bizi yapının kuruluşu (mesnetlenmesi veya sabitlenmesi) dolayısıyla yukarı yönlü olanı, kaldırma etkisi yaparı ilgilendirmektedir. Bu katsayı düşey silindirler için değil yatay ve eğimli silindirler için önemlidir ve kuvvetin ifadesi $F_L = 1/2 C_L \rho A U^2$ dir.

Bu katsayıların değerleri yukarıda belirtildiği gibi yirmi kadar değişkene bağlıdır. Bütün bunların teker teker değerlendirilmesi, birbirleriyle ilişkilerinin ortaya konulması ve bu suretle katsayıların belirlenmesi takdir edileceği gibi çok zor bir iştir. Bu yüzden pek çok miktarda araştırma yapılması gereği ortadadır. Bu konuda yapılan analitik çalışmalar gerekli sınır şartları kabullerinin gerçekleştirilememesi ve hali hazır çözüm tek-



niklerinin yetersizliği gibi sebeplerle bir çok hal için başarısızlığa uğramaktadır I 30 I. Böylece katsayıların deneyden tesbiti zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple bir çok deneysel ve analitik çalışma yayınlanmaktadır. Yinebu yüzden bir çok basitleştirme kabulleri yapılmakta, daha önemli gözükken büyüklükler arasında bir takım boyutsuz parametreler elde edilmeye çalışılmakta ve en basit teorik yaklaşımlarla işe başlanarak karmaşık durumlara çözüm aranmaya çalışılmaktadır. En basit hal, lineer hal olan birinci mertebe çözümü (Airy Çözümü) yaklaşımıdır. Lineer olmayan ve daha yüksek mertebeden çözümler bundan sonra gelmektedir.

II.2.2.3 Kuvvet Katsayılarının Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler: Bunların en önemlileri şunlardır. Reynolds sayısı ($Re = U_m \cdot D / \nu$), Froude sayısı ($Fr = U_m \cdot \sqrt{g(h-d)}$), Keulegan-Carpenter sayısı ($KC, K_C, N_{KC} = U_m T / D$) ve rölatif boru çapı büyüklüğü $= D/L$. Burada U_m maksimum yatay hız, h su derinliği, d boru ekseninin serbest su yüzeyine mesafesi, T periyod, L dalga uzunluğu, D ise boru çapıdır.

Boyutsuz parametrelere göre durumu genel hatlarıyla şöyle özetlemek mümkündür.

Reynolds sayısı ile kuvvet katsayıları arasındaki bağlantı önceleri araştırılmış ve az başarı sağlamıştır. Ancak yüksek Reynolds sayılarında ($Re > 20000$) sürüklenme katsayıları artan Re sayıları karşısında azalma temayülü göstermektedir. Bu hal atalet katsayıları için tersine oluşur I 28, 31 I. Cisim tabana yakın olduğunda kuvvet Froude sayısına bağlıdır. Cisim yüzeye yaklaştıkça yüzey tesirini ortaya çıkarmak, Froude veya $(h-D/2-e)/D$ sayısı değerlerine göre oldukça hassaslaşmaktadır. Burada e borunun tabana olan açıklığıdır. Borunun tabana yakınlığının tesiri $e/D < 0.5$ ise önemlidir fakat $(h-D/2-e)/D < 0.5$ ise serbest yüzey tesiri önemli olur. Serbest yüzeyin kuvvet üzerine tesiri, eğer silindir, çapının birkaç katı kadar batmışsa ihmal edilecek hale gelir I 32 I.

Morison denklemi boru çapı/dalga uzunluğu oranı < 0.2 iken uygundur. Ama bu sayı $= D/L > 0.2$ ve $U_m T / D > 3$ ise Difraksiyon Teorisi kullanılmaktadır I 33 I.

KC Keulegan-Carpenter sayısı, sürüklenme kuvvet katsayıları ile atalet kuvvet katsayılarının birbirlerine nazaran izafi önem katsayısıdır. salınlı bir akımda KC sayısı büyükse, toplam yatay dalga kuvveti içinde prensip olarak sürüklenme hakimdir. KC sayısının küçük değerleri için ise atalet hakimdir. KC sayısı sürüklenme ve atalet kuvvetlerinin rölatif önemini belirlemede iyi tesis edilmiştir I 28, 34 I.



II.2.2.4 Kuvvet Katsayılarının

Yöntemleri : Çeşitli akım teorileri kullanılarak ve yukarıda değışitli boyutsuz parametreler yardımıyla kuvvet katsayılarının tesbitine çalışılmaktadır. Bu konuda en güvenli yol yukarıda kısaca değinildiği gibi, önce basit veya daha ileri seviyedeki belli teoriler esas alınarak matematik modeller kurmak ve sonra bu teorileri labratuar veya saha (deniz) araştırmalarında elde edilen verilerle karşılaştırmalı olarak katsayıları elde etme yoludur. Fakat kuvvet tesbiti için sadece teorik olan birçok çalışmada mevcuttur. Ancak burada deneylerle ilgili olarak belirtilmesi gereken çok önemli bir husus vardır. Bu deneylerin tabii olduğu model Froude ve Reynolds modelidir. Her iki model tipinin gerçekleşmesi için aslında protipte araştırma yapma gereği vardır. Bu sebeple küçük ölçekli labratuar deneylerinden elde edilen katsayılar için güvenilirlik şüphelidir, fakat bu türden çok sayıda araştırma mevcuttur I 30, 35 I.

Katsayılar deneylerde gerçekleştirilen çok sayıdaki testlerden belli analiz yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu yöntemlerin en yaygınları en küçük kareler yöntemi ve akım fonksiyonu yöntemidir, I 36 I. ayrıca Jen 1980 ile bir analitik yöntem teklif edilmektedir.

II.2.2.5 Kuvvet Katsayıları için Önerilen Değerler : Yayınlanmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Teklif edilen değışitlerin azami ve asgari büyüklükleri arasında çok miktarda farklılıklar vardır. Bu sebeple bunların değerlendirilmesi için kıymetli literatür çalışmaları mevcuttur, I 28, 31 I. Mesela yayınlanmış olan datalar arasında C_D için verilen değışitler 0.1-5, C_M için ise 0.6-2.5 olarak değışmektedir. Bu örnekler konunun yeterli bir çözüme kavuşmadığının bir göstergesi olmaktadır. Bu nedenle değışik akım şartları için bu katsayıların ayrı ayrı belirlenmesi yoluna gidilmektedir. Yine bunun sonucu olarak proje mühendisinin kendi şartları için hangi değışitleri kullanacağı önemli bir konu olmaktadır.

Yine aynı şekilde Morison denkleminin değışik akım durumlarında isabetle kullanılması için yeterli verinin olmadığı birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir . Ayrıca bazı araştırmacılar daha kompleks akım durumları için daha gelişmiş çözüm yöntemleri geliştirilmesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. (Bakınız EK II)

Konu ile ilgili literatüre daha yakından bakmak ve literatürün genel yapısını tanımak amacı ile EK-II ye bazı çalışmalar özet olarak alınmıştır.

II.2.2.6 Morison Denkleminin Değışitilmesi : Denklem hakkında buraya kadar verilen bilgilerden ve ilgili çalışmaların incelenmesinden sonra denklemin değerlendirilmesi aşağıdadır.



Morison denklemi salınımlı bir akım içerisindeki düşey konumlu silindirlere gelen yatay kuvveti tahmin etmek üzere teklif edilmiştir. Formül boyut analizi esaslarına uygunluğu, kolay kullanıma sahip olması ve konusunda ilk denklem olması münasebetiyle çok yaygın bir kullanım alanı bulmuştur ve hâla kullanılmaktadır. Bu yüzden denklemin değişkenleri olan C_D , C_M ve hız büyüklükleri için pek çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Denklem ayrıca eğimli ve yatay silindirlere için de kullanılmak üzere genişletilmeye çalışılmıştır. Ancak hızın ve katsayıların her türlü akım hali için belirlenmesinde bugün bile aşılamayan zorluklar ve belirsizlikler mevcuttur. Uzak sahil (offshore) projeleri tarafından kullanılan bu denklem akımdaki türbülans tesirlerini, dalga kırılması ve çarpmasının tesirlerini, dalga-akıntı etkileşimlerini, yapının tabii titreşiminden doğan vorteks etkisini, devirli yük sebebiyle yorulmayı, kısa kretili dalgalar ve sığ sahil suyu anomalilerini, Froude sayısına bağlılık tesirlerini, çalkantılı (cofused) denizler tesirlerini ve deneysel hataların etkilerini tam olarak içerebilmektedir. Bu yüzden denkleme yeni bir bakış değerli olacaktır. Şu anda geçerli olan şey Morison denkleminin kullanılmasının ilimden çok sanat olduğudur. Genel felsefe, olabilecek projelendirme durumlarının dağılımını kapsayacak amaç ve çabada deneysel veri zenginliği oluşturmaktır I28I. Bir başka araştırmacının ifadesi ile Morison denklemi bazı hallerde kuvvetin tahminini yeterli şekilde yapamamaktadır I 37 I. Bu sebeple deniz ortamında ve laboratuvarında çok miktarda çalışma yapılmakta; bir taraftan belirsizlikler giderilmeye çalışılırken, diğer taraftan değişik kuvvet tahmin yöntemleri ortaya konulmaktadır. Bunlar Hydraulic Research Station (İngiltere) tarafından 1973 de verilen metod (HRS 1973), Lars-Eric Janson (İsveç) in verdiği metod JANSON 1973) ve A. Robert Grace (ABD) tarafından verilen metod (Grace 1978) dur I 38, 39, 8 I. Bu metodlar ileride teker teker ele alınmıştır. Ayrıca Muir Wood ve Arthur Ippen gibi araştırmacılar tarafından verilen ve daha basit kısa yöntemler de mevcuttur fakat tatmin edici görünmemektedir I 40, 16 I.

Sonuç olarak :

1) Morison denklemi salınımlı bir akım içindeki düşey yapı elemanlarına etkiyen kuvvetler için teklif edilmiş olup, birim boya gelen kuvveti verecektir. Denklemdaki A silindirin akıma karşı gelen izdüşüm alanı ($=D.l$), V birim uzunluk için yerdeğiştirmiş sıvının hacmidir ($=\pi D^2/4.l$). Bu A ve V değerindeki gibi borunun yatay konumlu olması halinde aynı kalacaktır. Fakat akıntının tesiri ihmal edilsin veya edilmesin salınımlı akımda hız gradyenti derinliğe bağlı olarak değişecektir (Şekil EK_1.2). Bu durumda yatay ko-

numlu boru, yatay uzunluk boyunca hız, ivme ve kuvvet katsayıları bakımından düşey durumdakilerden farklılık arzedecektir.

2) Fakat bu denklem sadece sabit düşey silindirik elemanlar üzerine gelen kuvvetleri tahmin için değil, aynı zamanda sabit yatay borular ve sabit olmayan elemanlar için de kullanılmak üzere genişletilmiştir I 41 I.

3) Ayrıca bu denklem silindir grupları üzerine gelen kuvvetlerin tahmini için de kullanılmaktadır. Bir grup silindir civarındaki akım, ayırık ve tek bir silindir civarındaki akımdan farklıdır ve kuvvetler genelde ayırık kabulü ile bulunacak toplama eşit olmayacaktır. Bitişik silindirler halinde C_D nin değeri artmaktadır, ancak aralık çapın iki katından küçük olmadıkça C_D tesir ettiği görülmemektedir. Salınımlı akımda sürüklenme ve atalet kuvvetleri arasındaki girişim bilinmemektedir. Bu konuda ilave bilgi I 42 I de mevcuttur.

4) Salınımlı akım içindeki cisimler sürüklenme (F_D) ve atalet (F_I) kuvvetlerinin bileşenlerinden oluşan bir yatay kuvvetin etkisi altındadırlar. Bunun dışında düşey silindirler için önemli olmayıp, yatay ve eğimli silindirler için dikkate alınmak zorunluğu bulunan ve bir dalga periyodu esnasında hem yukarı hem aşağı yönde etkiyen bir düşey kuvvet vardır. Projelendirme açısından yukarı yönlü olanı önemli olduğu için bu tesirden kaldırma kuvveti olarak bahsedilmekte ve aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir.

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A U^2 \quad (\text{kg/m})$$

5) Kuvvetleri veren eşitliklerde, hız ile kuvvet katsayıları kritik büyüklüklerdir ve yapı çevresindeki fiziksel şartları tam olarak yansıtabilmeleri gerekmektedir. Bu maksatla tabiatda yapılan gözlemlere dayalı olarak, çeşitli dalga ve akım teorileri geliştirilmeye çalışılmış ve öncelikle akışkan partikül hızının belirlenmesi yoluna gidilmiştir I 43, 15, 16, 44, 45, 46, 47, 8, 17 I. Sonrada deneysel ve saha ölçümleriyle katsayıların belirlenmesine çalışılmıştır (EK-2).

6) Kurulan dalga teorilerinin hangi şartlarda kullanımının uygun olacağı veya rölatif geçerlilik alanlarının tesbiti ve bunların mühendislik uygulamalarındaki yerlerinin belirlenmesi de ayrı bir problem olarak ortaya çıkmıştır. I 26, 48 I

7) Katsayıların değerlerinin çok çeşekli akım durumlarında ne olduğu konusunda çok miktarda araştırma yapılmış olup, mühendislik uygulamaları açısından durum henüz tam olarak aydınlatılmış bulunmamaktadır. Bu konuda ki zorluklar hem teoriden, hem deney ölçeği tesirinden (scale effect) kaynaklanmaktadır. yayınlanmış olan katsayı değerleri arasında kuvvetli bir uyum



yoktur.

8) Denklemdaki katsayılar için akımdaki türbülans tesirlerini, dalga kırılması ve çarpmasının etkilerini, dalga-akıntı etkileşiminin tesirlerini ve benzeri yukarıda sayılmış olan tesirleri tam olarak yansıtmamaktadır.

9) Lineer olmayan akım durumlarının tümü için henüz çözüm yoktur.

10) Ayrıca dalga teorileri iyi incelenmiş ve iyi kurulum olmakla birlikte, bu suretle belirlenmiş hız fonksiyonları ile kuvvet katsayıları arasındaki münasebetlerin uygulamada karşılaşılabilecek her durum için önceden ele alınıp incelenmiş olması zordur. Çünkü pratikte karşılaşılabilecek durumların sayısı çok kabardır. Bu durum katsayıları etkileyen büyüklüklerin çokluğu, dalga türlerinin çeşitliliği, dalga-akıntı etkileşimi ve yapı türlerinin çeşitliliği hatırlanırsa kolayca anlaşılabilir. O halde olası her durum için çözümün önceden hazırlanmış olması beklenemez. Ancak yapılacak iş, özel problemlerimiz için çalışmak ve elden geldiğince bol veri üretmiş olmaktır. Bu teze konu olan çalışma da bu özellikte bir çalışmadır. Ancak Morison denklemi ile doğrudan ilgili değildir.

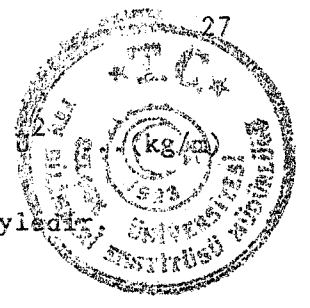
10) Sonuç olarak Morison denklemi kapasitesinin üzerinde iş görmekte - dir, bazı hallerde yeterli tahmin verememektedir ve kuvvet hesabına yeni bir bakış uygun olacaktır I 37 I.

11) Dalga-akıntı hali için bu denklemdaki belirsizlikler dikkate alınarak kuvvet hesabında bir çok parametre kullanmak yerine, sadece temel büyüklükler olan H, L, T den yararlanılarak hesap yapılması uygun görülmüştür I 33 I.

12) Bu noktaya kadar ifade edilenler ışığında, öncelikle C_D , C_M kuvvet katsayılarının ayrı ayrı tesbitinin gerekli oluşu, sonra denklemin kullanılması ile metodun içinde bulundurduğu belirsizliklere bariz bir açıklık gelmeyeceği ve diğer metodlarda projelendirme için C_D , C_M için tek bir katsayının kullanılıyor olması dikkate alınarak, bu metodun tezde mukayese metodu olarak kullanılması gerekli görülmüştür.

II.2.2.7 Morison Denklemi İle Bir Örnek Çözüm : Bir deşarj projesi, deşarj borusuna etki yapacak dalganın veya özel şartlarda akıntının tesbiti, hat boyunca deniz tabanı topografyasının belirlenmesi esas olmak üzere birçok bilginin derlenmesi ile başlar. Böylece dalga boyutları, akıntı hızı, denizin derinliği başlangıç verileri olarak bellidir. Bunu ilaveten geçerli dalga teorisi de belirlenir. Bu, hız ve ivmenin hesaplanması için lüzumludur. Bu örnekte deşarj projesi maksadı için genellikle uygun görülen küçük genlikli dalga teorisi kullanılacaktır.

Yukarıda belirtildiği gibi kuvveti veren denklemler aşağıdadır.

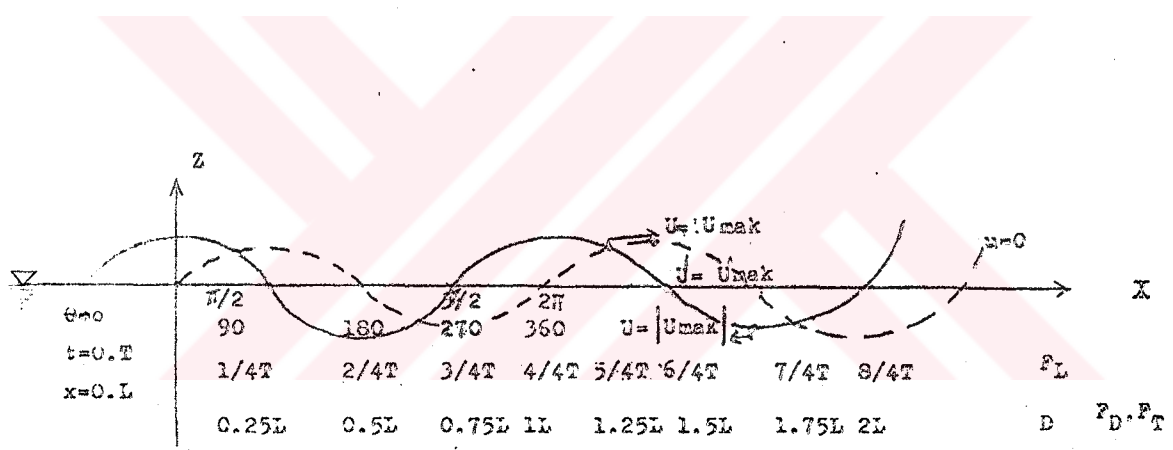


$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D U U \quad ; \quad F_I = C_M \rho \frac{D^2}{4} \dot{U} \quad ; \quad F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U \dot{U}$$

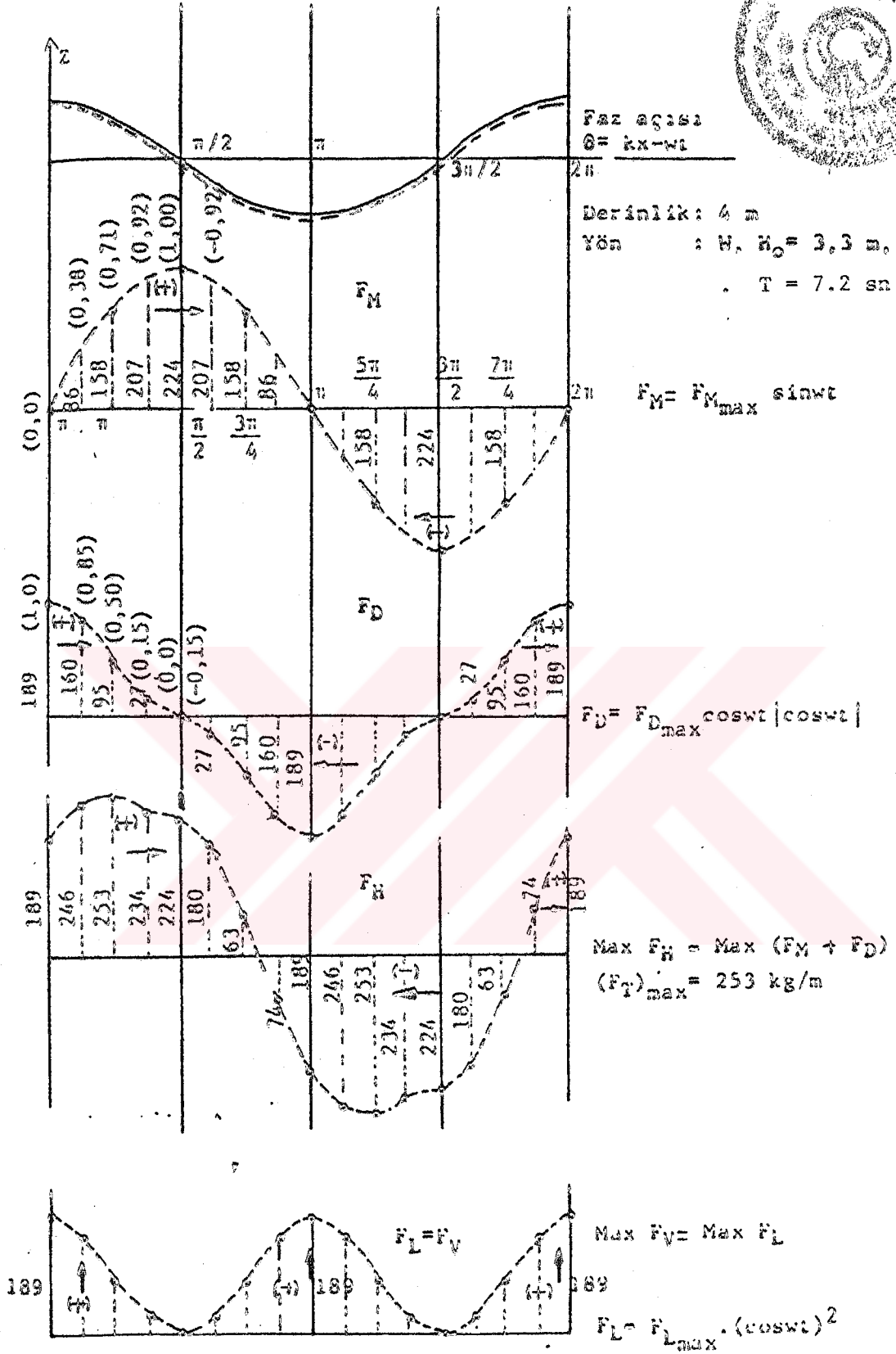
Küçük genlikli dalga teorisi ile hız ve ivme ifadeleri ise şöyledir:

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\text{Cosh} \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\text{Sinh} \frac{2\pi}{L}h} \text{Cos}(2\pi \frac{x}{L} - 2\pi \frac{t}{T})$$

$$\dot{U} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\text{Cosh} \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\text{Sinh} \frac{2\pi}{L}h} \text{Sin}(2\pi \frac{x}{L} - 2\pi \frac{t}{T})$$



ŞEKİL II.1 Maksimum yatay kuvvetin durumu (I'14 I den)



Sekil II- 2 Maksimum yatay ve düşey kuvvetler. (I 14 I den)

Parantez içindeki değerler $\sin \omega t$ ile $\cos \omega t |\cos \omega t|$ değerlerini göstermektedir.

U ve \dot{U} nün hesabında, dalga hareketi periyodik bir hareket olduğundan olay her bir L boyunca ve her bir T müddetinde aynen tekrarlandığı için ve bir L boyu içinde her bir noktanın hızı ve ivmesi gerekli olmadığından denklemlerde kısaltmalar meydana gelir. Meselâ boru $x=0$ da iken $2\pi x/L$ ifadesi düşer ve çarpımhalindeki sin. ve cos. değerlerinde sadece $2\pi t/T$ kalır. Diğer taraftan dalga yüklerinin maksimum değerlerini bulabilmek için hızın ve ivmenin maksimum değerlerini kullanmak gerekir. Bu ise $\sin 2\pi t/T = 1$ ve $\cos 2\pi t/T = 1$ alınması ile mümkündür.

Boru tabanda serili olduğu için hızın ve ivmenin tabandaki değeri aranır. Bu şart denkleme $z = -h$ şeklinde gireceğinden $\cosh \frac{2\pi}{L}(h+z)$ ifadesi $\cosh(0) = 1$ değerini alır. Bu durumda hız ve ivmenin ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\cosh \frac{2\pi}{L} h} \cdot 1 \quad ; \quad \dot{U} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{1}{\cosh \frac{2\pi}{L} h} \cdot 1$$

Kuvvet hesabı için gerekli katsayıların herhangi bir şekilde belirlenmiş olduğunu kabul edelim. Bu durumda yukarıdaki üç denklemden kuvvetler kolaylıkla bulunacaktır. Ancak F_D , F_L , F_I hesaplandıktan sonra maksimum yatay kuvvetin belirlenmesi ilave bir işlemi gerektirmektedir. Bileşke yatay kuvvet F_D ve F_I nin doğrudan toplamı değildir. Çünkü şekilden de görülebilir gibi hızın maksimum olduğu anda F_D de maksimumdur. Fakat o anda ivme maksimum değerinde değildir. İvmenin maksimum değerini alması için $T/4$ kadar bir zaman geçecektir. Faz farkı olarak önceden de ifade ettiğimiz bu durum θ faz açısına bağlı olarak değişir. Bu değerler maksimum ile sıfır arasında tekrarlanıp duruken aynı ana tesadüf eden F_D ve F_I yatay kuvvetleri toplanabilir. Bu toplamalar tamamlandıktan sonra maksimum yatay kuvvet ortaya çıkmış olacaktır. Bu işlem U ve \dot{U} denklemlerindeki $\cos 2\pi t/T$ ve $\sin 2\pi t/T$ değerlerinin teker teker hesaplanması ile yapılır. Buna ait bir örnek Şekil II.2 de görülmektedir. Görüldüğü gibi atalet kuvvetinin maksimum değeri 224 kg/m ve $\theta = \pi/2$ faz açısında, sürüklenme kuvveti ise 189 kg/m ve $\theta = \pi$ faz açısında oluşmaktadır. Ara hesaplar $0, \pi/8, \pi/6, \pi/4, \pi/2$ faz açılarında yapılmıştır. Bu fazlarda toplama yapıldığında maksimum değer 253 kg/m olarak $\pi/8$ ($=\pi/8 + n\pi$) değerlerinde periyodik olarak meydana geldiği görülmektedir.

II.2.3 D i f r a k s i y o n A n a l i z i : Morison denklemleri kullanıldığında üniform çevre ivmesi ve çevre elemanlar lokal tesiri sebebiyle karışma veya dalga dağılımı bulunmadığı kabulü vardır. Bunu doğrulamak için çapın (veya çapa tekabül eden eleman boyutunun) dalga uzunluğuna göre yeterli miktarda küçük olduğu kabulünün yapılması gerekir. Bu oran D/L ve



değer 0.2 dir. Eğer $D/L < 0.2$ ise Morison denklemi kullanılacaktır. Fakat $D/L > 0.2$ ise difraksiyon analizi kullanılması gerekecektir.

Morison denkleminde "Atalet Kuvveti" teriminin değerlendirilmesi, yapı elemanının özel şekli için kütle katsayısının bilinmesini ve buna karşılık gelen ivme vektörünün doğrultusunun bilinmesini gerektirir.

Gravite tipi platformlar, depolama tankları veya rölatif olarak büyük kesitli ve kompleks şekilli elemanları içinde bulunduranyapılar, dalga yükünün tahmininde difraksiyon teorisine dayalı metodların kullanılmasını gerektirebilir.

Difraksiyon analizi dalga içinde sabit veya hareketli bir gövde üzeri - ne, sınımlı basınç dağılımlarını tarif eden fonksiyonları hesaplamak suretiyle gövde üzerine gelen basınç dağılımını veren bir analiz yöntemidir . Öyleki bozulmamış dalga ortamında bilinen basınç alanı üzerine toplandığındagövde yüzeyine gelen basınç dağılımını verir. Uygulamada lineerleştirilmiş serbest yüzey şartları ve belirli noktalardaki sınır şartları sağlatılmaktadır.

Yapı elemanı üzerindeki kuvvetler ve momentler basınç dağılımını integre ederek şöyle ifade edilebilir.

$$F = F_I + F_D \quad \dots(1)$$

Buradaki F_I ortamdaki bozulmamış dalga sebebiyle katkıdır ve yaygın olarak Froude-Krylow bileşeni olarak bilinir. F_D sınımlı basınç noktaları ile meydana gelen bozulmuşluk sebebiyle oluşan kuvvettir. Morison denklemindeki eklemlik kütle terimine karşılık olup, hem dalga yayılımını, hemde mevzii bozulmuşluğu içine alır. Ortamdaki ivme yaklaşık üniformdur ve dalga dağılımı küçüktür. Bu durumda aşağıdaki denklemleryazılmaktadır.

$$F_I = \rho V \dot{U} \quad \dots(1)$$

$$C_n = (F_I + F_D) / F_I \quad \dots(5)$$

$$F_D = \rho (C_M - 1) V \dot{U} \quad \dots(2)$$

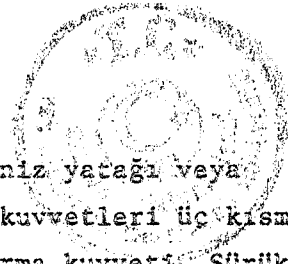
$$F = C_n \cdot F_I = C_M \rho V \dot{U} \quad \dots(6)$$

$$F = C_M \rho V \dot{U} \quad \dots(3)$$

C_n difraksiyon katsayısı olup atalet katsayısına eşit hale gelir. Bu şartda difraksiyon analizi bir atalet katsayısı hesaplama yoludur. Konu hakkında ilave bilgi için EK-2 de verilen kayaklara bakılabilir.

II.2.4 B a z ı B a s i t M e t o d l a r : Dalga kuvveklerinin hesaplanması için Morison denklemi veya burada verilecek olan üç metoddan başka basit metodlar da vardır. Bunlara örnek olarak I 16, 25 I de verilenler sayılabilir.

II.2.5 L a r s E r i c J A N S O N M e t o d u : Bu metod yazarın 1973 yılında "Plastic Pipe In Sanitary Engineering" adıyla yayınlanan kitabında verilmektedir.



Su altındaki borulara etkiyen dalga kuvvetleri: Deniz yatağı veya yakın çevresi üzerine döşenmiş borular üzerindeki dalga kuvvetleri üç kısma ayrılabilir. Sürükleme kuvveti, kütle kuvveti, kaldırma kuvveti. Sürükleme ve kaldırma kuvveti akıntı kuvveti ile aynı karakterdedir., yani suyun akım hızına bağlıdır ve artan akımla birlikte artarlar. Kütleesel kuvvet ise, suyun salınım hareketleri temin eden basıncın salınımlarından doğar. Bu kuvvetler ivmenin en yüksek olduğu zaman en yüksek değere ulaşırlar ve bu anda hız sıfırdır. Bu yüzden kütleesel kuvvet, sürükleme ve kaldırma kuvveti ile aynı fazda değildir. Bu üç kuvvetin maksimum değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$F_S = C_S \cdot f^2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{H_0}{D}$$

$$F_t = C_t \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \frac{H_0}{L_0}$$

$$F_l = C_l \cdot f^2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{H_0}{D}$$

Burada C_S sürükleme, C_t kütle, C_l kaldırma kuvvet katsayılarını, f kırılma faktörünü, $\frac{\pi D^2}{4}$ suyun birim hacim ağırlığını (1000 kg/m^3), D boru dış çapını, H_0 derin suda dalga yüksekliğini, L_0 derin sudaki dalga boyunu göstermektedir.

Kütle kuvveti katsayısı C_t borunun deniz yatağından uzaklığına bağlıdır. Eğer boru doğrudan deniz yatağı üzerine yerleştirilmişse $C_t = 3.3$ dür, fakat bu mesafe $1/4.D$ den büyük ise $C_t = 2$ olmaktadır. C_S ve C_l ise hem deniz yatağından olan mesafeye, hemde boru çapı ile hızın çarpımına bağlıdır. Pratikte bu çarpım genellikle $0.5 \text{ m}^2/\text{sn}$ den fazladır. Deniz yatağı pürüzlülüğü sebebiyle sürükleme ve kaldırmadaki azalma dikkate alınmayabilir ve katsayılar için aşağıdaki değerler alınabilir.

Katsayılar	Mesafeler	
	$e = 0.D$	$e = 1/4.D$
$C_t =$	3.3	2.0
$C_S =$	0.5	0.333(1/3)
$C_l =$	4	0

Kuvvet formüllerindeki $\frac{\pi D^2}{4}$ faktörü yerinden oyhatılan suyu ifade etmektedir. H_0/L_0 faktörü ise dalga dikliği olarak tanımlanabilir. Kırılma faktörü dipteki dalga hareketinin amplitüdünün boru boyunca olan izafi deşişikliği ile dalganın boruya çarpma açısının müsterek tesirlerini ifade eder.

$$f = \frac{2a}{H_0} \sin \theta$$

a : dipteki yatay dalga hareketinin amplitüdü ve
 θ : dalga yönü ile boru arasındaki açıdır.

f faktörünün değişimi genellikle sadece bir kırılma diyagramı vasıtası ile bulunabilir. $\theta = 90^\circ$ için $f = 1$ olmaktadır. Deniz yatağı münhanileri düve kıyı hattına paralel olduğu zaman, kırılma faktörü derin sudaki dalga yönü ile eşderinlik çizgilerine dik doğru arasındaki açı olan α_0 ve bu dik doğru ile h derinliğindeki boru arasındaki açı olan β nin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Şekil II.3 f kırılma faktörünü $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ değerleri için α_0 'nın bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Diyagram tersine çevrilerek -15° ve -30° için de kullanılabilir.

Su derinliği, $h/L_0 = 0.05$ e tekabül eden derinlikten az olduğu zaman kırılma (refraction) yoluyla büyük miktarda azaltılmamışlarsa dalga kırılması meydana gelir. Bu derinliklerde borular kıyıya hemen dik olarak döşenir ve kırılma riski büyükse, borular gömülmeli veya bir başka yolla korunmalıdır.

II.2.5.1 : S a y ı s a l Ö r n e k . : Bu örnek kitaptan aynen aktarılmıştır.

500 mm dış çapında bir HDPE (Yüksek Yoğunluklu Poli Etilen) çıkış borusu kıyından 10 m derinliğe kadar uzanmaktadır. Çıkış boru hattının önerilen yerinin her iki tarafında da deniz yatağı eşderinlik çizgilerinin kıyı hattına paralel olduğu kabul edilmektedir. Boru hattı, kıyıya dik doğru ile 15° ilâ 60° arasındaki yönde gelen ($15^\circ \leq \alpha_0 \leq 60^\circ$) dalga ve boyu $L_0 = 50$ m, $T = 5.7$ sn ve $H = 4$ m maksimum yükseklikli dalgaya göre projelendirilmiştir.

Diğer bütün yönlerde, boru hattının yeri, bu yönlerdengelen dalga boyları, maksimum 1.6 m yüksekliğe tekabül eden $L_0 = 20$ m yi geçmeyecek şekilde büyük dalgalardan korunmaktadır. Aşağıda görüleceği gibi, kütle kuvvetleri hakim kuvvetlerdir ve bunlar sadece dalga dikliğiyle bağımlı olduğundan, ki buher iki dalga sistemi için de aynidir, boru hattını en büyük dalgalar yönüne çevirmek avantajlı değildir.

Boru bu sebeple eşderinlik çizgilerine dik doğruya $\beta = 15^\circ$ lik bir açıyla döşenmiştir. Boru üzerindeki ankraj ağırlıkları, boru döşendiğinde deniz yatağından itibaren çapının 1/4ünden daha derine gömülmesini temin edecek şekilde projelendirilmiştir. Bu hal için kuvvet katsayıları Şöyledir $C_t = 2.0$, $C_s = 1/3$ ve $C_1 = 0$ Herbir dalga sistemi için "f"nin maksimum sayısal değeri bulunur ve bundan sonra en büyük dalga kuvvetleri bulunabilir.

$L_0 = 50$ m	h (m)	$\frac{h}{L_0}$	f	F_t (kg/m)	F_s (kg/m)	F_1 (kg/m)
$H_c = 4$ m	2.5	0.05	0.05*	25	3	0
$15^\circ \leq \alpha_0 \leq 60^\circ$	5.0	0.10	0.31	31	4	0
$H/D = 8$	10.0	0.20	0.26	26	3	0
$\beta = 15^\circ$						

* Dalga boyu küçük olduğu zaman $f = 0.3i$ e kadar artabilir.

$L_o = 20$ m	h	$\frac{h}{L_o}$	f	F_t	F_s	F_l
$H_o = 1.6$ m	(m)			(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)
$-90^\circ < \alpha_o < 90^\circ$	2	0.10	0.64	63	7	0
$\frac{H_o}{D} = 3.2$	4	0.20	0.42	42	3	0
	6	0.30	0.26	26	1	0
$\beta = 15^\circ$	8	0.40	0.16	16	0	0

Su derinliği 2.5 m den az olan yerlerde, kızılan dalgalardan korunması için borunun gömülmesi gerekmektedir. Enbüyük kütle kuvvetinin, enbüyük sürüklenme kuvvetinin iki katından fazla olduğu durumlarda, boru üzerine etkiyecek maksimum toplam yüklenme enbüyük kütle kuvveti kadardır.

Boru ankrajı, böylece aşağıdaki kuvvetlere göre projelendirilmelidir .

Su derinliği (m)	2.5	5	10
Dalga kuvvetleri (kg/m)	6.0	35	26

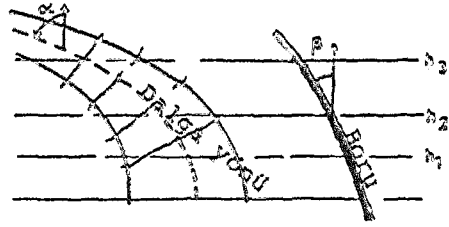
II.2.6 Hydraulics Research Station Methodu (HRS) : Bu metod, bu merkezin 1975 yılında yayınlanan "Wave Forces on Submarine Pipelines" adlı raporla verilmiştir. Çalışma bu iş için özel olarak projelendirilmiş bir darbeli (pulsating) su tüneline, BP Trading Co. Ltd. adına gerçekleştirilmiştir.

Burada kuvvet fonksiyonlarının beş değişik parametre ile ifade edilebileceği belirtilmekte ve bu ifade aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

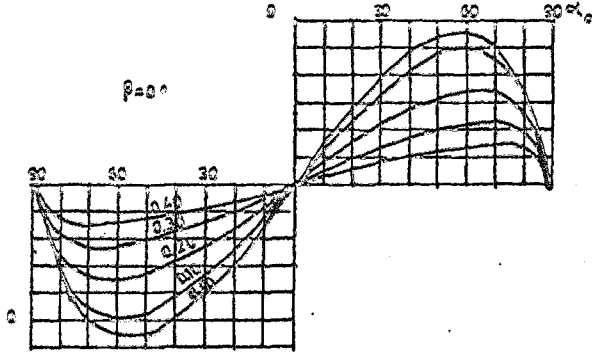
$$\frac{F}{\rho D^3 \omega^2} = f \left(\frac{G}{D}, \frac{H}{D}, \frac{A}{D}, \frac{U}{a\omega}, \frac{a\omega D}{\nu} \right)$$

Bunlardan G/D ve H/D parametreleri basit geometrik oranlardır. G silindirin tabandan mesafesi, d silindir çapı ve H deneyde su ile ilgili bir yüksekliktir. a/D parametresi, a salınımlı akımın yarı yörünge uzunluğu olmak üzere sürüklenme ve atalet kuvvetleri ile ilgilidir. $a\omega D/\nu$ ise Reynolds sayısıdır.

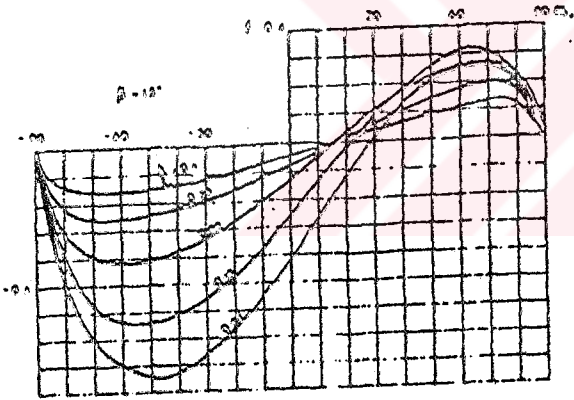
Bu metotta göze çarpan bir özellik akımdaki hız ile ilgilidir. Burada dalganın ve akıntının hızını ayrı ayrı almak yerine, dalgadan gelen akım hızı ve akıntıdan gelen akım hızı birbirleri cinsinden ifade edilmeye çalışılmıştır. Bu, raporda şu şekilde ifade edilmektedir. " Bir akıntı akımı aynı maksimum hız ve ivmeye sahip tam salınımlı bir akım tarafından üretilen kuvvetlere eşit maksimum kuvvetler veren bir akım olarak ele alınmıştır." Böylece akım (a, ω, u) , mutlak salınımlı akımın $(a, \omega, 0)$ maksimum kuvvetlerine eşit kabul edilir. Böylece $a', \omega' = U + a\omega$ yazılmaktadır. Bu suretle (a, ω, U) akımı için maksimum kuvvet şu şekilde yazılmaktadır.



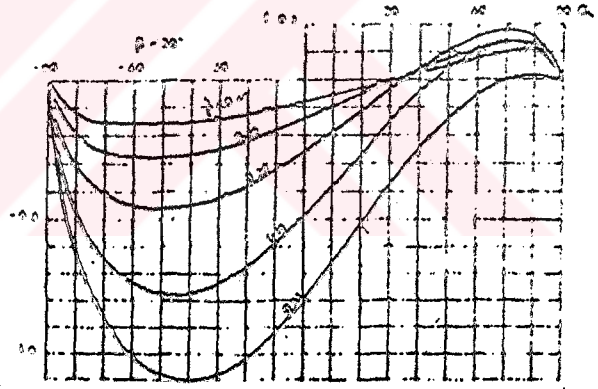
Kıyı hattı



Şekil 5. Kırılma Nomogramı $\beta = 0^\circ$



Kırılma nomogramı $\beta = 15^\circ$



Kırılma nomogramı $\beta = 20^\circ$

ŞEKİL II-3 : Jansen Metodu abakları

$$F = \rho D^3 \omega^2 f \left(\frac{G}{D}, \frac{H}{D}, \frac{a^2}{D}, \frac{a^2 \omega^2 D}{\gamma} \right)$$



Bundan sonra boru çapının küçüklüğü dikkate alınarak bu beş bağımsız parametre üçe indirilmekte ve G/D nin değişik değerleri için diğer iki parametre dikkate alınarak kuvvet tayin edilmektedir. Bu halde, F_D ve F_L için şu bağıntılar yazılır.

$$F_D = F_{md} / \rho D^3 \omega^2 \quad F = F_{ml} / \rho D^3 \omega^2$$

Sonuç olarak boru ve taban arasındaki sıfır aralık için tavsili edilen kuvvet şudur.

$$\text{Max } F_D = \rho D^3 \omega^2 (4.22 + 0.52 \left(\frac{a}{D} \right)^2) \quad ; \quad \frac{a}{D} > 2.85 \text{ için}$$

$$\text{Max } F_A = 2.96 \rho D^2 a \omega^2 \quad ; \quad \frac{a}{D} < 2.85 \text{ için}$$

$$\text{Max } F_L = 1.41 \rho D^3 \omega^2 \left(\frac{a}{D} \right)^{1.7}$$

Burada $a = u/\omega$ dir. u tabandaki hız ve a tabandaki yarı yörünge uzunluğudur. ω açısal frekans, D boru çapı, T dalga periyodudur.

Açıklığın diğer değerleri için ($G/D \neq 0$) ayrıca düzeltme şekilleri verilmiş bulunmaktadır.

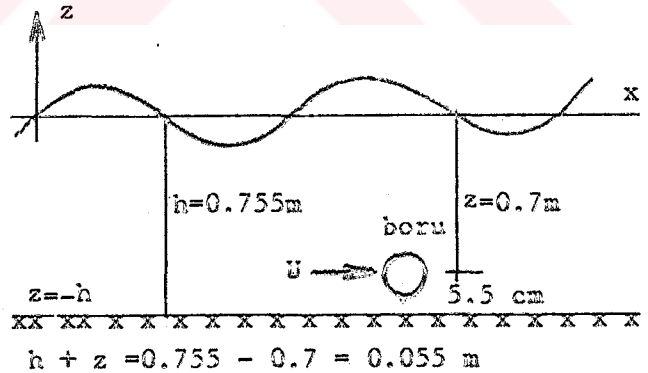
II.2.6.1 S a y ı s a l Ö r n e k : Bu örnek Bölüm IV, Tablo IV.3 de 1. sıradaki çözümdür.

Veriler: $D = 0.1$ m, $H = 7.2$ cm, $T = 5.2$ sn, $L = 4.11$ m, $G/D = 0$

$$U = \frac{H}{T} \frac{\text{Cosh} \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\text{Sinh} \frac{2\pi}{L}h} \text{Cos} 2\pi \frac{t}{T}$$

$$U_{\text{taban}} = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\text{Sinh} \frac{2\pi}{L}h} \cdot i$$

$$U_{\text{boru}} = \frac{\pi H}{T} \frac{\text{Cosh} \frac{2\pi}{L}(0.055)}{\text{Sinh} \frac{2\pi}{L}h}$$



$$\text{Cosh} \frac{2.3,14}{4.11} (0,055) = 1.035 \approx 1 \quad \text{Cosh}(0) = 1 \quad ; \quad \text{Cosh} 2\pi t/T = 1$$

Bu nedenle bu ifade =1 alınmıştır.

$$a = U/\omega = \frac{UT}{2\pi}$$

$$U = \frac{3,14 \cdot 7,2 \cdot 2 \cdot 10^2}{5,2} \frac{1}{\text{Sinh} 6,28 \cdot 0,755/4,11} = 0.0305 \text{ m/sn}$$

$$\omega = 2\pi/T = 6.28/5.2 = 1.207 \text{ sn}^{-1} \quad ; \quad \omega^2 = 1.458 \text{ sn}^{-2} \quad ; \quad a = \frac{0.0305}{1.207} = 0.025 < 2.85$$

$$\text{max } F_D = 0.110 \text{ kg/m} \quad ; \quad \text{max } F_L = 0.298 \text{ kg/m}$$

II.2.7 Grace 1978 Metodu : Bu metod yazarın "Submarine Outfall Design" adlı kitabında yer almış olup saha araştırmalarından yararlanılarak elde edilmiştir. Bu metodla ilgili önemli bir nokta, sonradan saha araştırmalarına devam edilerek II.7.2.2 de verilen iyileştirme çalışmasıdır. I 8, 8-1 I.

Dalga ilerleme yönüne dik veya dalga cephelerine paralel duran bir boruya dalgadan gelen toplam yatay kuvvet Morison denklemiyle verilen şekilde alınmıştır. $F = F_D + F_I$ Burada sürükleme kuvveti F_D ve atalet kuvveti F_I dir ve teferruatı ilgili bölümde verilmiştir. Ancak bu metodda deklemler yeniden ele alınarak yatay kuvvetlerin atalet ve sürükleme bileşenleri tek denkleme mütalâa edilmiştir.

II.2.7.1 Maksimum Yatay Kuvvet : Deniz altı boru projesi önceden belirlenmiş olan bir proje dalgasından gelecek olan maksimum kuvveti arar. Burada Grace, Morison denkleminin genel dalga hali için ilk pratik yaklaşım olduğunu belirtmekte ve kendisinin okyanusta yaptığı deneylerden burada verilen ve daha iyi görülen şu hesap formülünü vermektedir.

$$F_{max} = C_{max} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot U_{max}^2$$

Görüldüğü gibi burada yatay kuvvet atalet ve sürükleme bileşenleri ile verilen iki ayrı kuvvet şeklinde değildir ve maksimum yatay kuvvet tek bir ifade şeklindedir.

C_{max} katsayısının alacağı değerler üst zarf eğrileri adını verdiği eğriler ile verilmektedir. (Şekil II-4). C_{max} , Re sayısı ve rölatif açıklıktan bağımsızdır. Ayrıca borunun pürüzsüzlüğüne de bağlı değildir.

Bu denklem borunun dalga ortogonallerine dik olması hali içindir. Bu hal için, eğer $\psi = U_{max}^2 / \dot{U}_{max} \cdot D < 0.5$ ise

$$F_{max} = C_{I1} \cdot V \cdot \dot{U}_{max}$$

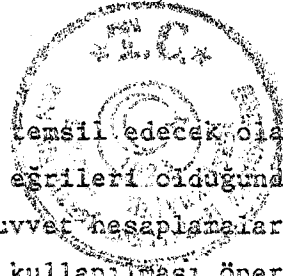
eşitliği ile maksimum kuvvet hesaplanır. Bunun için C_{I1} sekilden alınır. Küçük ψ değerleri için toplam kuvvete atalet kuvvetinin katkısı hakimdir. Büyükler için ise sürükleme tam olarak etkindir.

II.2.7.2 Maksimum Düşey Kuvvet : Aynı şekilde düşey kuvvet de aşağıdaki gibidir.

$$P = K_{max} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot a \cdot u_{max}^2$$

K_{max} kaldırma katsayısı C_{max} ile aynı sekilden alınmaktadır. Bu değerler projelendirme değeri olarak verilmektedir.

II.2.7.3 Proje Kuvvet Hesaplamaları : Denizde belirli bir derinliğe konulmuş bir boruyu dik olarak geçen proje dalgasının yaklaşık doğrultusuna periyoduna, yüksekliğine sahip on ayrı dalga olsa, on ayrı F_{max} ve P_{max} ol-



çölmüş olacaktır. Projelendirilmenin esprisi bunları temsil edecek olan kuvveti elde etmektir. Şekil II.4 deki eğriler üst zarf eğrileri olduğundan daima bir güvenlik faktörü ihtiva ederler. Bu sebeple kuvvet hesaplamalarında görülen kinematik terimler için ortalama değerlerin kullanılması önerilir.

Denklemlerin incelenmesinden görüleceği üzere eğri hız ve ivme biliniyorsa kuvvetler bulunabilecektir. Buna göre hız belli bir kabulle belirlenince problem hallolmuş olacaktır. Bunun için seçilen teori Airy teorisidir. Yani dalga yüksekliği küçük kabul edilmekte ve lineerleştirilmiş bir dalga ele alınmaktadır. Buna göre denklem şu şekildedir.

$$F_{\max} = C_{\max} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (D/l_*) \cdot \beta_2 \cdot u_{\max}^2 \text{Airy}$$

$$P_{\max} = K_{\max} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (D/l_*) \cdot \beta_1 \cdot u_{\max}^2 \text{Airy}$$

Burada β_1 düzeltme faktörüdür. U , U_{\max} ve \dot{U}_{\max} için şu ifadeler yazılmaktadır.

$$U = \beta_3 \left(\frac{U_{\max}^2}{U_{\max} \cdot D} \right); \quad U_{\max} = \beta_1 u_{\max}; \quad \dot{U}_{\max} = \beta_2 \dot{u}_{\max}$$

β_1 , β_2 , β_3 için şu değerler verilmektedir. $\beta_1 = 1.08$, $\beta_2 = 1.36$, $\beta_3 = 0.86$

Bu noktada problem u_{\max} ve \dot{u}_{\max} değerlerinin bulunmasına gelmiştir ve bunların değerleri de şu şekilde verilmektedir.

$$u_{\max} = G_v \cdot \frac{H}{T} \quad u_{\max} = G_A \frac{H}{T^2}$$

Burada ki G_v ve G_A katsayıları ise $T\sqrt{g/h}$ parametresine bağlı olarak çizilmiş şekilden alınır Şekil II.4..a.

II.2.7.4 Boru Dalga İlerleme Yönüne Göre Eğimli İse: Bu hal için F_{\max} , C_{\max} , P_{\max} , K_{\max} yerine F'_{\max} , C'_{\max} , P'_{\max} , K'_{\max} değerleri ikame edilmektedir. Buna göre

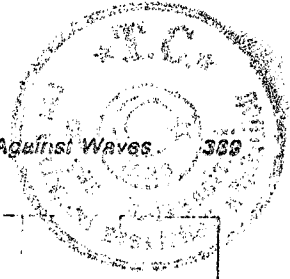
$$F'_{\max} = C'_{\max} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot D l_* \cdot U_{\max}^2$$

$$P'_{\max} = K'_{\max} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot D l_* \cdot U_{\max}^2 \quad \text{olmaktadır.}$$

Önce denklemlerle mukayeseden aşağıdaki eşitlikler yazılabilecektir.

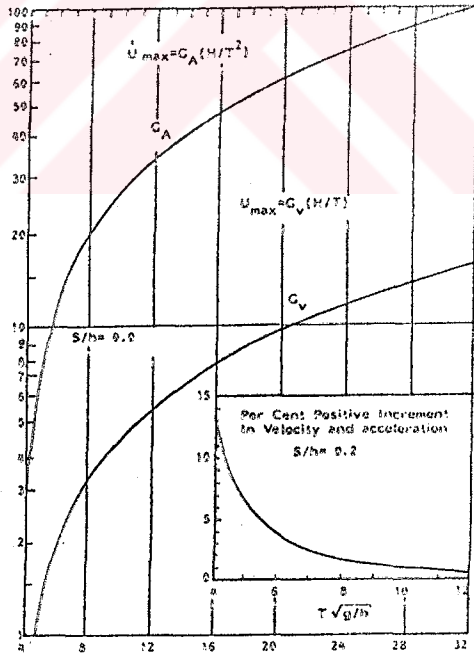
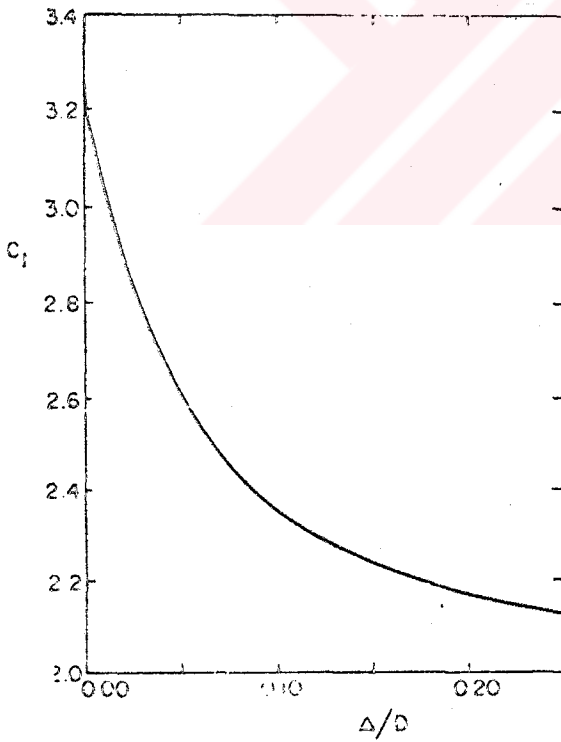
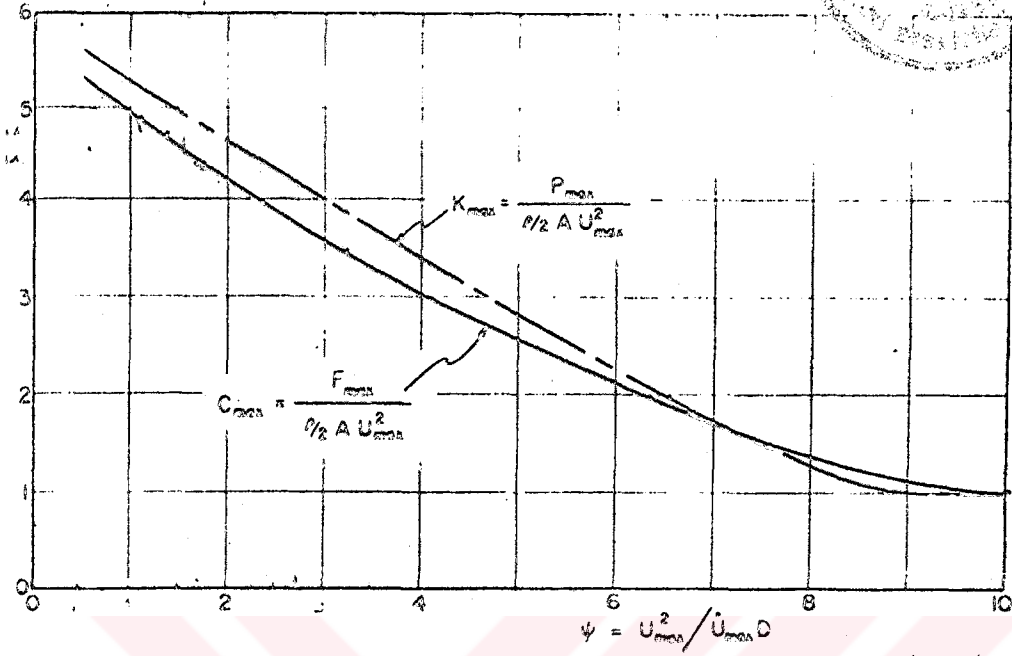
$$F'_{\max} = \frac{C'_{\max}}{C_{\max}} F_{\max} \quad P'_{\max} = \frac{K'_{\max}}{K_{\max}} P_{\max}$$

Kuvvet katsayılarının oranlarının bulunuşu ise θ açısına bağlı olarak şekilden alınmaktadır Şekil II.4.b. Önce $\theta = 90^\circ$ için elde edilmiş olan C_{\max} ve K_{\max} değerlerinin şekilden bulunan katsayılarla çarpılması sonucu

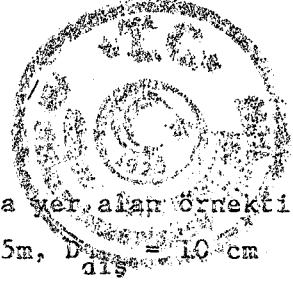


II-8-9

Unburied Outfall Design Against Waves 388



ŞEKİL II-4.a C_{max} , K_{max} , G_A , G_V ve C_i değerleri (I 8 I den)



C'_{\max} ve K'_{\max} değerleri elde edilir.

II.2.7.1 Örnek çözüm : Tablo IV.4.a da birinci sırada yer alan örnektir.

Veriler: $H = 7.2$ cm, $T = 5.2$ sn, $L = 4$ lim, $d = 0.755$ m, $D_{\text{dis}} = 10$ cm
 $\sqrt{g/d} = 5.2 \cdot (9.81/0.755)^{1/2} = 18.744$

$G_v = 9$ ve $G_A = 56$ (Şekilden okunur)

$U_{\max} = 1.08 G_v \cdot H/T = 1.08 \cdot 9 \cdot 7.2 \cdot 10^{-2} / 5.2 = 0.135$ m/sn ; $U_{\max}^2 = 0.0182$

$U'_{\max} = 1.36 G_A \cdot H/T^2 = 1.36 \cdot 56 \cdot 7.2 \cdot 10^{-2} / 27.04 = 0.202$ m/sn²

$\psi = 0.86 \cdot (U_{\max}^2 \cdot D) = 0.86 \cdot 0.0182 \cdot 0.1 = 0.0155 > 0.5$

$C_{\max} = 5.12$; $K_{\max} = 5.45$ şekilden

$F_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 5.12 \cdot \frac{1000}{9.81} \cdot 0.1 \cdot 0.0182 = 0.475$ kg/m

$P_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 5.12 \cdot \frac{1000}{9.81} \cdot 0.1 \cdot 0.0182 = 0.506$ kg/m

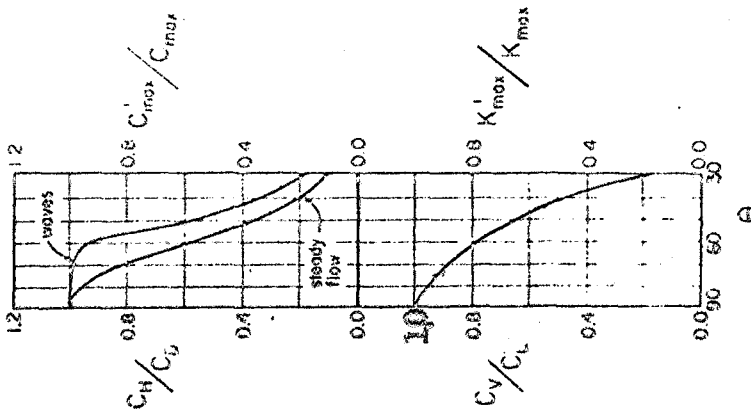
Aynı boru, aynı dalgayla $\theta = 75^\circ$ lik bir açı ile maruz ise,

$C'_{\max} / C_{\max} = 1.0$ şekilden ve $C'_{\max} = 1.0 C_{\max} = 5.12$

$K'_{\max} / K_{\max} = 0.92$ " ve $K'_{\max} = 0.92 K_{\max} = 0.92 \cdot 5.45 = 5.014$

$F'_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 5.12 \cdot \frac{1000}{9.81} \cdot 0.1 \cdot 0.0182 = 0.475$ kg/m

$P'_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 5.014 \cdot \frac{1000}{9.81} \cdot 0.1 \cdot 0.0182 = 0.465$ kg/m



ŞEKİL II.4.b Katsayıların Yöne Göre Düzeltilmesi



II.2.7.2 Metodun Orijinaline Yapılan Ek : Bu ek yazakın T.Y.ZEE ile birlikte 1981 de yayınlanan "Wave Forces on Rigid Pipes Using Open Test Data" isimli makalesinde verilmiştir. I 8-1 I. .

Bu makale Hawaii sularında uzunperiyodlu dalgalar tarafından 11.3 m derinlikte deniz tabanına yerleştirilmiş bulunan test borusu üzerine gelen kuvvetler için 4 yıllık deneylerden elde edilen sonuçları içine almaktadır. Dalga cephesi ile borular 4 değişik açıda bulunmakta idi. $\alpha = 0^\circ, 15^\circ, 35^\circ$ ve 52° . Bu çalışmanın esas maksadı pik kuvvetlerin elde edilmesidir. Bununla birlikte sürüklenme katsayıları ile ilgili pik kuvvetler normalleştirilerek kuvvet katsayıları ele alınmıştır. Ayrıca bu katsayılar için değişik açıları ve ekstrem değerlerle, ortalama değerlerin durumu da dikkate alınmıştır.

Burada ele alınmış olan problem, d derinlikli bir deniz tabanına ve bir mesafesi yukarıda döşenmiş olan D dış çaplı boru üzerine, bir α açısı ile gelen H, L, T yüzey karakteristiklerine sahip bir dalganın doğuracağı pik yatay ve düşey kuvvetlerin belirlenmesidir. Bu durumda maksimum yatay ve düşey kuvvetler için şu formüller verilmektedir.

$$F'_{\max} = C'_{\max} \frac{\rho}{2} (D_1) U_{\max}^2 \quad \dots (1) \quad \text{Yatay Kuvvet}$$

$$P'_{\max} = K'_{\max} \frac{\rho}{2} (D_1) U_{\max}^2 \quad \dots (2) \quad \text{Düşey Kuvvet}$$

Buradaki l boru boyu birim alınarak kuvvet kg/m olarak elde edilir. Diğer (ani atalet kuvvet katsayıları ile ilgili) parametreler şunlardır. $Re = U_{\max} D/\nu$ Reynolds sayısı, Δ/D borunun tabandan açıklığı, ϵ/D rölatif pürüzlülük, s su partikülünün yatay hareketi olmak üzere, partikül hareketinin rölatif uzunluğunu gösteren s/D dir.

Kullanılan teori Airy teorisi ve akım fonksiyonu teorisidir. maksimum kuvvet katsayıları için ortalama temayüller ve ekstrem değerler α nin 0° hariç $15^\circ, 35^\circ, 52^\circ$ ler için ψ nin 0.4- 8.8 arası çift sayı değerlerinde olmak üzere C'_{\max} ve K'_{\max} ayrı ayrı iki tablo ile verilmiştir. Şekil II.5 . Burada ψ nin 0.4, 0.6, 0.8 ve hatta 1.0 değerleri için diğerlerine nazaran pek az veri vardır ve en yüksek kuvvet katsayıları da bu bölgede yer almaktadır. Burada $C'_{\max} = 8.98$ ve $K'_{\max} = 12.41$ dir. Bu sebeple $\psi = 0.4-0.6$ aralığı için $C'_{\max} = 8.98$, $K'_{\max} = 12.41$ ve $\psi = 0.8-1.0$ aralığı için $K'_{\max} = 9.32$ ve $\psi = 1.0-1.2$ için $K'_{\max} = 7.13$ değerleri verilmektedir. ψ büyüdükçe katsayılar daha kolay okunabilmektedir. Görüldüğü gibi veri azlığı yüzünden eğri ψ nin küçük değerlerine uzatılamamıştır. Bu aralık için katsayılarda belirsizlik mevcuttur.

II.2.7.3 Sonuç ve Değerlendirme : Burada şunu ifade etmek rahatlıkla mümkün olmaktadır. ψ nin en azından 1.0 dan küçük değerleri için kuvvet

katsayıları, yeterli sayıda testten açık olarak elde edilmiş değildir. Yine açıklıktaki C'_{\max} ve K'_{\max} hızla büyüme eğilimindedir. $U = 1.2$ ve 1.0 için $C'_{\max} = 5.68$ ve 5.06 iken $U = 0.4$ için 8.98 e çıkmaktadır. Aynı şekilde α açısı küçüldükçe katsayılar bariz bir şekilde artmaktadır. Örnek olarak $U = 1.2 - 1.0 - 0.4$ için tablodan ilgili satırlar aşağıya alınmıştır. n veri adedidir ve tabloda $\alpha = 0$ değeri yer almamaktadır. Bu açıdaki kuvvetin, diğer açılardan büyük olacağı tablonun incelenmesinden görülmektedir. Bu tez çalışmasında $\alpha = 0^\circ$, $\theta = 90^\circ$ dir. Bu sebeple katsayının $\alpha = 15^\circ$ dekinden bir miktar büyük alınması gerekecektir. Tablo 9 un incelenmesinden $\alpha = 0^\circ$ ve $U = 1.0$ için $C'_{\max} = 7.5$ makul görünmektedir. Aynı şekilde U nin diğer değerleri için yatay kuvvet katsayısı C'_{\max} in aşağıdaki şekilde alınmaları uygun görülmüştür.

Görüldüğü gibi, metodun orijinalinden elde edilmiş olan kuvvetlerin, gerçek kuvvet değerlerinden daha küçük olduğu ortaya çıkmıştır. Bu tez ile bulunan sonuçlar da bunu göstermektedir. Tezde dördü hariç U nin bütün değerleri 1.0 in altındadır. Böylece bu çalışma ile az verinin olduğu bir bölgede çalışma yapılmış ve veri elde edilmiş bulunmaktadır.

Borunun dalga ilerleme yönüne paralel olması halinde ($\alpha = 0^\circ$) U nin çeşitli değerlerinde C'_{\max} alınacak değerler:

U	C'_{\max}	U	C'_{\max}
1.4	6.0	0.7	8.5
1.2	6.5	0.6	9.0
1.0	7.5	0.4	9.5
0.8	8.0		

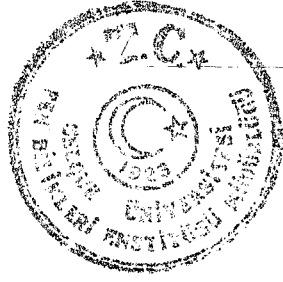
Bu katsayılar kullanılarak yapılan hesaplar Tablo IV.4.b ile verilmiştir.

II.2.8 Akıntıda Doğal Kuvvetler: Akıntılardan etkisiyle gömülü olmayan bir boru üzerine bir sürüklenme ve bir kaldırma kuvveti etkir. Dalgalardan farklı olarak akıntı hareketinde, salınımdan oluşan bir ivme değişimi olmadığından atalet kuvveti doğmamaktadır. Bu sebeple yatay kuvvet sadece sürüklenme kuvvetinden ibarettir. Akıntı için sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri aşağıdaki şekilde verilmektedir I 8 I.

$$F_H = F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A U^2 \quad (\text{kg/m}) \quad \text{Yatay Kuvvet}$$

$$F_V = F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A U^2 \quad (\text{kg/m}) \quad \text{Düsey Kuvvet}$$

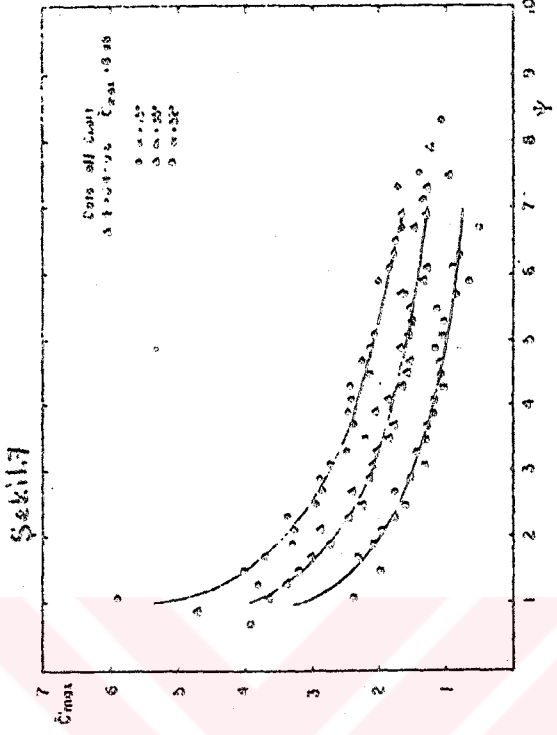
Burada $A = D l_*$ olup l_* uzunluğu, borunun kuvvet hesabı için dikkate alınan uzunluğudur. D boru dış çapı, U boru eksenindeki hız, C_D ve C_L ise kuvvet



Tablo:9 Cmax değerleri

d	a = 15°			a = 35°			a = 52°		
	n (2)	Mean (3)	Extrema (4)	n (5)	Mean (6)	Extrema (7)	n (8)	Mean (9)	Extrema (10)
0.4	0	--	--	1	3.98	4.98	0	--	--
0.6	0	--	--	0	--	--	1	3.92	3.92
0.8	1	6.97	6.97	3	4.72	5.14	0	--	--
1.0	3	5.91	6.57	5	3.85	4.62	7	2.39	3.18
1.2	3	3.82	5.06	8	3.37	4.25	2	3.35	3.89
1.4	12	4.02	5.68	9	3.20	4.73	7	1.99	3.09
1.6	6	3.71	5.29	5	3.05	3.99	10	2.32	3.08
1.8	9	3.31	4.40	7	2.75	3.80	9	2.07	2.88
2.0	10	3.27	4.42	13	2.85	4.36	10	1.97	2.65
2.2	10	3.35	4.09	8	2.89	3.29	11	1.75	2.78
2.4	13	2.95	3.65	18	2.56	2.74	14	1.60	2.41
2.6	10	2.84	3.60	16	2.33	3.45	8	1.76	2.79
2.8	13	2.90	3.47	10	2.19	3.62	7	1.52	2.13
3.0	14	2.73	3.85	11	2.10	2.71	11	1.29	1.93
3.2	9	2.48	3.39	18	2.05	2.81	8	1.43	2.68
3.4	9	2.20	2.73	12	1.83	2.56	9	1.29	2.00
3.6	8	2.37	2.90	8	1.77	2.16	3	1.27	1.78
3.8	8	2.46	3.09	4	2.10	2.50	8	1.17	1.82
4.0	8	2.41	2.87	13	1.85	2.80	13	1.14	1.84
4.2	8	2.42	3.00	11	1.60	2.19	10	1.01	1.39
4.4	7	2.13	2.72	9	1.57	2.08	6	1.07	1.35
4.6	10	2.23	3.10	11	1.63	2.00	7	1.08	1.81
4.8	6	2.12	2.85	3	1.56	1.86	5	1.13	1.26
5.0	5	2.06	2.29	6	1.69	1.89	4	1.03	1.25
5.2	0	--	--	6	1.50	2.13	7	1.01	1.32
5.4	0	--	--	6	1.52	1.79	4	1.13	1.82
5.6	6	1.60	1.88	4	1.39	1.96	5	0.86	1.14
5.8	1	2.01	2.01	4	1.34	1.54	2	0.65	0.75
6.0	3	1.84	2.01	4	1.28	1.70	5	0.90	1.31
6.2	4	1.78	2.25	0	--	--	1	0.78	0.78
6.4	4	1.74	1.93	1	1.32	1.32	0	--	--
6.6	2	1.63	1.88	1	1.61	1.61	1	0.50	0.50
6.8	4	1.64	2.06	2	1.35	1.53	0	--	--
7.0	1	1.31	1.31	2	1.15	1.33	0	--	--
7.2	1	1.70	1.70	2	1.25	1.44	0	--	--
7.4	2	1.38	1.59	1	0.90	0.90	0	--	--
7.6	0	--	--	0	--	--	0	--	--
7.8	0	--	--	1	1.22	1.22	0	--	--
8.0	0	--	--	0	--	--	0	--	--
8.2	1	1.05	1.05	0	--	--	0	--	--
8.4	0	--	--	0	--	--	0	--	--
8.6	0	--	--	0	--	--	0	--	--
8.8	0	--	--	0	--	--	0	--	--
9.0	0	--	--	0	--	--	0	--	--
9.2	0	--	--	0	--	--	0	--	--
9.4	0	--	--	0	--	--	0	--	--
9.6	0	--	--	0	--	--	0	--	--
9.8	0	--	--	0	--	--	0	--	--
10.0	0	--	--	0	--	--	0	--	--

(n: veri sayıdır)



ŞEKİL II-5 Gracede 1981 Cmax değerleri table ve grafiki



katsayılarıdır. Bu katsayıların değerleri özellikle türbülans ile değişmektedir.

Kuvvet fonksiyonu şu değişkenlere bağlı olarak yazılabilir.

$$F = f(\rho, U, D, \epsilon, \Delta, \nu, \omega, \alpha, \beta)$$

Burada ρ özgül kütle, U hız, D boru çapı, ϵ pürüzlülük, Δ borunun tabana olan mesafe, ν kinematik viskozite, ω vortisite ve boru cidarı ile boru gerisindeki akım dağılımı etkileri, α silindirin eğimi, β akıntı yönü ile silindir arasındaki açıdır. Bunlara göre kuvvetle ilgili iki önemli parametre söz konusu olmaktadır. Biri türbülansla ilgili olan Re sayısıdır, bunun içine vortisite etkileri de dahil edilebilir. Diğeri tabandan rölatif uzaklığı ifade eden $G = \Delta/D$ parametresidir.

II.2.8.1 K a t s a y ı l a r İ ç i n D e ğ e r l e r : C_D katsayısı permanen akımda rölatif açıklık payını dikkate almadan boru için 1.0 olarak alınabilir. Bunun dışında yüksek Re sayılarında ve az pürüzlülük değerlerinde 0.6-0.9 alınabilir I 49 I.

C_L için ise rölatif açıklık değerlerine bağlı olarak 0.35 -1.0 arasında değişen değerler şeklinde basit bir grafikte verilmektedir I 8 I. Şekil II.6

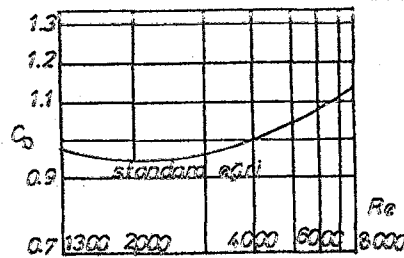
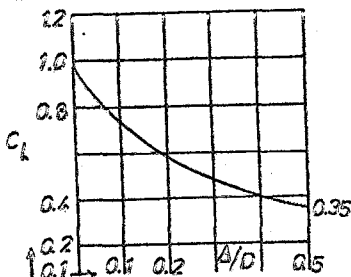
Eğer boru akıma dik değilse kuvvet formüllerini modifiye etmek gerekecektir. Bu halde akıntıya dik bir kuvvetten ziyade borunun doğrultusuna dik bir yatay kuvveti düşünmek uygun görülmektedir.

$$F_H = C_H \frac{1}{2} \rho D L_* V^2$$

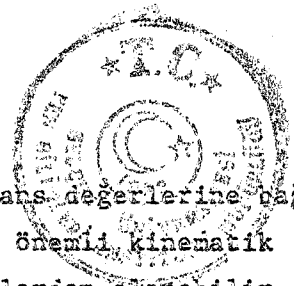
$$F_V = C_V \frac{1}{2} \rho D L_* V^2$$

Burada C_H yatay, C_V düşey kuvvet katsayısıdır, alan yine $D L_*$ dir. Fakat hız boruya dik olan hız değil akım hızıdır. Katsayılar açıya göre düzeltilerek kullanılır. Bu maksatla C_H/C_D ve C_V/C_L oranları teşkil edilmiş olup, değerler ilgili şekilden alınır Şekil II.4 b. Bu şekil aynı zamanda dalgalı akım için de geçerlidir.

C_D katsayısı için birde eğri geliştirilmiş olup adına standart sürüleme eğrisi denilmektedir I 50 I. Şekil II.6



ŞEKİL II.6 Kararlı Akımda C_D ve C_L Katsayıları



Akıntı araştırmaları sadece akımın değişik türbülans değerlerine bağlı olarak yapılmaktadır. Çünkü kuvvet katsayıları için en önemli kinematik özellik budur. İlave bilgi EK-II.3 de belirtilen kaynaklardan alınabilir. Akıntı-kuvvet iliğgisi, dalga-kuvvet iliğgisi gibi karmaşık bir konu olmuyup, genelde çözülmüş bir problemdir. Ayrıca akıntıdan gelen kuvvet birçok halde ihmal edilebilmektedir I 6, 14 I. Eğer güçlü bir akıntı yoksa bunun doğuracağı kuvvet, dalganınkine nazaran ikinci derecede önemi haizdir. Bu sebeple hesap yöntemleri, dalga ağırlıklı yöntemler olmak zorunda kalmıştır.

Ancak dalga ve akıntının müsterek etkisi söz konusu olunca incelenmeye değer bir etki ortaya çıkmaktadır, bu nedenle tek başına bir akıntıdan ziyade akıntı artı dalga hali ilgi çekici olmaktadır I 51 I.

II.2.9 Dalga Ve Akıntı Müsterek Hali

II.2.9.1 Genel: Bir dalga ile bir akıntının herhangi bir şekilde karı halinde akıntının ve özellikle dalganın karakteristiklerinde dikkate alınmayı gerektiren bazı değişiklikler olmaktadır. Dalganın temel karakteristikleri olan H,L,T deki değişmeler ise kuvveti doğrudan etkilemektedir. Meydana gelen bu değişme üçünde de aynı anda oluşmasa da ikisinde aynı anda vuku bulmaktadır.

Dalga ve akıntının en basit girişimi ikisinin de aynı yönde ilerliyor olmalarıdır. Bu durumda bir doğrultu değişimi vuku bulmayacak fakat dalga karakteristikleri değişecektir. Bu halde dalga ve akıntının lineer süperpozisyonu her zaman uygun bulunmamaktadır. Ancak büyük yükseklikli dalgalar için süperpozisyon yapılırsa hata düşük olmaktadır I 52 I.

Dalga ve akıntı doğrultuları farklı ise, dalganın doğrultusunda kırılma oluşacaktır ve H,L,T üzerindeki etkisi daha büyük olacaktır.

Dalga ile akıntı girişimi için ilk araştırma 1960 larda başlatılmıştır I 53, 54 I. Bunlardan ilki ile, dalga ile akıntı arasında bir enerji transferi olduğu ve buna yayılma basıncı adı verilmiştir (radiation stress). Bu makale bir akıntı ile karşılaşan bir dalganın uzunluk ve amplitüdünün değişime uğradığı ve doğrultu değişimi olduğu ortaya konulmuştur.

Bu olay hem dalga kırılması hemde deniz tabanı üzerindeki sürüntü maddesi taşınımı için önemli olmaktadır. Bunlar değerj projelendirmesi ile doğrudan ilgilidir. Bu ilgi hattın gömülü olarak geçileceği kırılma hattının sıhhatli şekilde tesbiti ve tabandaki oyulma yüzündedir.

Daha sonra I 54 I ile dalga aksiyonu denilen bir büyüklüğe dikkati çektiler.

Bu şekilde başlıyan çalışmalar üniform akım halinden, üniform olmaya- na ve lineer çözümlerden, lineer olmayanlara doğru genişletilmeye çaba sar-

fedilmiş, akıntı varlığında H,L,T değişimi ve partikül hazırlanması tesbiti hususları ele alınmıştır. Burada konuya özel periyodiklerin taranması esnasında bulunan ve dalga akıntı etkileşimini ele alan her çalışmaya yer verilmiştir. Görüldüğü gibi bunların sayıları çok değildir. Bu sebeple kuvvet konusuyla doğrudan ilgisine bakılmaksızın buraya alınmış, fakat bu nedenle bazıları pek kısa özetlenmiştir.

II.2.9.2: Dalga ve Akıntı Müsterek Hali ile İlgili Kaynak Özetleri: ..

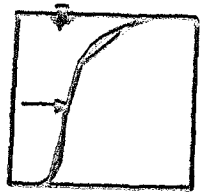
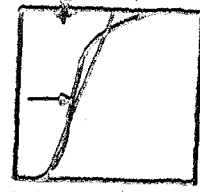
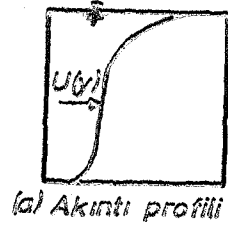
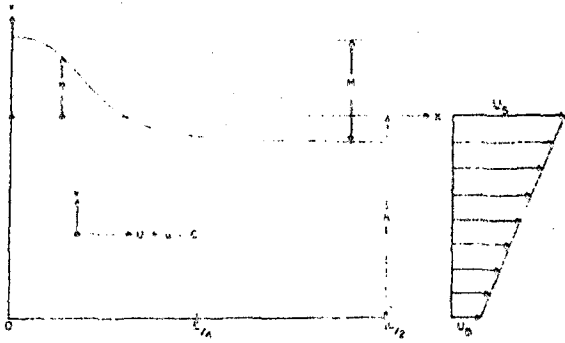
Aşağıda özetlenen makaleler içinde bazı kaynak isimleri geçmektedir. Özetleme esnasında konu bütünlüğünü ve orijinal anlatımı bozmamak için bu isimler buraya da alınmıştır. Ancak gerek doğrudan incelenmemiş olmaları ve gerekse listeyi gereksiz yere kabartmış olmamak bakımından kaynaklar içinde gösterilmemiştir. Ayrıca bunlar zaten özetlenen makalenin listesinde vardır.

II.2.9.2.1 : "Models for Nonlinear Water Waves on Shear Currents", Robert A. DALRYMPLE, I 51 I: Bu çalışma Florida Üniversitesinde "Dalga kuvvetleri analizi ve Projelendirme Prosedürü Geliştirilmesi" projesi çerçevesinde, bir çok ticari kuruluşun desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Uzaksahil yapıları projelendirilmesinde rüzgar etkileri, gelgit kuvvetleri ve okyanus sirkülasyonları etkileri dikkate alınarak verilen dalga kuvveti hesap prosedürüne, akıntılar da dahil edilmelidir. Bu akıntının ihmal meselâ 4.87 m/sn (16 ft/sn) maksimum hızlı bir proje dalgası altındaki 0.61 m/sn lik bir akıntı bileşeninin katılmasıyla sürükleme kuvvetinde %25 bir artış; 0.91 m/sn lik bir akımın katılması halinde ise %40 ın üzerinde bir artış olacaktır. Bunun yanında bir çok dalga kuvveti hesaplama prosedürü derinlikle sabit bir akıntıyı ihmal eder veya (Hall 1972) de olduğu gibi akıntı yokken bulunmuş dalga hız alanı üzerine, akıntı profilinin süperpozesi yapılır.

Bu makalede bilinen bir su derinliğinde, derinliğe göre iki veya üç doğru çizgi ile vasıflandırılabilen hız profiline sahip bir akıntı üzerine ilerliyen, belli yükseklik ve periyodlu (simetrik) bir dalga dizaynının yapılması için iki dalga modeli sunar. Bunlardan ilkinde "linear", ikincisine "linear shear current model" denilmiştir. Şekil II.7. Bu modeller su derinliğine göre sabit şiddette bir hız profiline sahip akıntı üzerine ilerliyen bir dalgamodeli üreten ve Dean 1965 tarafından tariflenmiş olan "akım Fonksiyonu Dalga Teorisi" nin bir uzantısını temsil ederler. Daha gerçekçi bir akıntı profili şeklini ihtiva eden bu (uzatılmış) modeller proje mühendisine, doğru akıntı verilerini daha büyük bir yetenekle projelendirme prosedürü içerisine koymayı sağlar.

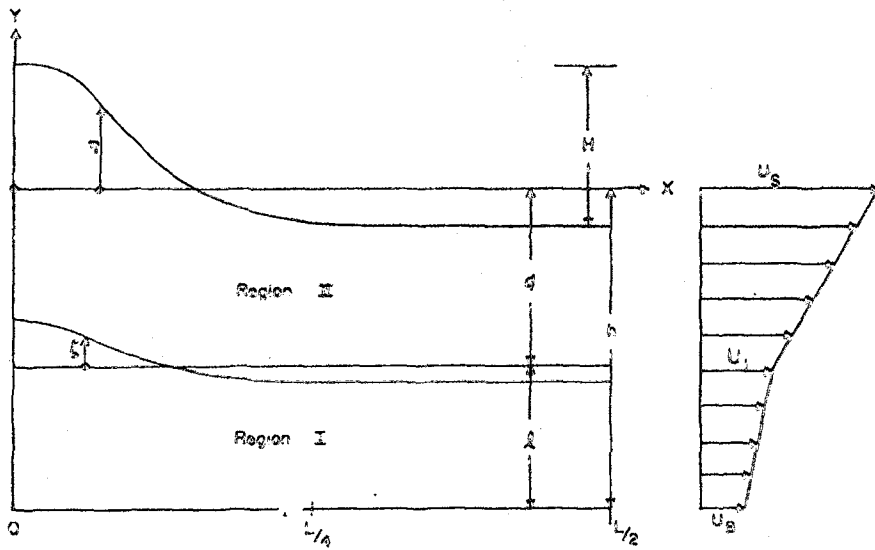
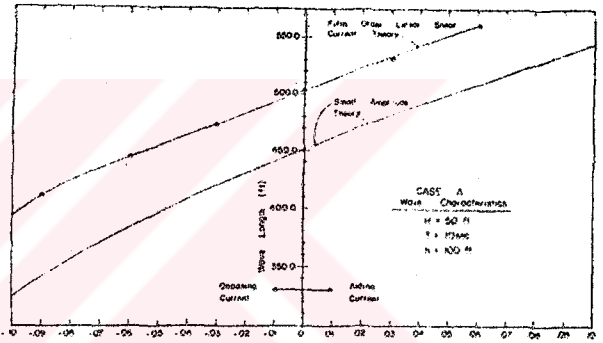
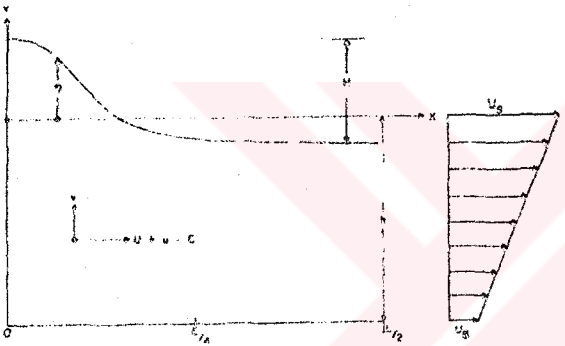
Okyanusta bir akıntı üzerine ilerliyen bir dalga probleminin matematik olarak işleme tabi tutulabilmesi için basitleştirme kabulleri gereklidir.



(a) Akıntı profili

(b) Linear

(c) Bilinear



ŞEKİL II.7 Linear ve Bilinear Yaklaşım



Önce su sütunu üzerine akıntı profili iyice teşekkül etmiştir kabul yapılarak, kısa bir süre için de olsa viskozitenin ihmal edilmesi sağlanabilir. Sonra dalga doğrultusu akıntınıniki ile aynı alınır. Uzayda ve zamanda periyodik ve formu ilerledikçe değişmeyen bir dalga kabulü yapılmıştır. Bu son kabul bilhassa büyük dalgalanmalar için geçerlidir ve dalga hareketinin kararlı kalmasını mümkün kılar. Akışkan sıkışmaz alınarak, matematik olarak iki boyutlu şekilde aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\frac{\partial(U + u - c)}{x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots(1)$$

Burada U kararlı akımın hızı, u ve v su partikülünde dalganın oluşturduğu yatay ve düşey hız, x ve yatay ve düşey koordinat doğrultularıdır. Sıkışmazlık okyanus için makuldür ve okyanus dalgalarının kararlı dalga hareketi için bir akım fonksiyonunun tarifini mümkün kılar.

$$-\frac{\partial \psi}{\partial y} = U * u - c \quad ; \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = v \quad \dots (2)$$

İki boyutlu akım alanı için vortisite şöyle ifade edilir.

$$f = \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial(U + u - c)}{\partial x} \quad \dots (3)$$

Sıkışmaz ve kararlı, iki boyutlu bir akım içinde akım çizgisi boyunca vortisite sabittir ve (2), (3) denklemlerinde (4) yazılabilir.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = f(\psi) \quad \dots(4)$$

Genelde bu denklemin çözümü f(ψ) vortisite fonksiyonunda ψ nin bağımsız değişkenlerinin varlığı halinde zordur, fakat basit haller için sonuç alınabilir.

Akışkan çevrintisiz (irrotational) ve f(ψ)=0 olduğunda, denklem (4) Laplace denkleminde indirgenmesi klasik haliyle sonuçlanır. İlk olarak bu denklemi Airy kullanarak I 21 I "Küçük Genlikli Dalga Teorisi"ni, sonra Stokes "Sonlu Genlikli Dalga Teorisi"ni geliştirdi I 22 I. Son zamanlarda Chappellear(1961) ve Dean(1965) hız potansiyeli ve akım fonksiyonu metodunu kullanarak, bilgisayar yardımıyla lineer ve lineer olmayan dalga çözümleri verdiler.

Bu makalede verilen lineer ve bilineer çözümler küçük genlikli dalga teorisi üzerine ve (4) nolu denklemde f(ψ) nin bütün değerleri için bir sabite eşit olması haline oturtulmuştur. Ayrıca çözüm birinci mertebeden fazlaya da uzatılabilir.

Lineer Kayma Akıntısı Modeli: Akıntı iki doğru parçası ile sunulabilir. U(y) lineer kayma hız profilini, U_B tabanda ve U_S yüzeydeki hız şiddetini, h su yüksekliğini, y derinliğini göstermek üzere şu şekilde yazılır.



$$U(y) = U_B + \frac{(U_S - U_B)(h + y)}{h}$$

Akışkan hareketini yöneten denklem Poisson denklemidir ve bu akışkanın vortisitesidir.

$$\nabla^2 \psi = - \frac{(U_S - U_B)}{h} = - \omega$$

Sınır şartları, yatay tabanda akım yoktur, $y = -h$ üzerinde $v = \partial\psi/\partial x = 0$, Çözümün dalga gibi x doğrultusunda periyodik olması için $\psi(x,y) = \psi(x+L,y)$ dir. Serbest yüzeyde ($\eta(x)$) basınç atmosfer basıncıdır ve bir akım çizgisi boyunca geçerli olan Bernoulli denkleminin kullanımında bu sabitlik şartı, dinamik serbest yüzey sınır şartı olarak referans verilir ve $y = \eta(x)$ üzerinde şöyle ifade edilebilir.

$$\eta + \frac{\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\psi}{\partial y}\right)^2}{2g} = \bar{\eta}$$

Birde serbest yüzey ve dalga için $E_2 = \frac{2}{L} \int_0^{L/2} \eta(x) dx = 0$ yazılır. Problemin çözümü aşağıdaki serilerin çözümü şeklinde kabul edilmiştir. Burada aranan serbest yüzey şartlarını en iyi temsil edecek olan bilinmeyen sabittir. Çözümde Taylor serisi ve matris formu ile iterasyon yöntemi kullanılmıştır.

Çözüm sonuçları şekille gösterilmiştir Şekil II.7.

Bilinear Kayma Akıntı Modeli: Burada taban çizgisi dahil üç doğru parçası ile hız profili temsil edilmiştir. Buna göre kayma akıntısı alanı iki bölgeye bölünmüş olmakta ve bunlar için ilgili fonksiyonlar (ψ, ψ) ayrı ayrı yazılmaktadır.

Yine, sonuçlar şekille gösterilmiştir ve bu sonuçlar makalenin baş tarafında ifade edilen sonuçlardır.

Sonuç olarak burada sunulan iki model, verilmiş bir dalga yüksekliği ve periyodu ile bilinen derinlikli bir suya, bilinen bir hız profili ile ilerleyen bir dalga için "akım fonksiyonu" üretir. Modelin analitik geçerliliği gösterilmiştir. Deneysel geçerliliği için ise uygun saha verileri elde edinceye kadar beklenmelidir. Akım ve dalganın lineer olmayan etkileşimi halinde süperpozisyon geçerli değildir. Ancak büyük yükseklikli derin su dalgaları için süperpozisyon hatası oldukça küçüktür.

II.2.9.2.2 : "A Finite Amplitude Wave on a Linear Shear Current", Robert A. DALRYMPLE, 1952 I: Bu çalışma aynı yazarın bir önce verilen çalışmasına paralel bir çalışmadır. Burada düseyde değişen bir lineer kayma akıntısı üzerine ilerleyen su dalgaları için birmatematik model olan, nümerik pertürbasyon prosedürü sunulmaktadır. Su yüzü profili kret civarında simetrik veya irregüler olabilir.



Burada dalgaları daha iyi tesil etmek için dalga doğrultusu ile aynı doğrultuda oluşmuş bir akım olan, lineer kayma akıntısı üzerine gelen bir dalga için bir matematik teori sunulmuştur. Daha iyi bir model için ihtiyac petrol endüstrisinde ortaya çıkabilir. Çünkü orada, uzaksahilde kurulu platformların dizaynı için yapıyı çevreleyen akımların tesiri değerlendirilmelidir. Bu cümleden olarak, deniz şartları esas alınarak bir adet derinsu ve bir adet sığsu dalgası ele alınmış ve sudaki çeşitli vortisite değerlerine bağlı olarak bu dalga halleri için, dalgaların uzunluğunda ve hızda oluşması beklenen değişmeler grafiklerle verilmiştir. Ayrıca kret yüksekliğinin toplam dalga yüksekliğine oranı verilmektedir.

Örnek dalga $H = 15.2$ m, $T = 10$ sn ve su derinliği $h = 30.5$ m olan derinsu dalgası ile $H = 1.92$ m, $T = 10$ sn ve su derinliği $h = 3$ m olan bir sığsu dalgasıdır. Dalga uzunluğu sığsu örneği için 40-67 m, derinsu için 91-167 m civarındadır. Görüldüğü gibi deniz dalgaları esas alınmıştır ve deniz şartları için bilinen bir dalgada boy, hız, ivme ve kret yüksekliğinde dalga ve akıntı girişimi ile oluşacak farklılaşma verilmektedir. Bu değişiklik ile, küçük genlikli teoride tekne ve kret yüksekliği için %50, %50 olarak bilinen yükseklik oranının bozularak, tekne yüksekliğinde %90 a varan bir artma meydana gelebileceğini belirtmek yerinde olur. Ayrıca bir akıntının, dalga hız alanına dalga tepesinde lineer süperpozisyonunun, yatay su partikül hareketi için oldukça iyi bir tahmin teşkil ettiği görülmüştür. Eğer akıntı ile dalga aynı doğrultulu ise, dalga ile akıntının ortak etkileşimi sonucu dalga uzunluğu artmaktadır; yönler zıt ise bu uzunluk azalmaktadır.

Sonuç olarak bu makale ile sabit vortisiteli bir akışkan içinde bir lineer kayma akıntısı üzerine ilerleyen dalgaların modeli sunulmuştur. Tabii olayları temsilde bu modelin geçerliliği, sınır şartlarında hatalar analitik olarak istenildiği kadar küçük tutulabildiği için ikna edicidir. Deneysel geçerlilik yine de araştırılmalıdır.

II.2.9.2.3 "Waves and wave forces in the presence of currents", Robert A. Dalrymple, (1975) I 30 I. Akıntılarla etkilenmiş halde dalga ve dalga kuvvetleri konusu, geçmişte kısmen dalga kuvvetleri ve akıntı verilerinin elde edilmesinin ve analizinin zorluğundan ve aynı zamanda dalgaları akıntılar üzerine matematiksel olarak tanımlamak için uygun dalga teorilerinin olmayışı yüzünden ihmal edilmiştir. Son zamanlarda Dalrymple, (1974) dalgaları oldukça gerçekçi akıntılar üzerine modellenen dalga teorisi için bir çalışma sunmuştur. Teori ve dalga ölçümlerini kullanarak akıntılarının dalga kuvvetleri üzerindeki etkisini kısmen inceleyebilmek mümkündür.

Burada, dalga kuvvetlerinin akıntılar üzerindeki şu üç alan tetkik e-



dilecektir.

- 1- C_D sürükleme katsayısının akıntı ile incelenmesi.
- 2- Kuvvet verilerinden ortalama akıntılarının yaklaşık olarak belirlenmesi.
- 3- Dalga ve akıntılarının yönlerinin (dalga ve akıntı yönünlüğünün) dalga kuvvetleri üzerindeki etkisi.

Buradaki analizlerde kullanılan veriler, kullanıma açık olan en geniş kapsamlı dalga kuvveti ölçme programı olan ve Mexico körfezinde Standard Oil Company of California için kurulmuş bulunan proje çerçevesinde 1954-1963 yılları arasında elde edilen verilerdir. Kaydedilen bu verilerin en iyileri 1960-1963 yılları arasında "İkinci Dalga Projesi" verileridir. Dalga ölçme maksadıyla teçhiz edilen platformun bulunduğu yerdeki su derinliği 98 feet idi. Teçhizat ise 8 adet transdüser idi ve düşey bir silindirik yapı elemanının üzerine değişik yüksekliklere tesbit edilmişlerdir. Burada dalga yüzeyi profili de elde edilmiştir. En çok dikkat çeken veri Eylül 1961 de vuku bulan Carla kasırgası verileri oldu. Burada 11.826 m ye kadar varan dalgalar kaydedilmiştir. Elde edilen veriler National Oceanographic Data Center'a verilmiştir. Bunun dışında projede önemli bir nokta da su içinde çalışan dinamometreler problemi olmuştur.

Ölçümlerde elde edilen verilerin çoğu dalga kuvvetleri için bir çok araştırmacı tarafından analiz edilmiştir. Son zamanlarda Florida Üniversitesi Kıyı ve Okyanus Mühendisliği Labratuvarları'nda Robert G. Dean başkanlığında bir ekip tarafından yeniden analiz edilmiştir. Aşağıda, akıntılarının bu dalga kuvvet analizleri üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

A k ı n t ı l ı a r v e M o r i s o n D e n k l e m i : Yapılar üzerindeki kuvvetler, düşey silindirik yapı elemanlarındakiler Morison tarafından geliştirilen denklemle oldukça iyi derecede tesbit edilebilir.

$$F_P = \frac{1}{2} \rho C_D A u |u| + C_M \rho \nabla \frac{Du}{Dt} \quad \dots (1)$$

F_P feet başına hesaplanan dalga kuvveti, A ve ∇ her bir ft yükseklikteki yapı elemanının izdüşüm alan ve hacmi, u ve Du/Dt dalganın sebep olduğu toplam yatay hız ve ivmedir. C_D ve C_M kuvvet katsayılarıdır. Bunlar akışkanın viskozitesi nedeniyle amprik olarak tanımlanmalıdır. Kararlı ve üniform akımlar için $Du/Dt = 0$ iken, C_D nin Re sayısına göre tabiatı oldukça belirlidir. C_D periyodik duraklamalar ve eleman arkasındaki dalganın (akımın) ters dönüşü (wake) neticesinde değişecektir. C_D ve C_M nin dalga varlığında tanımlanması için hem sahada, hem labratuvarda araştırmalar yapılmıştır. Ancak birçok uyuşmayan sonuç elde edilmiştir. Sahada çalışan araştırmacılar hem ölçü aletleri yerleştirilmesinde ve hemde ölçülen dalga profillerinin, aletlerle teç-

hiz edilen yapılardaki toplam kuvvetlerle korelasyonunda güçlük çökmüşlerdir. Problem, yakın zamana kadar su partikülleri ivme ve hızlarını dalga etkisinde ölçecek güvenilir aletlerin bulunmayışıdır. Bu sebeple dalga teorileri, ölçülen dalga profillerinden kinematik çıkarmakta kullanılmışlardır. Labratuvardaki problem, ölçeklendirme problemidir. Dalga modelleri Froude modelleme kanununa göre yönlendirildikleri halde, hidrodinamik sürüklenme katsayısı Reynolds sayısına bağlıdır. Bunun için model sonuçlarının prototip şartlarına ekstrapolasyonu olmamaktadır.

Sürüklenme ve atalet katsayılarının bir düşey yapı elemanı üzerinde ölçülen kuvvetlerden çıkarılması için II. dalga projesi verilerinin önceki araştırmacıları tarafından, değişik formlarda en küçük kareler tekniği kullanılmıştır. Dean ve Aagard (1970) tarafından kullanılan prosedür ile verileri Reynolds sayısına göre gruplandırma yapıldı. Bundan sonra her grup için en iyi uyulan C_D ve C_M , hesaplanan değere (F_P) karşı, ölçülen kuvvetler (F_M) arasındaki farklılaşmayı minimize eden değerlerdir. Şöyleki, sayet bir Re sayısı grubunda i adet ölçülmüş kuvvet (F_{M_i}) varsa, o zaman σ_F^2 minimize edilerek en iyi C_D , C_M elde edilir.

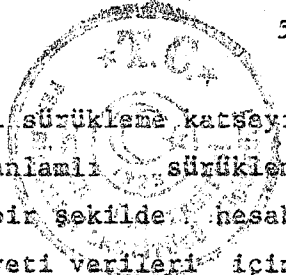
$$\sigma_F^2 = \frac{1}{i} \sum (F_{M_i} - F_{P_i})^2 \quad \text{dir.}$$

Dean ve Aagard tarafından elde edilen nihai katsayılar, dalgalar doğrultusundaki kuvvetler için şekille verilmiştir. Bu prosedürde dikkati çeken nokta, su partiküllerinin dalga tarafından doğurulan hareketlerinin akıntı fonksiyonu dalga teorisinin düzensiz şeklinden elde edilmiş olması ve akıntı varlığından dolayı hiç bir tolerans bırakılmamasıdır. Halbuki 76.2 cm/sn civarında bir akıntı var olmalıydı.

C_D ve C_M nin sahada mevcut olan bir akıntıyı dikkate almaksızın belirlenmesinin etkilerini bulmak için küçük genlikli dalga teorisi (Airy) kullanılabilir.

Analiz esnasında akıntının atalet kuvvetini etkilemeyeceği varsayılmış ve bu nedenle analizde bu kuvvet ihmal edilmiştir.

Burada C_D için izafi hata ortaya konulmuştur. C_D deki izafi hata ile akıntı hızının, dalganın sebep olduğu hızın büyüklüğüne oranı arasında ilişki kuran ifade şekilde üst eğri olarak gösterilmiştir. Görülür sürüklenme katsayısı C_D küçük akıntılar için oldukça hızlı artar. Meselâ dalganın sebep olduğu yatay azami hızın onda biri büyüklüğündeki bir akıntı için, %15 lik bir hata ortaya çıkar. Hata en azından dalga yönündeki akıntılar için pozitifdir. Bu da akıntıyı dikkate almaksızın elde edilen sürüklenme katsayılarının gerçek değerlerinden büyük olacağını göstermektedir. Dolayısıyla benzer



dalga ve akıntı şartlarındaki ölçüm sahaları için gerekli sürüklenme katsayıları değilse, her projelendirme durumuna uygulanabilir, anlamlı sürüklenme katsayıları belirlemek için akıntılarının etkisi rasyonel bir şekilde hesaba katılmalıdır. Bunun yanında, ortalaması alınan dalga kuvveti verileri için, ortalama işleminden dolayı hata o kadar büyük değildir.

İ k i n c i D a l g a V e r i l e r i n d e n E l d e E d i l e n A k ı n t ı l a r : Bir akıntının, dalga hız alanına dalga tepesinde lineer süperpozisyonunun yatay su partikülünü oldukça iyi temsil ettiği Dalrymple (1974) tarafından gösterilmiştir. Bunu akılda tutarak, dalga kuvveti verilerini analiz etmek ve dalga yönündeki sürekli akıntı bileşenini kabul edilebilir doğrulukta çıkarmak mümkündür. Akıntı bileşenini elde etmenin metodu, hatanın ölçülen ve hesaplanan kuvvetlerdeki ölçüm için en küçük kareler işlemidir. Yine akıntının pozitif olduğu kabul edilmiştir. Prosedür önceki kadar basit değildir, çünkü bir akıntının varlığı metodu nonlineer yapar. Bu maksatla bir yarı lineerleştirme prosesi kullanılmıştır.

Bu prosedür Carla kasırgası verilerinden alınan 44 dalgaya uygulanmıştır. Veriler önce yükseklik gruplarına, sonra Reynolds sayısı gruplarına göre ayrılmıştır. Buradan ayrılan C_D ve C_M ile ilgili analiz sonuçları araştırmayı yapan kuruluşun inhisarında olup, açıklanmamıştır. Ancak bu şekilde hesaplanan bir şekilde hesaplanan bir akıntının (dalga yönünde ve 0.80 ft/sn lik bir akıntı) gerçekte var olan akıntından daha küçük olması beklenmektedir.

A k ı n t ı Y ö n l ü l ü ğ ü n ü n D a l g a K u v v e t l e r i n e E t k i s i : Önceki bölümde akıntının dalga yönünde olduğu kabulü yapılmıştır, ancak durumun böyle olması pek mümkün değildir. Meselâ Ekman spirali, derin suda rüzgar yönünün 45° sağında (kuzey yarım kürede) bir yüzey akıntısının varlığını bildirir, halbuki dalgalar rüzgar yönünde oluşurlar. Yakın bir süre önce, Forristel (1974) kasırgaların oluşturduğu derinlik ile yönü değişen, gerçek düşey akıntı profillerinin varlığını bildirmektedir.

Dalrymple (1973) dalgalarla aynı yönde akıntıların kullanılabilmesi için akıntı fonksiyonları ve lineer kayma akıntı dalga teorisi formları geliştirmiştir. Bu teori kullanılarak kolineer olmayan akıntı varlığında dalga kuvvetlerinin hesaplanması mümkündür. Belirli bir yükseklikte toplam yatay hız vektörü

$$\vec{U} + \vec{u} = (U \cos \theta_c + u \cos \theta_w) \vec{i} + (U \sin \theta_c + u \sin \theta_w) \vec{j}$$

dir ve θ_c ve θ_w akıntı yönü ve dalga ilerleme yönü ile referans eksenindeki açılarıdır. Böylece herhangi bir yükseklikteki kuvvet vektörü Morison denklemi ile bulunabilir.



$$\vec{F}(y) = \frac{1}{2} C_D \rho A (\vec{U} + \vec{u}) U^2 + u^2 + 2Uu \cos(\theta_c - \theta_w)^{1/2} + C_M \frac{D}{L} \cos \theta_w + \frac{Du}{Dt} \sin \theta_w \vec{j} \dots (15)$$

Atalet kuvveti, sürüklenme kuvvetinden küçük olursa kuvvet vektörünün yönü kolayca bulunabilir.

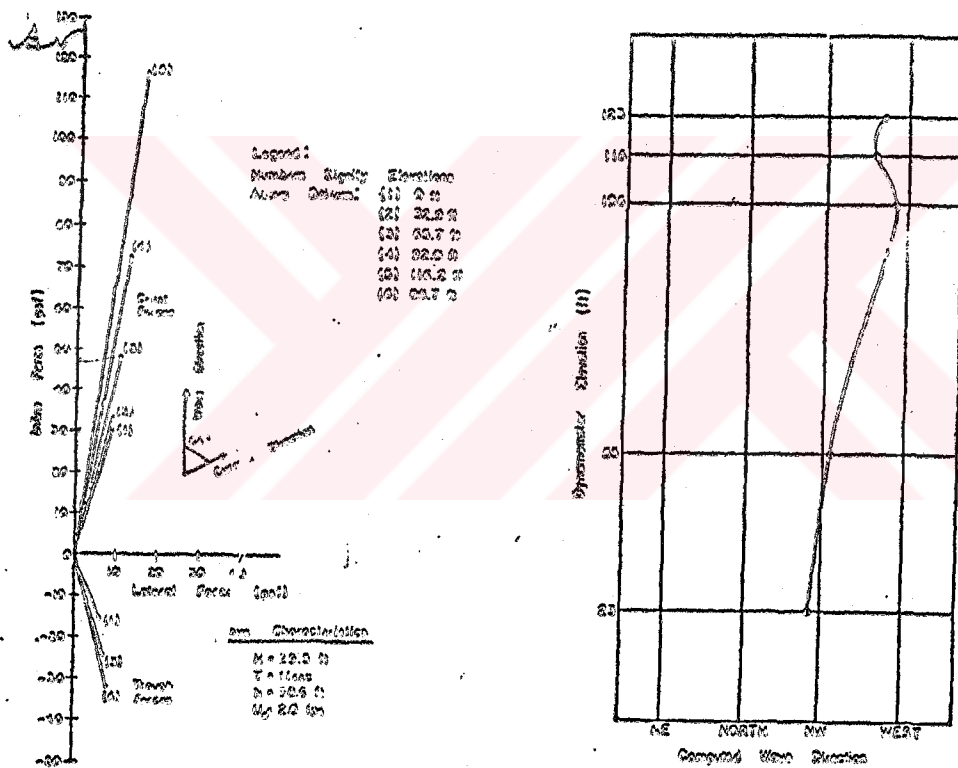
$$\theta_F(y) = \tan^{-1} \left(\frac{U \sin \theta_c + u \sin \theta_w}{U \cos \theta_c + u \cos \theta_w} \right) \dots (16)$$

Kuvvet vektörünün yönünün yükseklik ve dalga fazının bir fonksiyonu olduğuna ve akıntı ile dalganın sebep olduğu hareketlerin hızlarının izafi büyüklüklerine bağlı olduğuna dikkat ediniz.

dalga kuvvetinin yükseklikle yönünün değişmesine bir örnek olarak "Dalga Projesi II" den elde edilen büyük dalgaların karakteristiklerini teorik bir dalga ve bu dalga yönü ile saat ibresi yönünde 66° lik açı yapan 2 ft/sn lik bir akıntı ele alınmıştır. Bu akıntı yönüne burada hat içi (inline) yönü adı verilmiştir. 3.71 ft lik çapa sahip bir düşey elemanın (değişik) yüksekliklerde) ft² si üzerine gelen kuvvetler gösterilmiştir. Tepe pozisyonunda dalga hareketi akıntıya baskındır ve kuvvet vektörü inline yönüne daha yakındır. Özellikle dalganın sebep olduğu hızların (13.9 ft/sn, 2 ft/sn lik hıza kıyasla) oldukça büyük olduğu yüzeyde, durum bu şekildedir. Yüzeyle taban arasında kuvvet vektörlerinin yönünde 8° lik bir değişme söz konusudur. Dalga içerisindeki diğer faz pozisyonları için kuvvet vektörlerindeki (yönde) değişiklik 71° dereceye ulaşır. Maksimum kuvvetler büyük ölçüde sürüklenme tesiri ile oluşurlar. ŞEKİL II-8

2 ft/sn lik akıntı dalga ile 66° lik açı yapmayıp, aynı yönde olsaydı düşey eleman üzerindeki azami kuvvet % 12 daha büyük ve dalga yönünde olurdu. Diğer taraftan 2 ft/sn lik akıntı dalga yönünde 0.80 ft/sn olarak etkir. Bu akıntı ile dalga kolineer olsaydı azami kuvvetlerde % 2 den daha az bir değişme olurdu. Bu nedenle sürüklemenin baskın olduğu küçük bir akıntı hali için, dalganın modifiye edilmesinde akıntının inline bileşeni en tesirli etkindir. Halbuki lateral bileşen büyük ölçüde kuvvet vektörünün yönünü değiştirmette etkilidir.

Hiç akıntı olmasaydı düşey elemandaki kuvvet yüklemesi 2 ft/sn lik akıntıyla, dalga yönüne için ölçülenden yaklaşık %14 daha küçük olurdu. 2 ft/sn lik akıntı olmaksızın dalga kuvvetinin lineer süperpozisyonu, artı akıntının doğurduğu kuvvet ilavesi şeklinde Sekita (1975) tarafından önerilen bir prosedürün, kuvvette %21 lik bir hataya sebep olacağına dikkat çekilme-lidir. Ancak sonuç şudurki, sürüklenme kuvveti toplam yatay hızın karesine bağlı olduğundan kuvvetler teker teker toplanamazlar.



ŞEKİL II.8 Dalga-akıntı müsterek kuvveti ve yön tesiri



Dalganın geçmesi ile, kuvvet yükleme vektörünün yönündeki değişiklik proje mühendisinin dikkat etmesi gereken bir husustur. Bu, şu iki sebep yüzünden gereklidir. Birincisi dalga kuvvet tasarımı hususundaki meselâ düşey elemanın tüm uzunluğu boyunca etkili olan vorteksin, yükseklikle değişen hız vektörleri tarafından muhtemelen mani olunması ve böylece kuvvet katsayısı - rında değişiklik oluşmasıdır. İkincisi ise, bu düşey elemanlara oturan bir platform yapısı üzerine gelen yüklemenin (faz farklarına veya iç akıntılarının değişik yönlülüğü gibi sebeplere bağlı olarak), proje dalgası yönünde yönlene- mayip zaman ve yükseklikle değişken olmasıdır.

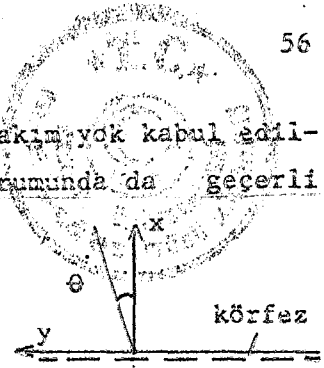
II. dalga projesi verilerinin kıyı ve okyanus mühendisliği laboratuvarların - daki analizinde, kuvvet vektörlerinin yönlerinin yükseklikle değiştiği ve azami kuvvetliliğin her dalganın tepesi altında olduğu bulundu. Caria kasır- gası esnasında ölçülen 69 adet tek dalga üzerine ortalamanın alınması ile, dalga tepesi altındaki azami kuvvetlilik ortalama yönünde, yükseklikle bir değişme olduğu bulundu.

S o n u ç l a r : Sürüklenme kuvvetleri bir akıntının varlığı dikkate alınmadan elde edildiklerinde gerçeğinden daha büyük olurlar; akıntının etki- leri, akıntının azami su partikül hızına göre rölatif büyüklüğüne bağlıdır. Daha iyi akış ölçme cihazlarının yapı elemanını çevreleyen hız ve ivmeleri belirlemede kullanılan doğru katsayıları verebilir.

Dalga yönünden başka yönlerde akan akıntılar yapılar üzerinde azalmış dalga yüklemesine sebep olurlar. Sürüklemenin baskın olduğu hallerde nisbe- tenküçük akıntılar için, dalga formunun modifiye edilmesinde ve toplam kuv- vetlerin artırılmasında veya duruma göre azaltılmasında akımın inline yönü önemlidir. Bu yönün tesbitinde Dean ve Aagard (1969) tarafından kullanılan ve azami kuvvetlilik yönü olarak adlandırılan prosedür kullanılabilir.

II.2.9.2 4 : "Longshore Currents With Wave-Current Interaction", Robert A. Dalrymple, (1980), I 55 I. Sahile dik olmayan bir açı yaparak kırılan dal- galar tarafından oluşturulan uzun sahil akıntıları körfez erozyonunda önemli bir rol oynarlar ve böylece sahil mühendisliği için önemli bir ilgi alanı o- luştururlar. Bu akımlarla ilgili bilimsel çalışmalar Bowen, Thornton, Longu- et-Higgins ve James'in momentum akışı yöntemi ile yaptığı çalışmalardan son- ra hızla çoğaldı. Bu konuda en çok kullanılan formül muhtemelen yatay çal- kantı viskozitesi (horizontal eddy viscosity) nin bulunmadığı sahil hattında sahile küçük açı yaparak gelen dalgalar hali için geliştirilmiş bulunan Lon- guet-Higgins formülüdür. Bu makale yanal karışmanın bulunmadığı hal için, düzlem körfezler üzerine uzun sahil akıntıları tarafından dalgaların refrak- syonu ve yukarıdakinden daha büyük açı ile gelen dalgaların tesirini ince-

lemek için ele alınmıştır ve x doğrultusunda önemli bir akım yok kabul edilmiştir. Makalede bu formülasyonun θ açısının büyümesi durumunda da geçerli olacağı belirtilmektedir. Ayrıca tabana uygulanan kuvvetin derinsu bölgesindeki değerinin kırılma hattında da aynı olması gerektiği belirtilmektedir.



II.2.9.2.5 : "Waves of Maximum Height on Uniform Currents", Robert A. Dalrymple, Robert G. Dean, (1975), I 56 I : Bu makalede belirli bir su derinliğinde, bilinen bir T periyodlu bir dalganın üniform, sabit bir akıntı üzerine ilerlemesi halinde, azami dalga yüksekliğinin hesabı için bir formülasyon verilmektedir.

Dalgalar tabiatta genellikle rüzgar, gelgit veya gravite gibi sebeplerle oluşan akıntılar üzerine ilerlerler. Uzun sahil yapıları ile ilgili mühendis için h derinlikli bir sudaki akıntı üzerine, verilen periyodlu bir dalganın maksimum yüksekliğinin bilinmesi önemlidir. En basit halde sabit, yavaş ve üniform bir akıntı için maksimum dalga yüksekliği, üniform bir akıntı üzerine T periyodu ile ilerliyen bir dalga ile aynı derinlikli bir durgun suda T periyodu ile ilerliyen bir eşdeğer dalga münasebet kurularak belirlenir. T akıntı varlığındaki dalga periyodudur. Dalga yüksekliğinin bu şekilde bulunması için bir çok laboratuvar ve saha çalışması ile teorik araştırma mevcuttur. Burada boyutsuz maksimum dalga yüksekliği (H_B/L_0) ile h/L_0 rölatif su derinliğine bağlı olarak verilen bir kırılma eğrisi kullanılarak, bir azami dalga yüksekliği hesaplama tarzı verilmektedir. L_0 , küçük genlikli teoriye göre (Airy) bulunan derinsu dalga uzunluğudur.

II.2.9.2.6 : "Interaction of Random Waves and Currents", T. S. Hedges, K. Anastasiou, D. Gabriel, (1985), I 57 I : Bu makalede rasgele dalgalar üzerine üniform, kararlı akıntılarının tesirleri ve bu hal için su partikülü kinematığı incelenmiştir. Dalgalarla akıntılar arasındaki ilişkiyi ilk olarak doğru bir şekilde ortaya koyan Longuet-Higgins ve Stewart'dır. Dalgalar dalga ve akıntı arasında bir enerji değişiminin varlığını ortaya koydular ve bununla ilgili olan yayılma basıncı terimini tanıttılar. Akıntı yönü pozitif yani her ikisi de aynı yönlü iseler olayın anlaşılması daha kolaydır. Fakat akıntı yönü negatif ise olay daha karmaşıktır ve ileri seviyedeki dalga kırılması için sebeptir. Akıntı varlığında dalga ortogonalleri ile dalga ışınlarını ayırmak gerekir.

Daha sonra Bretherton ve Garrett I 54 I dalga aksiyonu dedikleri bir büyüklüğe dikkati çektiler. Lineer dalgalar için dalga hareketi, (dalga enerjisi)/(akıntıya göre dalga frekansı) na eşit olur. Bu tanım dalga akıntı ilişkisinde bazı matematiksel basitleştirmeleri içerir. Böylece, yayılma ba-



sıncı terimini içeren komplike çözümler yerine, yine enerji transferine mütasade eden basit çözümler mümkün hale gelir.

Bu çalışma ile zıt yönlü akıntılarla, belirli ve düzenli bir şekilde olmayan tesadüfidalgalar için 15.25 x 0.6 m boyutlu bir deney kanalındaki 0.45 m yükseklikli suda yapılan testlerden alınan neticelerle, sonuçlar mukayese edilmiştir.

Sonuç olarak, bu makalede akıntılar tarafından oluşturulan serbest yüzey yer değiştirmelerinin, varyans spektralarındaki değişimleri tahmin için bir teori anahtarları ile verilmektedir.

II.2.9.2.7: "Effects of Currents on Waves", Barry A. Herchenroder, (1980), I 58 I : Yatay bir akıntı yüzey ağırlık (gravity) dalgalarını birkaç şekilde değiştirebilir. Bunlardan biri dalganın uzunluğunda oluşan değişimdir. Bir akıntı, bir dalga silsilesini lokal olarak uzatabilir veya kısaltabilir. Bu çarpılma dalga periyodunun karakterinde bozulma (doppler shift) oluşturur. Netice olarak hareketsiz bir gözlemci, lokal dalga hızı ile hareket eden bir gözlemciden farklı bir periyod ölçer. İyi bir yaklaşımla, akıntı ile değişmemiş bir dalganın (monochromatic) periyodu, hareketsiz bir koordinat sisteminde sabittir. Yerel akıntı hızı ile hareket eden bir gözlemciye göre bu dalganın ölçülmüş periyodu, değişen akıntı ile birlikte zaman içinde ve her noktada değişir.

Akıntı tesiri ile dalga ortogonalı, kret ve ışın doğrultusu da değişir. Ortogonal, dalga tepelerine dik hattır. Işın ise lokal grup hız vektörüne dik olan hattır yani lokal dalga enerji akışı doğrultusuna teğettir ve akıntı yokken ışınlar ortogonallere paraleldir. Bir akım mevcut olunca ortogonaller, tarif olarak lokal tepe doğrultusuna dik durumdadır. Fakat akım ile dalga aynı yönde ilerlemedikçe ortogonallere paralel değildirler.

Bir akıntının, yüzey dalgalarını değiştirmesinin bir diğer yolu, dalga ve akıntı arasında enerjinin değişimi sebebiyle dalga enerjisinin değişmesidir.

Bir değiştirme dalga basınç alanında da vuku bulur. Bu değişim, eğer mevcut akıntı hesaba katılmadıysa, dalga karakteristiklerinin ölçümünde hissedilir bir hata kaynağı olabilir. Özellikle, eğer yüzeydeki dalganın yüksekliği ve uzunluğunu belirlemek için, taban basınç ölçümleri kullanılmış ise, bazan önemli bir hata ortaya çıkabilir. Akıntının değiştirdiği dalga enerjisi, yüksekliği, doğrultusu ve basınçlarının tahminine genellikle nüme, rik, kompleks modeller ve bilgisayar programları dahil edilir. Bu tür program ve modeller henüz gelişme safhasındadır. Bunun yanında, rölatif olarak kolay, kullanışlı ve bilgisayarlı olmayan hesaplamalar verilebilir. Bu rapor

a) Dalganın akıntı ile değişen uzunluğunu, b) Bir akıntının, bir dalgayı öz-
zel bir yere ulaşmadan durdurup, durduramayacağını, c) Dalga yüksekliğinin
belirlenmesinde taban basıncı ölçümleri kullanıldığında, akıntının mevcudî -
yeti için düzeltme ve d) Dalga yüksekliği ölçümünde, bu basınç ölçümleri a-
lındığında akıntının ihmal edilebileceği periyod değerlerini belirlemek için
formülasyon takdim eder.

Akıntı yokken dalga uzunluğu L_a için formül:

$$\frac{2\pi}{T^2 g} = \frac{1}{L_A} \tanh\left(\frac{2\pi d_T}{L_A}\right)$$

Akıntı varlığında dalga uzunluğu L_v için formül:

$$2\pi \frac{(1/T) - (V \cos \theta / L_v)^2}{g} = \frac{1}{L_v} \tanh\left(\frac{2\pi d_t}{L_v}\right)$$

Durma hızı için formül:

$$V_{ST} = F_M \cdot (g d_t)^{1/2}$$

Burada d_t zaman ortalamalı su derinliği ve F_M Froude sayısı olup, alacağı
değerler tablo ile verilmektedir. d maddesi için verilen formül ise aşağıda-
dır.

$$F = \frac{V L \cos(\theta_s)}{(g d_t)^{1/2}}$$

II.2.9.2.8 : "Estimation of Fluid Loading on Offshore Structures", N.
Hogben, B. L. Miller, J. W. Searle, G. Ward, (1977), I 31 I : Bu çalışma bir
literatür derlemesi olup, dalgalar ile ilgili kısımları EK-II de verilmiştir.
Müşterek hal için ise aşağıdaki hususlar yer almaktadır.

Akıntının silindirden öteye vortisiteyi süpürmesi sebebiyle, bir akıntı
varlığı muhtemelen C_D ye tesir etme ve C_M ye tesir etmeme şeklinde görülür.
Dalga doğrultusuna yaklaşık paralel bir akıntı durumunda, hem Reynolds sayı-
sı ve hemde Morison denkleminin kullanımı için, akıntı hızının vektörel ola-
rak dalga partikül hızına ilave edilebileceği ileri sürülür. Böyle bir akım
varken, esa sen Keulegan-Carpenter sayısının sürüklenme ve ataletin rölatif
şiddetinin ölçüsü olması sebebiyle, Keulegan-Carpenter sayısının yorumu ve
değerlendirilmesi belirsizdir. Bir çok durumda vektörel toplamın kullanılma-
sı önerilmiştir. Dalrymple teorik bir araştırmada, derinsuda, bu yaklaşım
kullanılarak hesaplanan sürüklenme kuvvetinin muhafazakâr olacağı fikrini il-
eri sürmüştür. Dalga doğrultusuna yaklaşık çapraz olan akıntılar için, durum
belirsizdir ve dalga yörünge hızları ile akıntının nasıl birleştirileceği ko-
nusunda hazır bilgi yoktur.



II.2.9.2.9 : "Water Particle Velocity in Wave-Current System" by T. Asano, (1980), I 59 I. Eğitim Bakanlığı ilmi araştırma fonundan desteklenen bu çalışma bir dalga-akıntı sisteminde hot-film anemometresi kullanılarak deneysel yolla su partikülü hızlarının karakteristiklerini incelemek , ayrıca müşterek ortalama metodu ve nümerik filtre motodu yoluyla ölçülmüş a- ni hızlardan türetilmiş olan hız ve türbülans karakteristiklerini tartışmak- tadır.

İlk olarak bir dalga-akıntı sisteminde mevcut dalga teorilerinden he- saplanmış değerlerle, ölçülmüş ortalama hızları mukayese etmek ve teorilerin tatbik kabiliyetini araştırmak düşünüldü. Bu konudaki iki deneysel halde- biri teorik sonuçlarla iyi uyum gösterdiği halde, diğeri için bir miktar farklılık görüldü.

Sahil mühendisliğinde, salınımlı bir akımda sedimantasyon ve difüzyon problemi için çok önemli olan türbülans karakteristikleri konusunda, bugün için yeterli bilgi yoktur ve şümulü bir çalışma gereklidir. Salınımlı akımda türbülansın tanımı yeterince açık olmadığından, bu çalışma ile ölçülmüş veri- lerden türbülansın elde edilmesi için, bir nümerik filtre metodu, birde müş- terek ortalama metodunun denenmesine çalışıldı ve sonuçta nümerik filtre me- todunun, diğlerinden daha uygun olduğu görüldü. Bu metoddan elde edilen tür- bülans salınıminin, dalga hareketinin periyodunun aynısı periyodla değişti- ği açık olarak görüldü. Türbülans yoğunluğu ile, dalga fazı arasında ise aşı- kâr bir ilişki elde edilemedi.

Sonuç olarak, burada sadece iki deneysel hal ve hot-film anemometresi ile yapılan bu çalışmanın bir çok hale yayılması ve diğeri tip anemometreler- le de yapılarak hızların belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, yüzeyin ve ta- banın yakınında anemometrenin şekli ve mekanizmasından dolayı ölçüm yapıla- madı. Her iki bölgede su partikülü hızı için geniş kapsamlı bir çalışma, sa- hildeki sürüntü maddesi olayı ve akıntı sebebiyle dalga kırılması olayı yü- zünden çok önemlidir. Fakat bunlar da geleceğin problemi olarak sonraya bi- rakılmıştır.

II.2.9.2 10 : "Bottom Frictional Stresses and Longshore Currents Due To Waves With Large Angles of Incidence", P. L. F. Liu, R. Dalrymple, (1978), I 60 I. Bu makalede zamana göre ortalaması alınmış taban kayma basıncı için analitik formlar geliştirilmiştir ve dalga ve akıntı doğrultuları arasındaki açıının etkileri incelenmiştir. Dalga yövrünge hızı ve akıntının rölatif şid- detleri üzerine oturan iki farklı sürtünme modeli elde edilmiştir. Bu iki sürtünme modeli, dalgalar tarafından üretilmiş uzun sahil akıntılarına uygu- lanmıştır. Bu akıntılar zayıf ve kuvvetli akımlar olarak ele alınmıştır. İn-

celemeye yanak karışma dahil edilmemiş ve sahil tabanı münhanilerinin düz ve sahile paralel olması esas alınmıştır. Kuvvetli akıntı modeli için güzel bir mutabakat elde edildi. Sonuçta bu iki teorinin geçerlilik bölgeleri dalgaların açısı, sahil tabanının eğimi ve taban sürtünme katsayısı faktörlerine bağılı olarak bir grafikte verilmektedir.

II.2.9.2.11 : "The Changes in Amplitude of Short Gravity Waves on Steady Non-Uniform Currents", M. S. Longuet-Higgins, R. W. Stewart, (1960), I 53 I. C. dalgaların grup hızı, U lokal akıntı hızı olmak üzere, üniform olmayan bir akıntı üzerine ilerleyen dalga enerjisinde, fazla bir girişimin olmadığı yaygın fikri varsa da yanlış olduğu bu makale ile görülmektedir.

Burada ilk olarak üniform olmayan akıntının dalga ile aynı yönde olduğu ve hızın yatay bileşeninin dengelendiği basit halde, birinci örnek olarak birleştirilmiş hız potansiyeli için bir asimptotik çözüm elde edilmektedir.

Akıntı ile değişen dalga karakteristiklerinden uzunluk ve doğrultu değişimleri için, oldukça genel bir prosedür olan ve meselâ Ursell (1960) tarafından teklif edilen gibi bir usul kullanılabilir. Fakat dalga genliğindeki değişme daha az açıktır. Dalga genliğindeki bu değişimin bir yayılma basıncı terimi vasıtasıyla bulunabileceği görülmektedir. Bu terim dalga ve akıntı arasında bir enerji transferi terimidir ve değeri meselâ derinsuda dalga enerjisinin yarısı olarak verilmektedir ($S_x = 1/2 E$).

İkinci örnek olarak, akıntı yine birinci örnekte olduğu gibi x doğrultusunda, fakat U akıntı hızındaki yatay değişme birincide olduğu gibi alttan yükselen bir akım vasıtasıyla değilse, yandan bir küçük yatay iç akım ile dengelenmiştir. Bu halde ise, dalga amplitüdünün, kenardan dalga enerjisinin yatay adveksiyonu ile de etkiendiği bulunmuştur.

Bu iki örnek halinden kısa dalgalarla, üniform olmayan akıntılar arasındaki girişimin genel kanunu elde edilebilir. Bunlar, dalganın düşey kayma eksenli bir akıntı ile eğik bir açıda karşılaşması örneğine de uygulanmalıdır. Bu halde dalga amplitüdündeki değişimin önceden kabul edilenden farklı olacağı görülür.

Sonuç şudurki, üniform olmayan bir akıntı girişi ile dalgaların hidrolik ve pnömatik dalgakıranları üzerine olan etkileri artar.

II.2.9.2 .12 : "Friction Coefficient for a Wave-Current Coexistent System", (1981), I 61 I. Bu makalede bir dalga-akıntı sisteminde pürüzlü ve pürüzsüz deniz yatakları üzerine etkiyen sürtünme katsayısı için formülasyon verilmektedir. Bu formüller toplam su derinliğinin pürüzlülük yüksekliğine oranı, tabanda potansiyel dalganın su partikülü hızının amplitüdünün düşeyde ortalaması alınmış akıntı hızına oranı, dalga hareketi altında su partikülünün gezinti hareketi uzunluğudur.



Ayrıca pratikte karşılaşılan değerlerle f_{cw} için elde edilen değerler 5 adet grafikte gösterilmiştir.

II.2.9.2.13 : "Dalga-Akıntı Etkileşiminin Açık Deniz Yapılarının Tasarımındaki Yeri", T. Sümer, (1986), I 62 I. Bir literatür derlemesi şeklinde sunulmuş olan bu makale akıntılar ele alınarak metcezir, rüzgar, yerel, yöresel ve karışık akınlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu akıntılar için derinlikle değişim profilleri ve yüzeydeki hızlar belliysen, hızın çeşitli derinliklerde alacağı değerler için literatürden abaklar aktarılmıştır ve akıntı kuvveti hesabı verilmiştir.

Ayrıca yerel ve yöresel akıntılarla dalga boyunda ve yüksekliğinde değişme olduğu, periyodun sabit kaldığı ifade edilerek dalga uzunluğundaki değişme için formül verilmektedir.

II.2.9.2.14 : "Forces on Horizontal Cylinder Towed in Waves", C.C. Teng J.H. Nath, (1985), I 63 I. Oregon Devlet Üniversitesinde Milli Bilim Vakfı tarafından desteklenerek gerçekleştirilen bu çalışma dalgalar içindeki bir yatay silindirin akıntı tesiri doğurmak maksadıyla çekilmesi suretiyle dalga ve akıntı tesiri ile oluşan kuvvetleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Burada borunun kendi boyuna eksenini doğrultusunda çekilerek (towing) boru eksenini üzerinde akıntı tesiri doğurabileceği ifade edilmektedir. Deneyler 10.4 m uzunluk ve 3.65 m genişlikli bir havuzda 4.57 m derinlikli bir su içinde 22 cm çaplı ve 2.65 m uzunluklu bir yatay silindir ile yapılmıştır. Kuvvet dinamometre ile ölçülmüştür. Çekilme hızı 0.6 - 0.9 ft/sn dir. Deneyler pürüzlü ve pürüzsüz silindirler üzerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Dalgaların periyodu 2.5 - 6 sn, yüksekliği 0.24 - 1.43 m idi.

Deneyler sonucunda pürüzlü silindirler için C_D ve C_M katsayılarının daha büyük olduğu görüldü, yine bu hal için katsayılar da bilinmeyen sebeplerle bilhassa C_D değerinde sapmalar görülmüştür. Akıntı varlığı sürükleme kuvvetlerini atalet kuvvetlerine karşı arttırmaktadır. Akıntı yeterince büyükse atalet bileşeni ihmal edilebilir ve sürükleme kuvveti toplam kuvveti temsil edebilir. Bu halde sürükleme katsayısı kararlı akım değerlerine yaklaşır. Dalgalar veya dalga artı akıntı halinde yatay silindirler için C_D , C_M katsayıları düşey silindire ait C_D ve C_M değerlerinden daha küçüktür. (Bu çalışmada test adedinin azlığı dikkati çekmektedir.)

Burada Morison denklemi kullanılmıştır, fakat sadece yatay hız değil düşey hızda dikkate alınarak denklem modifiye edilmiştir.

$$\bar{F} = \bar{F}_D + \bar{F}_I = C_D \rho \frac{1}{2} \cdot D \bar{q} \bar{q} + C_M \frac{\rho D^2}{4} \bar{q}'$$

Burada $\bar{q} = \bar{u} + \bar{w}$ ve $\bar{q}' = \bar{u}' + \bar{w}'$ dır

II.2.9.2.15 "Combination of Waves and Currents : an Introduction", T.S. Hedges, (1987), I 64 I : Bu makale akıntı varlığında dalganın davranışı üzerine yeni gelişmeleri ele alan bir literatür çalışmasıdır. Konuyla ilgili proje mühendisine yardımcı olmak amaçlanmıştır. İncelenmiş konular başlıkları üniform bir akıntı üzerine ilerleyen dalganın tanımlanması ve buradaki su dâvecik hareketi, dalga yüksekliği ve uzunluğunda oluşan değişimler için formüller, ölçülmüş yüzey altı basınçları yorumu, akıntı etkisindeki dalga refraksiyonu ve spektrumu üzerine akıntının etkisidir.

II.3 DALGA-AKINTI KONUSUNDAKİ MEVCUT ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Özetlerin incelenmesinden görüleceği gibi, bunlar öncelikle teorik çalışmalardır, deneyle gerçekleşmeyi bekledikleri ifade edilmektedir ve genel halleri içine almaktadır I 30, 51,52 I.

Bu incelemelerle bazı noktalar ortaya konulmuştur, ancak mühendislik maksatları için yeterli çözümlere henüz ulaşılamamıştır. Zaten bu noktada dalgalar bile henüz tümüyle halledilmiş değildir. Dalga artı akıntı halinde, akımınkomplike tabiatı boruya gelen kuvvetin tam olarak anlaşılmasını engellemektedir I 32 I.

Görüldüğü gibi, dalga artı akıntı hali için özel olarak teklif edilmiş bir kuvvet hesaplama yöntemi yoktur. Ayrıca bu hal için bağımsız hesaplama yöntemleri geliştirilmesinede gerek olmayabilir. Dalga hali için kullanılan metodlar burada da kullanılmak üzere modifiye edilebilir ve özel şartlar ayrıca ele alınabilir. Bugüne kadar yapılmış çalışmalarını da bu şekilde değerlendirmek kabildir. Gerçekten bunlar, esas itibariyle projelendirme işinde kontrol ve tahkikişine yarayacak özellikte çalışmalar niteliğindedir. Temel büyüklükler olan H, L, T nin kontrol ve tesbiti yapılabilir ve özel veyakritik durumlar bunlarla değerlendirilebilir.

Çalışmaların ağırlığı etkileşim ile ilgilidir, hız ve ivmeler için formüller teklif edilmektedir. Fakat bu halde azami dalga veya projedalga yüksekliği bilinse bile, dalga kuvveti hesabı için -meselâ hız konusunda- hangi prosedürün uygulanacağı belli değildir. Deneysel çalışmalarda ise ağırlık kuvvetin bulunmasına değil, dalga karakteristiklerinin ortaya konulmasına yöneliktir.

Bunlar dışında, bir açı ile karşılaşan dalga ve akıntı için bilgi pek azdır.

Sonuç olarak dalga akıntı müsterek hali yeni bir konudur (genelde 1974 sonrası), ağırlıklı olarak girişimi ele almaktadır, kuvvet hesabı için özel inceleme yoktur, bu nedenle çalışmaya açık ve uygun bir konudur. Bu hal için özel kuvvet hesaplama yöntemleri gerekmede dahi mevcut metodların bu maksatla tetkiki uygun olacaktır.



Ancak, bu bölümde belirtilen kuvvet hesaplama yöntemlerinin genel maksatlı metodlar olduğu unutulmamalıdır. Proje mühendisinin genel alışkanlıklarına uygun, belirsizlikleri az ve az sayıda başlangıç verisini gerektiren kolay uygulanan metodlardır. Bu durumda, bunların her türlü özel hali içine almaları beklenemez. Şimdilik dalga ve akıntı müşterek hali çalışmaları, özel hallere ışık tutucu, kritik projelendirme şartlarını ortaya çıkarıcı mahiyette iş görebilecek seviyede çalışmalardır.



DENEY DÜZENEGİ

III.1 GENEL

Bu tezdeki deney Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiş olup, bu bölümde deneyin yapıldığı sistem ve havuz ve dalga üreticisi gibi parçalar ile dalga karakteristiklerinin ölçümleri ve verilerin elde edilmesi hakkında bilgi verilerek deney düzenegi ve deneyin yapılaş şekli tanıtılacaktır.

Buna geçilmeden önce şu hususun belirtilmesi yerinde olacaktır. Deney düzeneginin en büyük özelliği, küçük ölçekli olmamasıdır. Böylece, ölçek etkilerinin olumsuz etkilerinden elden geldiğince kurtulmuş olmaktadır. Bu noktanın önemi ilk bakışta hissedilenden daha büyüktür ve küçümsenmeyecek seviyededir. Nitekim konu üzerine önde gelen araştırmacılarından biri olan Dalrymple küçük ölçekli deney düzeneklerinden elde edilen verilerin güvenilir olabileceğini kuvvetle vurgulamakta, fakat buna rağmen bu türden çalışmaların devam ettiğini ifade etmektedir I 30 I.

Bu bakımdan, tezdeki deney setinin ve özellikle deney borusunun büyüklüğü bu çalışmanın başta gelen özelliğidir. Bu ölçekte büyük bir boru ve deney seti ile yapılmış bir laboratuvar çalışmasına literatürde rastlanılmamıştır.

III. 2 DENEYİN GERÇEKLEŞTİRİLDİĞİ LABRATUVAR

Bu laboratuvar hidrolik ve çevre anabilim dallarının ihtiyaçlarını karşılamak üzere planlanmış olan bir laboratuvardır. Genel olarak şu kısımları ihtiva etmektedir. Bina ön cepheye üç katlı olarak inşa edilmiştir. Giriş katında kanallar salonu, deneylerde kullanılan suyun devretmesini sağlayan pompa dairesi ve bir küçük malzeme deposu bulunmaktadır. Orta katta teknik hizmetler ve ilgili bürolar ile anfi bulunmaktadır. Üst katta ise çevre laboratuvarı, öğretim elemanı odaları ve kitaplık yer almaktadır. Bu üst katın yukarısında bulunan çekme kat içerisinde de pompa dairesinden basılan suyun depolandığı, düzenlemesinin yapıldığı üst su deposu bulunmaktadır. Deney havuzunun bulunduğu kat hidrolik, su yapıları ve deniz yapıları ile ilgili deneyler yapılabilecek şekilde planlanmıştır. Halihazırda bir deney boruları seti, bir kanalet sistemi, bağlama, basınçlı sulama sistemleri için bir boru seti ve 12x30 m boyutlu bir deney havuzu ile donatılmış bulunmaktadır. Bunun dışında birde mekanik atölye bu salonda yer almaktadır. Salonun çalışılabilir boyutları 16x80 m dir. Laboratuvarda mekanik atölye dışında ahşap atölyesi, pleksiglas atölyesi, resim salonu, fotoğraf ve teksir atölyesi imkanları bulunmaktadır.

III.3 DENEY DÜZENEGİ

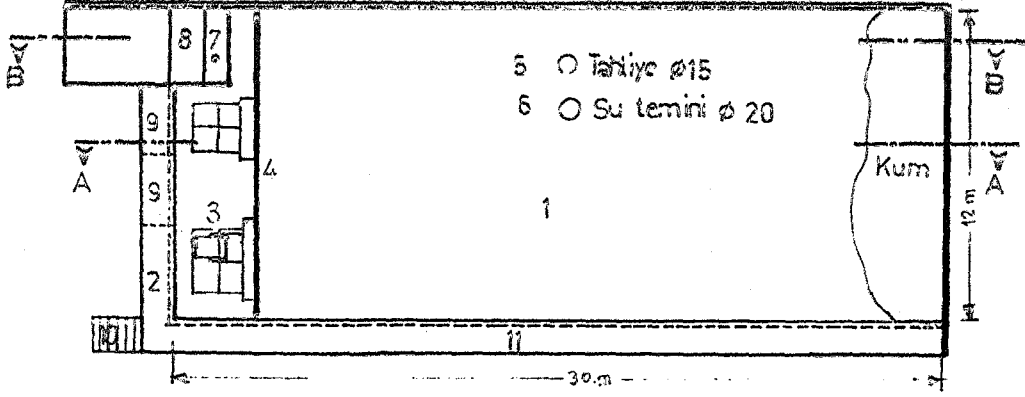
III.3.1 H a v u z : 16x80 mboyutlu büyük deney salonunun bir köşesinde inşa edilmiş bir havuz olup, boyutları 12x32x1,20 m dir. İnşa maksadı kayı ve liman yapıları veya sahil ve uzaksahil yapıları gibi genel amaçlar dışın- da, akıntılar ve kum hareketleri yönünden hareketli bir yapıya sahip bulunan Karadeniz kıyıları hakkında araştırma yapılabilmesini sağlamaktır. Bu mak- satları gerçekleştirebilmek için dalga ve akıntı ile çalışılabilir şekilde düzenlenmiştir. Şekil III.1

III.3.2 D a l g a Ü r e t i c i s i : Paletli tip bir üretici olup, paleti dönme ve ötelenme yapabilir şekilde projelendirilmiştir. Ötelenme ha- reketi 20 cm sabit değerde olup değişebilen frekanslıdır. Dönme hareketi ise 0 ve 30 dereceler arasında değiştirilebilmektedir. Ayrıca dönmenin frekansı da değişken olabilmektedir. Değişken frekans özelliği, paletin devrini sağ- liyan motorun devrinin değişken tutulması ile sağlanmıştır. Öteleme ve dön- me, paletin üst gerisine monte edilmiş bulunan ve motordan alınan gücü pale- te ileten, bir kutu düzenele sağlanmaktadır. Palet havuzun kısa kenar doğ- rultusunda ve bir miktar iç kısma olmak üzere duvara paralel olarak yerleş- tirilmiştir. Bu suretle palet gerisinde sıkışmanın önlenmesi, enerjinin ho- mojen dağıtılması ve daha düzgün dalga elde edilmesi sağlanmıştır. Yine ay- nı maksatla paletin ön yüzüne 10x75 cm boyutlu sac levhalar, palete dik ko- numda sabit olarak yerleştirilmiştir. Yüksekliği 80 cm olup, uzunluğu 12 m dir.

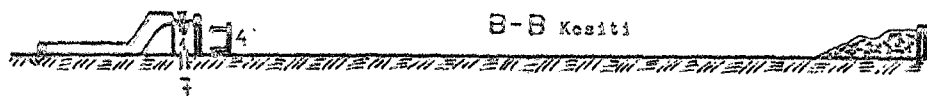
Bu sistemle sinüzoidal dalgalar ve kısmen karışık dalgalar elde edile- bilmektedir. Ancak değişken frekans temin edilebilmekle birlikte, motor gücü sabit olduğundan, önceden kararlaştırılmış bir programla değişken güç tatbik edilemediği için ikinci, üçüncü mertebe gibi istenilen özellikte dalga üre- tilmesi mümkün olmamaktadır.

Rahat bir çalışma imkanı sağlayabilen bu dalga üreticisi İstanbul'da i- mal edilmiştir. Şekil III.2

III.3.3 H a v u z a S u T e m i n E d e n S i s t e m : Havuzun suyu laboratuvar dışında, ön cephede ve zemin kat kotundan bir miktar aşağıda bulunan, iki gözlü ve 2000 ton luk bir depodan sağlanmaktadır. Buradan alı- nan su önce çekme kattaki 100 ton luk üst depoya, oradanda istenilen nokta- ya iletilmektedir. Bu iletim 250 mm lik borularla döşeme altından yapılmak- tadır. Havuza su temin edenler ise, biri havuzun ortasında ve diğeri havuza bitişik bulunan regülatör girişindedir. Deneyde akıntı temininde kullanılan su regülatör girişinden alınmıştır.

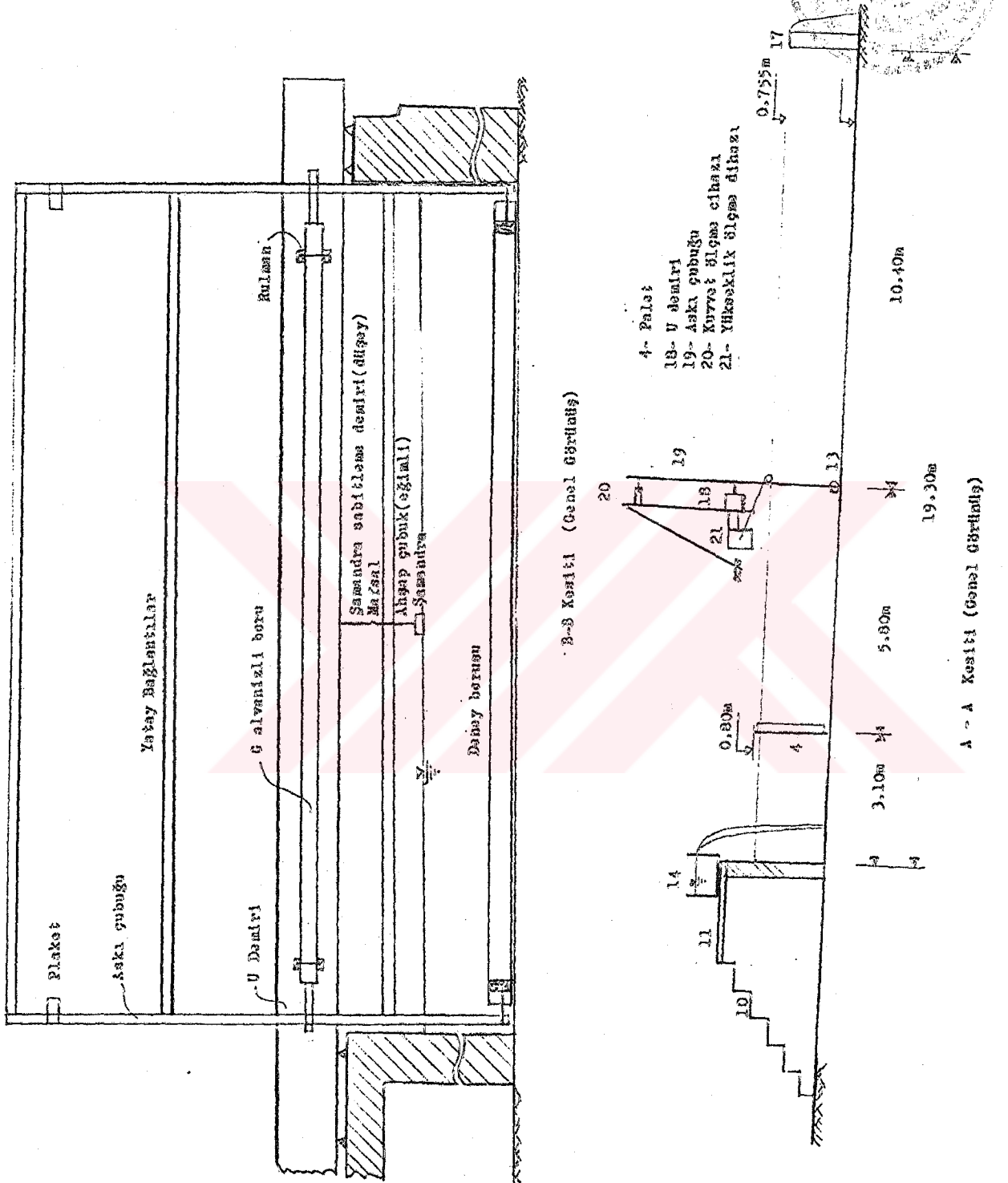


- | | |
|---|---------------------------|
| 1- Havuz | 6- Su temini beruau |
| 2- Dalga Üretici motorun
bulunduğu kısım | 7- Bağlama için su temini |
| 3- Dalga Üretici | 8- Bağlama |
| 4- Pole | 9- Kum vs. depeu |
| 5- Tahliye ağzı | 10- Merdiven |
| | 11- Gazinâti Koneselü |



ÖLÇEK: 1/200

ŞEKİL III.1 Havuz Plan ve kesitler



ŞEKİL III.3 Deney Havuzu Kesitler

III.3.4 D e n e y H a v u z u : Çalışmanın gerçekleştirildiği havuz esas deney havuzunun içinde oluşturulan 4.17x19.30 m boyutlu bir havuzdur. Bu boyutlar enine doğrultuda deney borusunun uzunluğuna ve paletin yapısına, boyuna doğrultuda ise dalga boylarına bağımlı olarak tesbit edilmiştir. Bu uzunluk dalgaların, dalga ilerleme yönünde rahatca teşekkül ettiği gözlenerek kararlaştırılmıştır. Bunun için ilk anda hazırlanan uzunluk yetersiz görülmüş ve tekrar uzatılmıştır. Şekil III.3

Havuzun yan duvar yüksekliği 120 cm dir. Ancak paletin karşısında bulunan ve akıntı suyunun havuzu terkettiği savaklanma duvarının yüksekliği 75.5 cm olarak inşa edilmiştir. Bu yükseklik, palet yüksekliği olan 80 cm ve savaklanma durumu dikkate alınarak belirlenmiştir. Bunun için savak görevi yapan hareketli bir tahta, değişik yüksekliklerde geçici olarak sabitlenerek birkaç yükseklik denenmiş ve uygun bulunan seviye sabitlenmiştir. Savaklanan su havuzun kullanılmayan kısmına açılmakta ve tahliye vanasından alt depoya geri dönmektedir.

III.3.5 D e n e y H a v u z u n d a D a l g a Ü r e t i m i : Yukarıda anlatılan dalga üreticisi 6 m lik iki akuple palete sahiptir. Deneyimizde kullanılan palet ise bunlardan birinin 6 m den 4.15 m ye indirilmiş halidir. Paletin uzunluğu 4.15 m ye yüksekliği değiştirilmeden indirilince paletin motordan aldığı güç sabit kaldığı halde tabrik alanı düştüğünden, birim alana uygulanabilecek olan kuvvet artmış (%45.5 kadar) ve böylece rahat bir çalışma imkanı doğmuştur. Böylece daha yüksek dalgalar ve daha uzun süreli çalışma fırsatı elde edilmiştir.

Üretilen dalgalar deney öncesinde ve kalibrasyon çalışmaları esnasında gözlenmiş ve çok değişken özelliklerde üretilebilecekleri görülmüştür. Dalga formu genellikle sinüzoidal olup, derinliğin azlığı sebebiyle H/L oranları düşük olmuştur. Bu, sinüzoidal dalga yanında soliter dalgaları da hatıra getirtmektedir. Elde edilen dalgaların birinci mertbe teorisi ile ifade edilebilecekleri kesindir. Havuzun tabanında yuvarlak ve ataleti az cisimlerle yapılan inceleme dalgaların, duran dalga niteliğinde olduğunu göstermiştir. Hernekadar, savaklanma sebebiyle bir kütle taşınımı kesin olmakla birlikte, taşınan kütle ile havuza giren kütle arasında bir denge teessüs etmiş olması dalgaların tabanda, duran dalga izlenimini vermesinin sebebi olarak yorumlanmıştır. Bu durumun ayrıca tabanda boru seviyesi civarında akıntı ile oluşan enerjinin, dalgadan doğan enerjiden daha büyük olmadığının işareti sayılması da gerekecektir. Ayrıca küçük yükseklikli dalgalarda, suyun taşıdığı enerjinin üst h/2 mesafede %95 mertebede yoğunlaştığı hatırlanırsa tabandaki enerji dağılımının yapısı dahada belirginleşir.

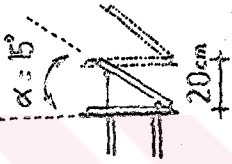
III.3.6 Akıntı Temin Eden Sistem: Deney havuzuna suyun iki noktadan alınabileceği bölüm III.3.3 de belirtilmişti. Deney için gereken akıntı suyu havuza bitişik regülatöre su temin eden 250 mm lik borudan alınmıştır. Çünkü, havuza özel olanı daha uzakta idi. İletim borusu da 250 mm lik olup akıntı tankının içerisinde nihayetlenmektedir. Borudan tankın içine suyun yüksekten dökülmesini önlemek ve enerjisini kırmak için brünün ucuna bir dirsek ve bir krepin eklenmiştir. Şekil III.4

Akıntının temininde esas tutulan nokta enkesit içinde her noktada homojen bir dağılımın gerçekleştirilebilmesi olmuştur. Böylece daha düzgün dalgalar elde edilmesi, boruya uygulanan kuvvetin düzgün ve eşit yayılı olması düşünülmüştür. Bu nun palet gerisinde meydana gelen enerjinin enkesit içinde düzgün bir şekilde kırılmasına da yardımcı olduğu fikrindeyiz.

Bunların temini için akıntı suyu havuz içerisine palet gerisinde savak enkesitinin tam boyunca, 4 m uzunlukta düşürülmüştür. Ancak bu halde, giren debinin sıhhatli bir şekilde tayini (c savak katsayısının tesbiti ve h savaklanma yüksekliğinin sürekli tesbiti gereği dolayısıyla) problemli olmuştur. Bunun üzerine, yine tam uzunluk boyunca fakat bölünmüş olarak düşürülmüştür. Bölmeler eşit aralıklarla kaynaklanmış bulunan köşebent demirleri ile yapılmış ve bu suretle debi ölçümü son derece basitleştirilmiştir. Ölçüm, her bölmeden çıkan suyun sabit yük altında tesbiti ile yapılmıştır.

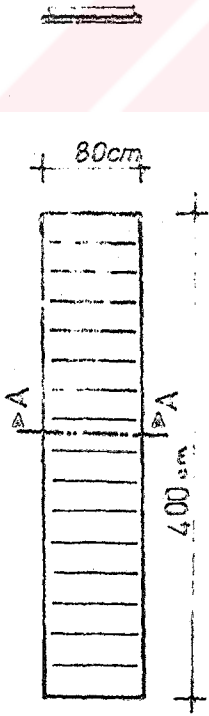
Akıntının miktarı, dalgaların büyüklüğü ve labratuarın imkanları dikkate alınarak belirlenmiştir. Akıntı permenan özelliklidir, bu üst depodan suyun fazlasının savaklanması ile sağlanmıştır. Pompa dairesindeki 100 lt/sn ve 50 lt/sn lik motorlar ile havuzda 140.67 lt/sn lik bir debi temin edilmiştir. Böylece 4.15 cm/sn lik bir ortalama akıntı hızı elde edilmiştir. Bu seviyedeki akıntı hızı deneylerde sabit tutulmuştur. Bu sabitliğin nedeni dalgaların büyüklüğü, denizde yakın sahildeki akıntı hızları ve labratuarın fiziki şartlarıdır. Bu debi, su iletim borusundaki vananın tam açık haline karşı gelmekte idi. Debinin artırılması üst depo ve tank arasında ilave bir hat döşenmesini gerektirmekte idi. Bu ise zor gerçekleştirilebilecek bir durumdu.

III.3.7 Deney Borusu ve Askı Sistemi: Deney borusu iç çapı 80 mm ve dış çapı 100 mm olan asbest dairesel bir borudur. Uzunluğu 400 cm olup, her iki ucu ahşap takozlarla kapatılmıştır. Bu takozlar borunun asıldığı civataları taşımakta idi. Deney borusu sabitlenmemiş olup, kuvvet karşısında yer değiştirebilir biçimde asılmıştır. Borunun aldığı kuvvet, bağlı bulunduğu düşey askı çubuklarına aktarılmaktadır. İki uçta bulunan bu çubukların burkulma veya çarpılma olmaksızın birlikte hareket edebilmelerini temin için, yatay bağlantı elemanları ile bağlanarak sistemin



ÖLÇEK: 1/50

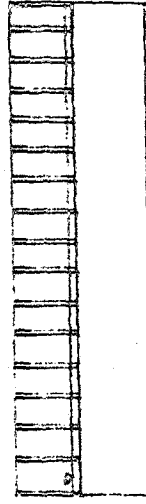
Hareket şekli



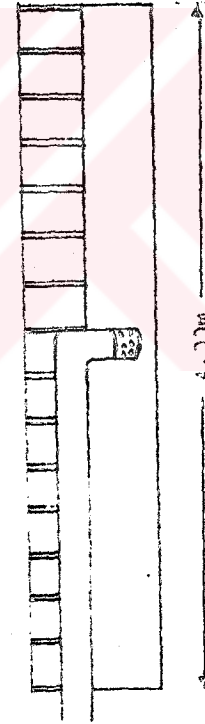
Kesit

Ön görünüş

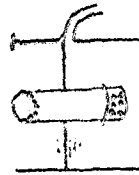
ŞEKİL III-2 Palet



Akıntı suyu dökülme yüzeyi:



boyuna Kesit



1.00

Enine Kesit

ŞEKİL III.4 Akıntı Suyu Tankı

rijitleşmesi sağlanmıştır. Şekil III.5

Askı çubuğu ve bağlantı elemanları ile birlikte deney borusunu taşıyan ana taşıyıcı iki adet U 200 demirinin kapalı bir kesit teşkil edecek şekilde bir araya getirilmesi ile elde edilmiştir. Bu suretle istenmiyen titreşimlere mani olunmuş oldu. Ayrıca, ölçme sistemi de bu titreşimsiz kesite monte edilmiştir.

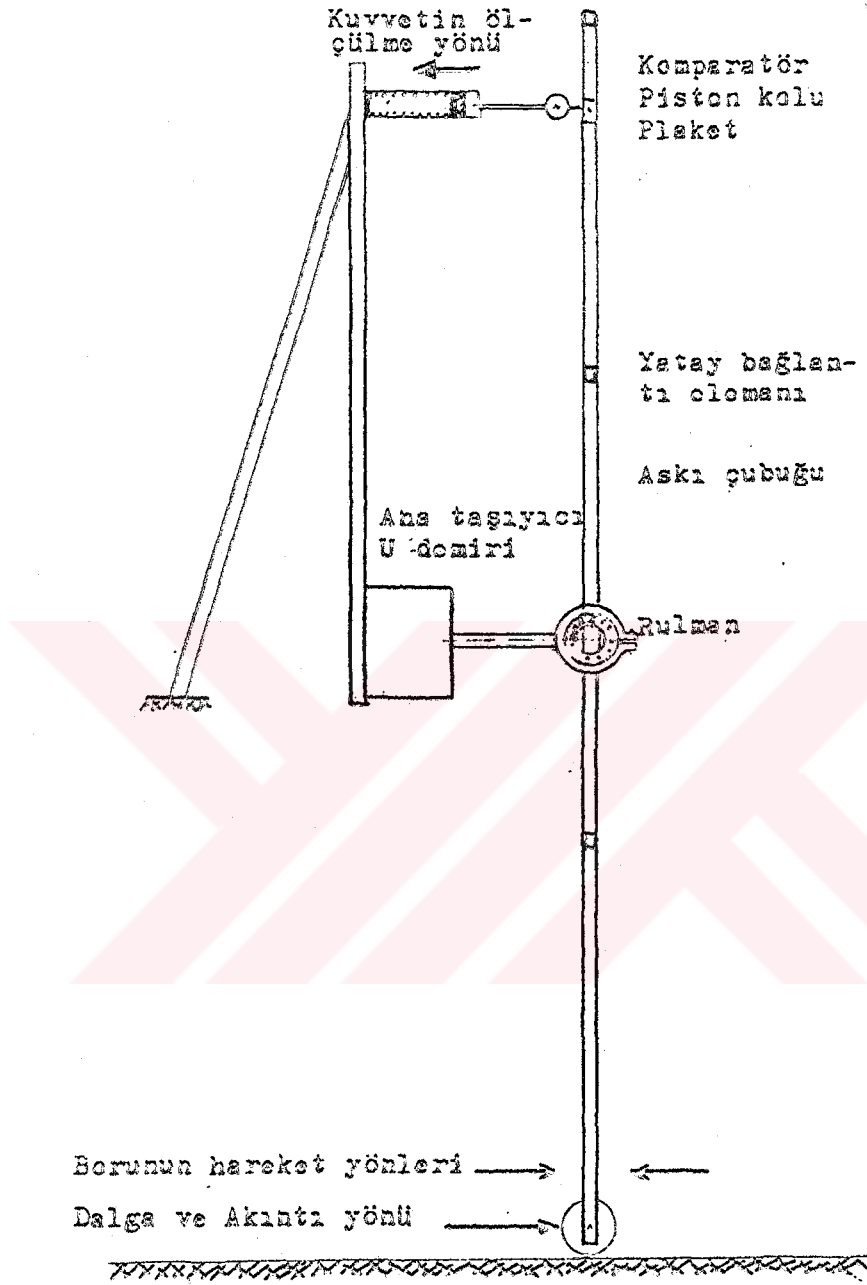
Deney borusunun bağlı bulunduğu sistem kendi haline serbest bırakıldı - ğında tam düşey pozisyonda kararlı olarak durmaktadır.ve tabana paralel vaziyettedir. Deney borusu kuvvet karşısında hareket edebilir şekilde yapılar sabitlenmemiştir. Boru yu ve dolayısıyla askı sistemini harekete geçirebilecek kuvvet 100 gram kadardı. Rulmanlı dönme eksenini yatağının özenli imali ile sağlanan bu 100gr lık mertebeye,ölçülen kuvvetler yanında ihmalî kabil bir miktardır. Çünkü bu kuvvet ilk hareket içindir. Hareketin başlamasından sonra zaten önemsizdir. Sonuç olarak ölçülen kuvvet miktarları için bir düzeltme işlemi gerekmemiştir.

Askı sistemi için yapılan deneme çalışmalarında dalgalar aşırı büyük olmadığı takdirde, dalga periyoduna bağlı olarak periyodik bir salınımın teşekkülü ettiği, borunun bir ileri, bir geri düzgün salındığı gözlemlendi. Havuz şartlarına göre aşırı yükseklikli dalgalar oluşturulduğunda ise, askı sistemindeki bu düzgün salınımın bozularak ileri yönde devrildiği gözlemlendi. Bu nedenle bu ölçüde yüksekliğe sahip dalgalardan kaçınıldı.

III.4 DALGA KARAKTERİSTİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

III.4.1 D a l g a Y ü k s e k l i k l e r i n i n Ö l ç ü l m e s i
Tez konusu kararlaştırılırken bu iş için labratuvarda bulunan bir dalga kaydedicinin kullanılacağı dikkate alınmıştır. O sırada yeni satın alınmış bulunan bu aletin labratuvar şartlarında kullanılması mümkün olmayınca, yüksekliklerin ölçümü için tarafımızdan basit ve güvenilir bir kaydedicinin yapılması gerekmiştir. Sıhhatli bir yükseklik ölçümü ve kaydı sağlayabilen böyle bir aletin yapımı, deneyimizin en çok zaman alan noktalarından birini oluşturmuştur. Çünkü dalga yüksekliği ölçümü hem bu deneyde ölçülen kuvvetler için, hemde bu kuvvetlerin mukayesesini yaptığımız metodlar için en önemli parametrelerden biri durumundadır.

Geliştirilen yükseklik kaydetme düzeneği, esasen basit bir düzenek olup dalgaların taşıdığı kinetik enerji, suyun kaldırma gücü ve ağırlık kuvvetlerinden yararlanılarak çalışmaktadır. Bir ahşap çubuğun bir ucuna samandra vazifesi gören ince cidarlı ve içi boş bir silindirik şişe, karşı uca ise bir yay yardımıyla iki nokta arasında oynayabilir vaziyette sabitleştirilmiş bulunan bir kalem yerleştirilmiş ve orta noktasından ana taşıyıcı demire



ŞEKİL III.5 Deney Borusu Askı Sistemi



mafsalli olarak sabitlenmiştir. Serbest bırakılınca şamandranın uç pek az bir kuvvet farkıyla aşağıya düşmektedir. Havuz su ile dalga üretilmeye başlandığında şamandra, sabitlenmiş bulunduğu mafsal etrafında suyun üzerinde, o noktadan geçen dalga sırtları ve teknelerine bağli olarak salınım yapmaktadır. Bu salınımlar, karşı ucun önüne yerleştirilmiş bulunan levha üzerindeki kağıda, dairesel çizgiler halinde kaydedilmektedir. Daha sonra bu daire parçaları, düzeneğin geometrisinden yararlanılarak dalga yüksekliklerine dönüştürülmektedir. Şekil III.6

Dalga yüksekliklerinin kaydedildiği kağıtlar düzlem bir plaka üzerine sabitlenmiş hareketsiz kağıtlardır. Böylece her bir dalga için kayıt bu plakanın yerinin elle değiştirilmesi suretiyle tutulmuştur. Bu yazıcıda zaman ve periyod kaydı bulunmayıp, sadece yükseklik kâdı bulunmaktadır. Bu kaydın yanına deneyin önceden tesbit edilen numarası yazılmakta idi. Kağıttaki çizgilerin kalınlığı veya koyuluğu daha çok tekrarlanan dalga yüksekliği hakkında fikir vermekte idi. Böylece maksimum yükseklikli dalgaların diğerlerine nazaran çok az sayıda vuku bulduğu görülebilmekte idi.

Yükseklik kaydının tarafımızdan yapılmış olması ilave bir dikkat ve titizliği beraberinde getirmiştir. Bunun için uzun deneme çalışmaları yapılmıştır. Alınan veriyi hatalı kılabilen şu üç nokta olabilmirdi. Birincisi şamandranın su yüzü profilini tam olarak izlememesi olabilmirdi. Yani dalga kreti yaklaşırken şamandra dalganın taşıdığı enerji ile zıplıyabilir (su yüzü çizgisinden daha yukarı doğru fırlatılabilir) veya bu durumun tersi olarak kretin teşekkül hızına uyamıyarak kretle birlikte yükselmez, su içinde bir miktar gömülü kalabilirdi. Yapılan gözlemlerde bunların olmadığı kesinlikle gözlenmiştir, yani şamandra zıplamamış veya batık kalmamıştır.

İkincisi şamandra ve kolların boyut ve ağırlıklarının uygun olmaması sonucu şamandranın su içine fazla batması dolayısıyla, su hareketini tam olarak izliememesi olabilmirdi. Gerçi ağırlık nedeniyle şamandranın bir miktar da olsa batması kaçınılmazdır. Ancak bunun, sonucu etkilemeyecek düzeyde olması gerekmektedir. Gerçekten bir miktar batmışlığın salınım yüksekliğinin okunmasına menfi bir etkisi olamaz. Çünkü bizce aranan, alçalma ile yükselme arasındaki farktır ve bu fark bizim okumayı istediğimiz dalga yüksekliğini meydana getirmektedir. Bilindiği gibi bu deneyde esas olan kret veya teknelerin hangi kotta oluştukları değil, aralarındaki farktır. Yani sonuç olarak bizim tesbit ettiğimiz dalga gerçekte meydana gelenle aynı özellikte, fakat şamandranın batma derinliği kadar aşağıda çizilmiş olan bir dalgadır. Bunun bir mahzur teşkil etmediği ortadadır.

Üçüncüsü ise yazıcıdan kaynaklanabilecek bir problem olabilmirdi. Diğerlerinin yanında ikinci dereceden önemli olan bu problem yazıcı kalemin yumu-



şak bir yayla techizi ve mafsalin boşluksuz olduğu kadar, az bir sürtünme doğuracak şekilde yapılması ile kendiliğinden halloolmuştur. Çünkü boşluk zıplama, fazla sürtünme harekette kısıtlama getirirdi.

Bu noktalar ve ilk anda akla gelmemiş olabilecek hususlar dikkate alınarak şamandranın çalışması gözlenmiş ve sonucun başarılı olduğu birden fazla gözlemci tarafından tesbit edilmiştir.

Neticede bütün bunlar dalga yüksekliğinin hassasiyetle okunabildiğini bize göstermiş olmaktadır.

III.4.2 D a l g a U z u n l u ğ u n u n Ö l ç ü l m e s i : Dalga uzunluklarını labratuvarda yaptığımız bir ahşap kumpas yardımı ile ölçtük. Bu kumpas birbirini üzerinde kolayca hareket edebilen iki ahşap dikdörtgen kesitli çubuk ve bunların uçlarına dik olarak sabitlenmiş kısa kollardan ibaretti. Kollar, ölçülecek olan noktalara tutularak, aradaki mesafe tesbit edilmekteydi. Uzunluğun ölçümü, duvarlardan biri üzerinde kumpası elinde tutan bir kişinin, karşı duvar üzerindeki gözlemciden aldığı talimata göre uçları ayarlaması ile yapılmıştır. Uçlardan biri sabit tutulmakta ve ayarlama diğeri ile yapılmaktaydı.

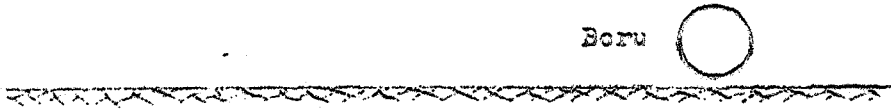
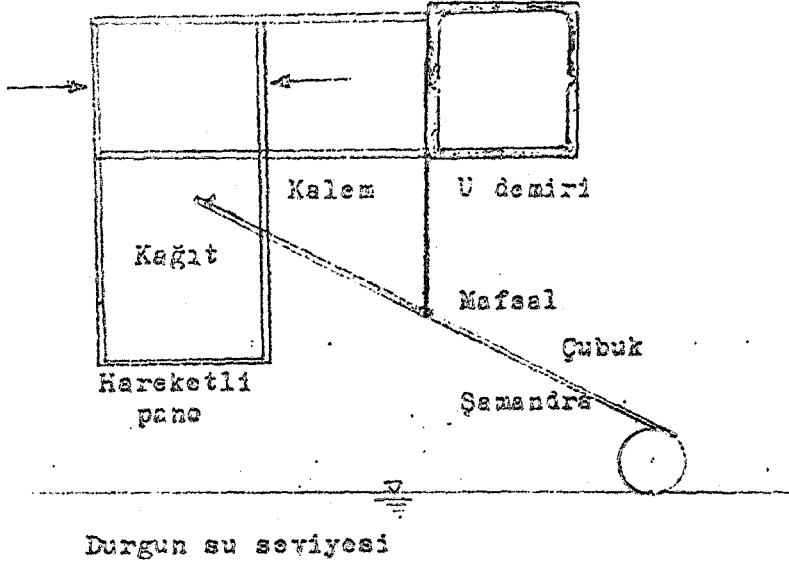
Uçlar arası uzunluk yaklaşık 5 m idi. Bu durumda küçük uzunluklu dalgaların tam boyu, büyüklerinki ise yarım boy olarak tesbit edilmiştir. Şekil III.7

Bu ölçümlerde kayda değer bir husus şudur. Kumpasın bir ucunun (bir dalga sırtı veya teknesine) sabitlendiğini belirtmiştik. Dalga sırtı her defasında aynı noktada teşekkül etmiyebilecektir; birkaç cm ileride veya geride oluşabilecektir. Bu hal ikinci uçtaki sırt veya tekne için de geçerlidir. Tıpkı piyezometre yardımıyla basınç veya basınç farkı ölçümünde, kollarındaki su seviyelerinin efektif basınç değişimleri sebebiyle sürekli hareketli oluşları gibi. Bu oynama dikkatli ve bu tür okumalara alışık bir göz için mahzur teşkil etmemektedir. Bir an için hata yapıldığı bile var sayılsa bunun yüzdesi, uzunluk yanında önemsiz kalacaktır.

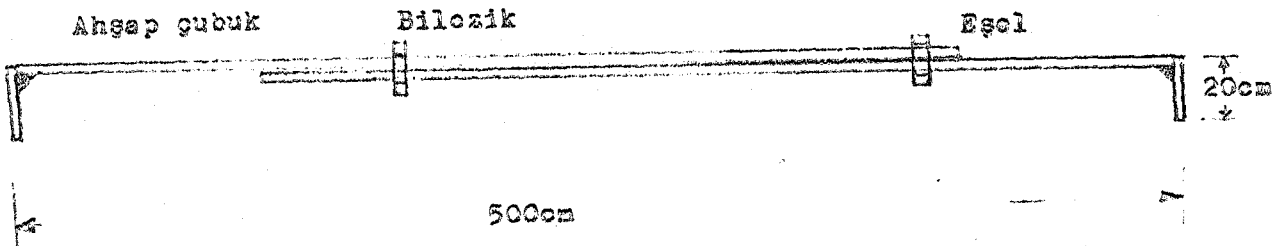
III.4.3 D a l g a P e r i y o d u n u n Ö l ç ü l m e s i : Periyodun ölçümü, uzunluğun ölçülmesine paralel olarak kronometre yardımıyla yapılmıştır. Burada, periyod ölçümünün, uzunluk ölçümünden daha kolay olduğunun ifadesi yerinde olacaktır.

III.5 KUVVETİN ÖLÇÜLMESİ

III.5.1 K u v v e t Ö l ç m e D ü z e n e ğ i : Bilindiği gibi yapılan deneyin hedefi dalga ve akıntının birlikte varlığı halinde deşarj borusuna etkiyen kuvvetlerin belirlenmesi idi. Yani sonuç hedef kuvvetin ölçülmesi olup buraya kadar belirtilen fizik büyüklükler, bu kuvveti meydana



ŞEKİL III-6 Dalga yüksekliği ölçme cihazı



ŞEKİL III- 7 Dalga uzunluğu ölçme kumpası



getiren şartların parametreleridir. Bu sebeple kuvvetin ve doğai olarak kuvvetin meydana gelmesinde rolü olan parametrelerin sıhhatli bir şekilde belirlenmesi deneyin gerçekleştirilmesinde en önemli hususu oluşturmaktadır.

Bu maksatla kuvvetin ölçülmesinde kullanılan yöntemin öncelikle güvenilir, sonra da yeterli hassasiyeti sağlayabilir olması gerekecektir. Bu türlü durumlarda esas olarak iki farklı yöntem kullanılabilmektedir. Bunlar elektrik-elektronik gelişmesinden önce kullanılan klasik mekanik yöntemler ve (straingauge gibi) elektrik-elektronik esaslı yöntemlerdir. Biz bir klasik yöntem olan dinamometre kullanma yolunu tercih ettik. Bunun başlıca sebebi borunun su içinde olması saikiyle, su içinde güvenilir sonuçlar vermediği için, straingauge kullanamama idi. Seçimin bu yolda olması deney düzenine etkilemiştir. Daha açık bir ifadeyle eğer straingauge kullanılabılseydi, borunun kuvvet karşısında yer değiştirir özellikte yapılması gerekmiyecekti ve dolayısıyla daha kolay bir çalışma imkanı doğabilecekti. Halbuki mevcut halde boruya gelen kuvvetin bir yay tarafından karşılanması, böylece yayda oluşacak şekil değiştirmenin tesbiti ve bu iş için zaman alıcı bir kalibrasyon çalışması gerekli olmuştur. Kuvvetin belirlenmesinde kullanılacak yöntem ortaya çıkınca, bu işin nasıl gerçekleştirilebileceği ve bu aşamadan sonra gelen kalibrasyon çalışmaları deneyimizin en çok zaman alan noktası olmuştur.

Kuvvet ölçecek bir düzenenin yapılması, çalıştırılması ve kalibrasyonu esnasında karşılaşılabilecek problemler ilk anda aklımıza gelen kadarıyla sunlar olabilirdi.

a) Borunun hareketinin kuvvet etkisi altında sınırlandırılıp, sınırlandırılmıyacağı,

b) kuvvetin ölçülmesinde kullanılacak ölçü aletinin ne olacağı ve taşıdığı özelliklerin olayı nasıl etkileyeceği,

c) Dinamometre yayındaki şekil değiştirme miktarının ölçü aletinin özelliği ile bağdaştırılması,

d) Kuvvetin tesbit şeklinin nasıl olacağı, yani yayda meydana gelecek şekil değiştirmenin nasıl tesbit edileceği (gözle veya bir kalem ile gibi),

e) Kuvveti ölçen düzenenin nereye yerleştirileceği (su içinde veya dışında gibi),

f) Deneyden elde edilecek kuvvetin mertebesi tam olarak bilinmediğine göre yay ve düzenenin boyutlandırılması.

Bu hususlar dikkate alınarak düzenenin yapısı kararlaştırılmalı, ayrıca laboratuvarımızda imal edilebilir olmalıdır.

Sonuç olarak hazırlanan düzenek şudur: Şekil III.8 Boru tabanda (hemen taban üzerinde) dalga sırtlarına paralel veya dalga ilerleme yönüne dik olarak asılı bulunmaktadır. Askı çubukları iki uçta ve düşey konumdadır. Bun-

larda ortalarından ve dalga ilerleme doğrultusunda hareket edebilir vaziyette mafsallı olarak asılmış bulunmaktadır. Kuvvetin ölçüldüğü yay kutuları ise askı çubuğu demirinin (4x4 cm içi boş profil) dalga üretici paletin bulunduğu tarafa bakan yüzeyine temas eder durumda yerleştirilmişlerdir. yaylarda meydana gelen kısalmayı tesbit eden ölçü aletleri ise yay kutusunun hemen yanındadır. yay kutusunun bulunduğu seviye mafsal merkezine göre borunun simetriği olan noktadır. askı çubuğu profilinin üzerine yay kutusunun ve ölçme aletlerinin uçlarının aynı anda ve sıhhatli bir şekilde temas edebilmesi içinde birde plaketa yerleştirilmiştir.

düzenegin esas parçaları şunlardır. Yay, yay kutusu, piston, piston koldur.

Yay: Basınç yayları olup kuvvet karşısında boyları kısalan türdendir. Sanayiden aynı maksatla kullanılmak üzere üretilmiş olan yaylardan seçilmişlerdir.

Yay kutusu: Şekilde görüldüğü gibi yayın düzgün hareket etmesini sağlamak yani bel vermeden sadece ileri geri hareket etmesi için ve bunun yanında boy değişimini okuyabilmek için hazırlanmış bir düzenektir. Kutu iki inçlik bir galvanizli borunun iç çapı bir miktar artırılarak pürüzsüz hale getirilmiş ve böylece yayın dış çapına eşitlenmiş olan bir borudur. Bir tarafında piston kolu hareket edebilecek şekilde kapalı olup, diğer tarafında bir kapakla donatılmıştır. Yaya kuvvet aktarmak ve aktarılan bu kuvveti homojen olarak tatbik etmek amacıyla boru içine bir piston yerleştirilip kapatılmıştır. piston bir kola bağlanmış olup, bu kol kapaktaki delikten dışarıya uzanmaktadır. Piston, silindir içinde en çok 15 mm hareket edebilecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu 15 mm lik hareket serbestisi miktarı, kısalma miktarını ölçen saatli komparatörün 13 mm lik hareket miktarına karşılık olmak üzere tolerans dikkate alınarak belirlenmiştir. Yayın montaj ve demontajını sağlayan arka kapak ise bir mansondan yararlanılarak yapılmış ve galvanizli boruya açılan paso uzun tutularak yay boyunun istenilen miktara ayarlanmasını sağlayacak şekilde imal edilmiştir.

Piston: Yukarıda bahsedilen şekilde çalışmak üzere konulmuş bir çelik silindir parçasıdır. Yaya kuvvetin homojen şekilde aktarılmasını sağlamak üzere silindir içinde boşluksuz ve uygun bir biçimde çalışabilecek vaziyette yerleştirilmiştir.

Piston kolu: Borudan gelen kuvveti askı çubuğundan alıp yaya aktaran koldur. Silindirik bir çelik çubuktan ibarettir. Boşta bulunan ucu askı çubuğu üzerindeki plakete temas etmektedir. Askı çubuğu dalga ve akıtının doğurduğu kuvvetle hareket etmeye başlayınca borunun her ileri yöndeki hareketinde, piston kolunun serbest ucuna çarpmaktadır. Böylece borudan alınan

kuvvet piston kolu ve piston vasıtasıyla yaya aktarılmakta ve yayda bir boy kısalması sonucunu doğurmaktadır. Bu kısalma bilindiği gibi kuvvetin tesbiti için yeterlidir.

Şekil değiştirmeler saatli komparatör veya verniyeli kumpas ile ölçülebilmektedir. Bilindiği gibi saatli komparatör küçük miktardaki yer değiştirmeleri büyük bir hassasiyetle ölçebilen ve iç direnci sıfır mertebesinde olan bir alettir. Bizim kullandığımız tipi 1/100 mm duyarlıkta olup en çok 13 mm lik hareketleri tesbit edebilmektedir. Alet, pistonun serbest ucuyla birlikte askı çubuğundaki plakete temas eder vaziyette monte edilmiştir. Çapı yaklaşık 5 cm kalınlığı ise 2 cm civarında olan dairesel bir silindir kesmesi görünümündedir. Kadran 1/100 veya 1/1000 hassasiyette oluşuna göre taksimatlıdır, bu taksimat çevreye işlenmiştir ve bir büyük ibre ile pek kolay bir şekilde okunabilmektedir. Göz saat kadrana alışık olduğu için anlık bir görüş bile kolaylıkla belli olabilmektedir. Bu sebeple dikkat milimetre değerlerini gösteren taksimatın diğerine nazaran epeyce küçük olan ibresine yoğunlaştırılmaktadır. Böylece milimetre değerleri de yanılmadan okunabilmektedir. Olayın meydana geliş sıklığı veya tekerrür süresi dalgaların frekansına eşit olduğu için okuma rahatlıkla yapılabilmektedir. Çok sayıda vuku bulan bu olay aynı zamanda bir çarpma sesi sonrasında oluşur. Böylece zihin ve göz kadrana, ibreye rahat hakim olabilmektedir. Ancak yer değiştirmelerin okunması için deneme çalışmaları sırasında her türlü yanlışlık ihtimalini bir yol farkedilmiştir. Komparatörün hareketli ucuna parmak hafifçe değdirlerek askı çubuğunun geri gidişinden sonra bırakılmamakta böylece okuma en sıhhatli şekliyle yapılmakta idi.

Verniyeli kumpas ise 1/10 mm hassasiyetle okuma yapabilen bir alettir. Bununca ucu aynı plakete temas etmektedir. Esasen komparatör yeterli olmakla beraber okuma güvenliğini artırmak ve hatayı sıfıra indirmek için monte edilmiştir. Kumpasla yapılan okuma her bir deneyin sonunda maksimum yer değiştirmeyi veren okuma olmaktadır. Komparatörde ise her bir çarpma sonucu oluşan kapanma okunabilmektedir.

Kuvvet ölçme düzeneğinin şekli ve ilgili araçlar belirtildikten sonra, bunların ışığında yukarıda a-f maddelerinde belirtilen hususları gözden geçirelim.

a) Borunun hareketi, kuvvet etkisi altında dalga ilerleme yönünün tersi doğrultuda tamamen serbest bırakılmış ve dalga yönünde ise piston kolu vasıtasıyla sınırlandırılmıştır. Boru, sudan aldığı kuvvetle dalga ilerleme yönünde harekete geçince, taşıdığı kuvveti askı çubuğu vasıtasıyla yay kutusuna aktarmaktadır. Yayın boy değişim miktarı sınırlı tutulduğu için borunun

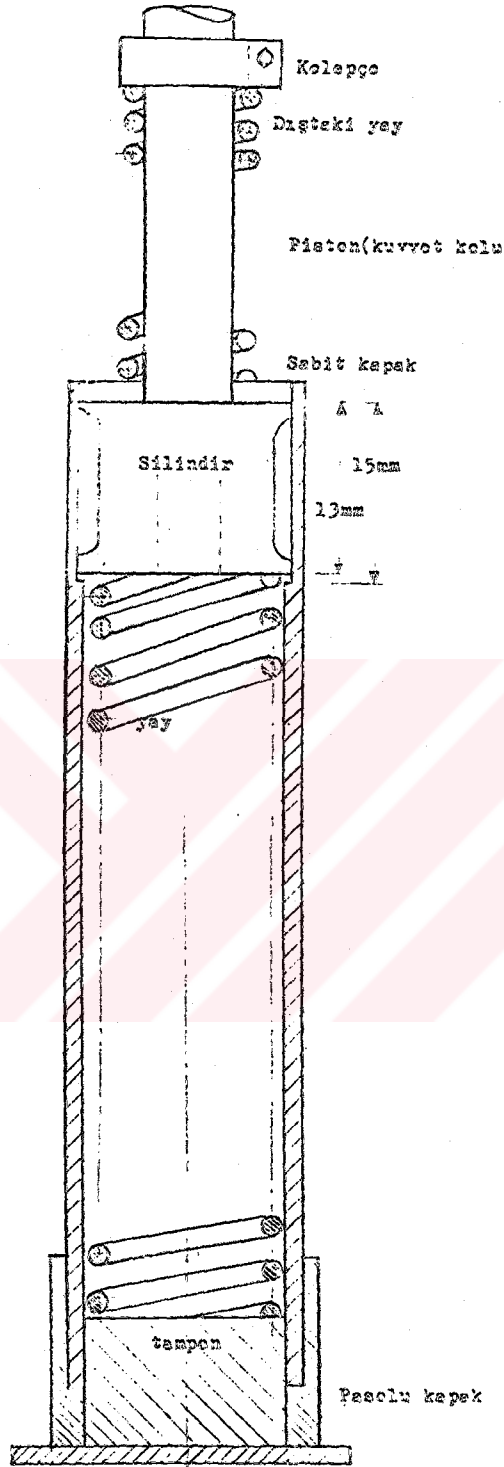
hareketi de bu yönde sınırlı olmaktadır.

b) Esas ölçü aleti olarak kullanılan komparatörün deplasman ölçen hareketli ucu sadece 13 mm yi tesbit edebilmektedir. O halde yayda oluşacak boy değişimi bu miktarı geçmemek zorundadır. Kuvvet tesbit şekli ölçü aletleri olan saatli komparatör ile kumpasın özellikleri ve kullanılma imkanları dik-kate alınarak yaydaki boy değişiminin gözle tesbitinin mümkün ve yeterli olacağı görüldü. Bu nedenle mesela askı çubuğunu her iki taraftan yaylarla bağlayıp, çubuktaki oynamaları buraya tesbit edecek bir kalemle ve gerekli halde istenilen oranda büyütülerek hassas bir şekilde yazdırmak mümkün iken gerekli görülmemiştir.

c) Borunun aldığı kuvvetin yeri bellidir. Tesbit, bu noktada yani su içinde yapılmayacağına göre nerede yapılmalıdır. Mademki kuvvet ortadan mafsallı bir çubukla su dışına aktarılmaktadır, o halde mafsalin her iki tarafındaki kol uzunluğunun aynı tutulması ile borunun aldığı kuvvetin bire bir oranda tesbit edilmesine kafidir. Bu maksatla kuvvet tesbit noktası askı çubuğu üzerinde boru ekseninin simetriği olan noktadır. Bu nokta ise rahat bir okumayı sağlayabilecek uygun göz seviyesindedir.

d) Boruya gelen kuvvetin mertebesi ve yayla ilişkili konusu ise şu şekilde halledilmiştir. Önce kuvvetin mertebesi yaklaşık olarak tahmin edilmiştir. Bunun için önceden bir kanalda yaptığımız deneylerden, havuzdaki ilk tecrübelerden ve bilinen hesap yöntemlerinden yararlanılmıştır. Sonra bu mertebedeki kuvvetleri 13 mm den daha az bir boy değişimi ile karşılayabilecek yaylar aranmıştır. Bundan sonra da bu yaylara uygun bir kutu imali gelmiştir. Burada bir noktayı belirtmek yerinde olacaktır. Yaylar her ne kadar aynı maksat için üretilmiş ve geneide aynı özellikli yaylar olmakla birlikte sanayideki kullanılma yerleri laboratuvardaki oranda hassasiyeti gerektirmediği için mikro ölçüde farklılıklar gösterebileceği gözlenmiştir. Yay kutusu kapağının ayarlanması ile boyda meydana getirilen düzelme sonucu yaylarda görülebilen küçük farklılıkları gidermeye rahatlıkla kafi idi.

Yay kutusunun imalinden sonra, önce eldeki bir çift yayla mekanik atölyeden şekil değiştirme (kapanma)- kuvvet diyagramı elde edilmiştir. Bu iş bilinen ağırlıklardaki kapanmanın komparatör yardımı ile okunması şeklinde olmuştur. Bunun yanında yay kuvvetin yüklenmesi ve ölçü aleti ile akuplasyonu aynen deney düzeneğinde olduğu gibi hazırlanmıştır. Böylece bir uyumsuzluğa izin verilmemiştir. Burada şu hususları da belirtmek yerinde olacaktır. Yayın sağlaması gereken mekanik özellikler şunlar olmalıdır. 1- Uygulanacak kuvvetler aralığında yayda oluşacak kapanma 0-13 mm limitleri arasında



ŞEKİL III.8 Kuvvet Ölçme Cihazı



kalmalıdır. 2- Yayın kuvvet karşısındaki davranışını karakterize eden kat sayısı uygulanacak kuvvet aralığında sabit kalmalıdır. Böylece şekil değiştirme - kuvvet diyagramının lineer olması temin edilmiş olacaktır.

Bu ilk hazırlık ile testlere başlanıldığında eldeki yayın yetersiz kaldığı görülmüştür. Bunun üzerine uygun yayın bulunması ve ikinci bir yay kutusunun imali yerine sonuç olarak mevcut içteki yaya ilaveten, dışta piston kolu üzerine sabitlenerek kullanılan yaylardan yararlanılmıştır. Böylece elde edilen ikili yay sistemli kutu maksada çok uygun görülmüştür.

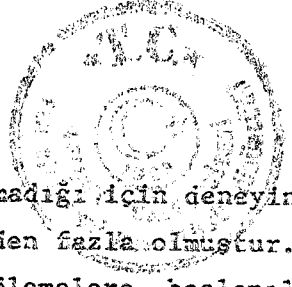
III-6 DENEY DÜZENECİNİN ÇALIŞTIRILMASI VE VERİLERİN ALINMASI

Deneyin yapılmasında takip edilen sıra aşağıdaki gibidir. Önce havuza su doldurulması ile başlanılmaktadır. Bunun için 2000 tonluk alt depodan, üst depoya iki motorla su basılmakta ve üst depodan savaklanma başlayınca havuza su veren vana açılmaktadır. İkinci olarak dalga üreticisi çalıştırılmakta ve öteleme, aç ve devir dakika değerleri deneyimiz için kabul edilebilir sınırlarda dalga yüksekliği üretecek şekilde (küçük genlikli dalga) ayarlanmaktadır. Bu ayarlama deneme ve kalibrasyon çalışmaları esnasında elde edilen tecrübeler ışığında belirlenen üç büyüklüğün belli değerlerini aşmamak şeklinde olmaktadır. Ayrıca deneme çalışmaları esnasında kazanılan alışkanlık ile dalga yüksekliğinin üst sınırına gelindiği kolayca hissedilebilir olmuştur. Motordan alınan tahrik paletle hidrolik yolla iletildiği için devir, öteleme ve aç hareketlerinin tam teşekkül etmesi ve bu oluşma anında paletten suya aktarılan değişik düzeydeki enerjinin suda oluşturduğu hareketin tesirinin yok olarak kararlı hale dönüşmesi için kısa bir müddetin geçmesi gerekmektedir.

Havuza giden su sabit olduğu önceden bilindiği için bu esnada herhangi bir debi ölçümü söz konusu olmamaktadır.

Su yüzeyinde meydana gelen hareketlenme ile boru da harekete geçmekte ve yavaştan başlayan bir tarzda yay kutusu kuvvet çubuğuna (piston kolu) çarpmaya başlamaktadır.

Her teste başladığımız esnada kumpası başlangıç pozisyonuna, dalga yazıcısının kağıdını boş bir noktaya almaktaydık ve test numarasını yazıcı kağıda yazmakta idik. Deneyin gerçekleştirilmesinde benimle birlikte laboratuvar teknisyenlerinden enaz üçü hazır bulunmakta idiler. Teknisyenlerden ikisi dalga uzunluğu ve periyodunu diğeri ise komparatörü okumakta idiler. Bu iki kişiden biri gezinti platformu üzerinde bulunup karşı iç duvarda kumpas tutan kişiyle birlikte dalganın uzunluğunu tesbit etmekte ve aynı zamanda periyodu da belirleyebilmekte idiler. Her ne kadar üç kişi okuma için kafi ise



de bu deneyin yapıldığı sırada başka bir deney yapılmadığı için deneyin başında hazır bulunan kişi sayısı hemen, her zaman üç den fazla olmuştur.

Dalgalar kararlı hale geldikten sonra gerekli ölçümlere başlanılmakta idi. Dalga uzunluğunun tesbiti III-4-2 de belirtildiği gibi olmakta ayrıca bu işi yapan gözlemci her zaman aynı kişi olmakta idi (Baş teknisyen).

Dalgalar teşekkül edip kararlı hale gelince borunun hareketinin bir yönde serbest bırakılması sonucu sistemde oluşan hareket dalga periyoduna tabi olmakta ve her bir periyod süresinde boru bir ileri bir geri hareketini tamamlamakta ve bir çarpma sesi duyulmaktadır. Bu ses boru askı çubuğu ile yay kutusu kuvvet kolu arasında meydana gelen çarpışmanın verdiği sestir. Bunun dışında deneyimizde oluşan ikinci bir periyodik ses ise havuza sürekli olarak katılan akıntı suyunun savaklanma duvarı üzerinden periyod zamanının yarısı içinde ve pozitif amplitüd (dalga sırtları geçişi) esnasında savaklanmasından doğan sestir. Bu olay sabit bir enerji seviyesi altında kütleinin korunma prensibi sonucu olmakta ve aynı özellikli dalgaların oluşumunu sağlamaktadır.

Askı çubuğu kuvvet koluna çarpınca yayda meydana gelen kapanma, komparatörün hareketli ucuna konulan bir parmakla sabit hale getirilebilmektedir. Parmaktaki güç pek az olup, bir kaç kilogram mertebesindeki bir kuvveti önleyebilecek durumda olmayıp, komparatörün hareketli kolunu birkaç mili gramlık geri dönüş kuvvetini sabitleyebilecek seviyededir. Sonradan farkettiğimiz bu usü ile kapanma 1/100 mm mertebesinde kolayca tesbit edebilir hale gelindi ve verniyerli kumpasa gerek bile kalmadı. Ancak bununla birlikte gözden zihne nakledilen en büyük değerin tahkiki için kumpastan yararlanılmaya devam edilmiştir.

Deneyimizde su içinde hız ölçümü de yapılmıştır. Ancak mukayese metodlarında hız değerinin buradakinden farklı durumda olması hızı esas parametre olmak durumundan çıkarmıştır.

Arka arkaya yapılabilen test sayısı üçü pek geçmemekte idi. Her bir testin alınmasında zorunlu olarak harcanan zaman, havuzun boş kısmının dolmasına yetmekte idi. Bu nedenle deneyler üçerli gruplar halinde yorulmaya fırsat vermeyecek şekilde tesbit edilmekte idi. Burada bu üç testin aldığı sürenin 20-22 dakika olduğunun belirtilmesi de yerinde olacaktır.

III-7 DENEY DÜZENEGİ ÜZERİNE DÜŞÜNCELER

Yatay kuvvetlerin ölçülmesi problemi deney konusu olarak seçildikten sonra deneyin gerek araç, gereç, ve imalat yönüyle ve gerekse model tekniği yönünden nasıl realize edilebileceği laboratuvar ve prototip örnekleri de



dikkate alınarak incelenmiştir. Bunların dışında ortaya çıkan model önce o zamanki tez yönetici Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Prof.Dr. Turhan Acatay tarafından onaylanmıştır. Bunun dışında tez konusunun sadece sürüklenme kuvvetinin incelenmesi olarak belirlenmesi de kendisine aittir.

Daha sonra deney düzeneğinin kurulması ve deneme çalışmalarının yapılması esnasında araştırma görevlisi olarak çalıştığım Karadeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün ortaklaşa yürütmek istedikleri Karadeniz Samsun-Hopa sahil yolunda meydana gelen dalga zararlarının etüdü çalışmaları için Trabzon'da bulunan Öğretim Üyeleri Dr.Erdal Özhan ve Dr.A. Rıza Gümbak tarafından da kritik yapılmıştır.

Bunların yanında deney düzeneği kurulurken her aşamada ilgili bölüm Öğretim Üyeleri ve bu Öğretim Üyelerinden biri olan tezin şimdiki yöneticisi Doç.Dr.Halil Ürün tarafından da izlenmiş ve tartışılmıştır. Bu sayede deney düzeneği bütünüyle ve parçalarıyla tartışılarak kurulabilmiştir.

Bunun dışında deneyde kullanılan ölçme düzeneklerinin imal ve kalibrasyonunda titiz davranıldığına ifadesi yerinde olacaktır. Mesela kuvvet ölçme düzeneğinin atölyede ve düzenek üzerinde aynı tarzda çalıştırıldığı böylece esasta herhangi bir hatanın meydana gelmesinin önlenildiği bir örnek olarak verilebilir. Dalga yüksekliği ve uzunluğunu ölçtüğümüz aletlerin ilk bakışta basit yapıda oldukları görülmekte ise de gerek imalinde gerek çalıştırılmasında harcanan zaman ve dikkat sayesinde istenilenin elde edilebildiği rahatlıkla gözlenmiştir.

Sonuç olarak topluca bir değerlendirme yapıldığında, deney düzeneğinin sahip olduğu özelliklerin maksada uygunluğu, ayrıca çalışma esnasında sarfedilen gayret ve titizlik sayesinde de kendisinden bekleneni verebildiği müşahade edilmiştir.

IV. BÖLÜM

DENEYLER - MUKAYESELER - DEĞERLENDİRME

IV - 1 GİRİŞ

III. Bölümde yapısı, kullanılan araç ve malzemeler ve çalışma şekli ile anlatılan deney düzeni ile aşağıda belirtilen esaslar çerçevesinde düzenlenen testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden elde edilen sonuçlar ise bu şartlara en yakın şartları içeren, projelendirmede kullanılan metodlarla mukayese edilmişlerdir.

Deneylerin gerçekleştirilmesinde kabul edilen hidromekanik esaslar deşarj projesinin tabiatından yani deşarjla hedeflenen amaçtan, deşarjın yer aldığı deniz ortamından ve bunlara dayalı olarak geliştirilen hesap yöntemlerinin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bunları bir parça açarak ele alalım.

Deşarjla hedeflenen amaç, sahilden koruma bölgesi adı verilen, 150-200 m uzunluklu bölgede atığın taşıdığı olumsuz etkilerin zararının görülmemesi, buradaki ekolojik dengenin bozulmaması, tabii hayatın korunması ve aynı zamanda insanların bu bölgeden sağlıklı bir şekilde yararlanmalarının sürdürülmesidir. Amaç bu olunca projelendirmenin de buna göre yapılması gerekmektedir. Hattın uzunluğu, yeri ve doğrultusu, atığın bırakıldığı ilk noktada dalga ve akıntı yardımıyla ilk seyrelme imkanları, taşınma uzunluk ve zamanı dikkate alınarak verilen üst limitleri sağlayacak şekilde seçilmektedir. Bu husus deşarj borusu ile dalga ve akıntılarının etkileşiminin nasıl olduğunu da gündeme getirmektedir. Borunun ulaştığı uzunluktaki dalga karakteristikleri nasıldır ve bu özellikler karaya doğru nasıl değişmektedir. Bunların borunun alacağı kuvvet hesabında dikkate alınması gerekecektir.

Bilindiği gibi dalgalar genellikle d su derinliği ve L dalga boyu dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır (Bakınız Ek-1). Rüzgar tesiri ile üretim bölgesinde oluşarak, kara tarafından belli bir L dalga boyunda ölü deniz adı verilen bölgede düzenli halde yer almaktadır. Bu bölgelerde su derinliği dalga boyuna göre izafi olarak büyük olduğu için derin su dalgası veya kısa dalga özelliğindedir. Karaya yaklaşıldıkça su derinliği azaldığı için dalga özelliği de değişmekte ve siğ su dalgası veya uzun dalga özelliğini kazanmaktadır. Bu iki hal arasında ise orta derinlik (Intermediate depth) dalgası adıyla bir orta bölge dalga yer almaktadır (Bakınız Ek-1). Bu bölgelerde dalgaların hidromekanik özelliklerinde değişmeler olduğu için borunun aldığı



ğı kuvvetler bakımından bu durumun dikkate alınması uygun olacaktır.

Deneyimizde üreteceğimiz dalgalar için yaptığımız inceleme hattının ortaderinlik bölgesine kadar uzandığını ortaya koymuştur. Hernekadar boru derin su bölgesine ulaşabilmekte isede, bu bölgedeki dalgaların taşıdığı enerjinin $1/2$ derinlikte sifıra inmesi sebebiyle boru tabanda bulunduğu için, doğacak kuvvetler açısından problemsiz olmaktadır. Sığsu bölgesinde su yüzeyi seviyesinden tabana doğru su kütlesi tarafından taşınan enerji ise aynı seviyede kaldığı için kararlı bir durum sözkonusu olmaktadır. Bu husus hesap yöntemleri açısından olumlu bir sonuç getirmektedir. Ayrıca derinliğin azalması sebebiyle dalgaların kırılması sonucu tabana uygulanan büyük kuvvetler ve böylece tabanda meydana gelen hareketlenme tesirlerinin boruya zarar vermesini önlemek amacıyla boru zemin içine döşenmekte ve hat bu bölgede emniyete alınmış olmaktadır.

Bu sebeplerle borunun taban üzerine açıkta döşendiği bölge ve özellikle orta derinlik bölgesi daha çok dikkat çekici olmaktadır.

Kıyıların yapısı ve derinlik incelendiğinde seyrelme için gerekli uzunluğa ulaşıldığında dalgaların orta derinlik dalgası özelliğinde olabileceklere anlaşılmaktadır. Ülkemiz için yapılan tatbikat projeleri bu maksatla incelenirse Erdek'te 40 m lik su derinliğine 870 m uzunluk ile ulaşıldığı ve d/L değerlerinin $H = 4$ m maksimum dalga yüksekliği ve d/l için 0.074 ile 0.494 arasında değiştiği yani tamamının ortaderinlik dalgası olduğu görülür. Alan-ya Tatbikat Projesinde ise d/L değerleri 0,0501 den 0,3586 değerine kadar yükselmektedir. Görüldüğü gibi dalgalar ortaderinlik su dalgalarıdır.

Dalgaların sınıfını tayin eden derinlik faktörü, kıyı topografyası tarafından tesbit edildiği için ülkemiz kıyıları da incelenmiş ve sonuçta Marmara ve Karadeniz kıyılarının tatbikat projelerinde ortaya çıkan durumu doğruladığı görülmüştür. Karadeniz kıyılarının (Carte Generale Bathymetrique des Oceans) tarafından verilen umumi haritası ve Sinop Bozburun ve Gerze kıyılarının yerel haritaları ve ilgili kesitler bunu göstermektedir I 64.65, 66 67 I.

Deneylerin gerçekleştirilmesinde dikkate alınan ikinci esas ise tatbikat projelerinde kullanılmak üzere geliştirilen hesap metodlarıdır. Bunlar Janson 1973, Hydraulic Research Station 1973 ve Grace 1978 gibi metodlardır ve daha ziyade küçük genlikli dalga teorisi esasına dayanır. Ayrıca akıntı tesirini içine almamaktadırlar. Bunun dışında küçük genlikli dalga teorisini deneylerden elde edilen çeşitli katsayılarla doğrudan kullanan basit hesap yöntemleri vardır I 15,16 I.

Bu iki madde ile ortaya koyduğumuz hususlar değerlendirilerek uygulana-



cak testlerde gerçekleştirilecek şartlar veya uyulacak esaslar tesbit edilmiştir. Buna göre tez konusu orta derinlikli su bölgesinde döşenmiş bir boru hattın dalgalga ve akıntı tesiri ile oluşacak maksimum yatay kuvvetlerin tesbiti olarak kararlaştırılmıştır.

Sonucu tekrar maddeler halinde ifade edersek :

- 1) Tezin konusu ve bu nedenle testlerin amacı dalga ve akıntının birlikte mevcudiyeti halinde borunun alacağı maksimum yatay kuvvet tesbitidir.
- 2) Boru hattı ortaderinlikli su dalgası bölgesine kadar uzanacağından deneyde üretilecek dalgalga ortaderinlik dalgalga olacaktır.
- 3) Dalgalga uyacağı teori küçük genlikli dalga teorisidir.

Burada özellikle maksimum kuvvetin aranmasının sebebi şudur. Öncelikle su hareketi, dalgalga sebebiyle salınımlı bir hareket olduğundan borunun aldığı kuvvet değişken şiddetlidir. Aynı özellikli bir çok dalganın doğurduğu kuvvet aynı olmamaktadır. Bu nedenle projelendirmede maksimum kuvvet özellikle önemli olmaktadır.

Burada deniz yapılarının projelendirilmesinde dikkate alınan iki alternatif kriteri hatırlatmak yerinde olacaktır. Bu iki alternatif dalganın meydana getirdiği kuvvetler ile bu kuvvetlere maruz yapıların özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Eğer yapı, zaman içinde meydana gelen hasarların onarımını mümkün kılan bir stürüktürde ise yapının kullanılma süresi veya ömrü içerisinde oluşması muhtemel en büyük dalga dikkate alınarak projelendirilmesi düşünülmemiş; bunun yerine daha küçük boyutta, fakat oluşan dalgalga ağırlıklı çoğunluğunu temsil eden boyuttaki bir dalganın (Belirgin dalga) proje hesap dalgası olarak seçilmesi uygun görülmektedir. Fakat yapı bu özellikte değilse bir büyük dalganın etkisiyle tamamen elden çıkabilir özellikte ise bu durumda proje dalgası olarak bu tek dalganın seçimi uygun olmaktadır.

Boşaltım borusu hattının bunlardan birincisine benzemesi mümkündür. Yani hasar tüm hat boyunca değilse bazı noktalarda olabilir ve bu halde de tamirati mümkündür I 68,35 I. Gerçekten hasarın tüm hat boyunca oluşması nadir görülebilir. İkinci olarak borunun yer aldığı hat içinde dalga özellikleri sığsu ve orta derinlikli su gibi değişken olabildiği için doğurulan kuvvetler de hattın her noktasında tehlike oluşturmayabilecektir. Dalga tipinin ortaderinlik bölgesi dalga olarak seçilmesinde bu husus da dikkate alınmıştır.

IV - 2 DENEY ELEMANLARI, PARAMETRELER VE PROSEDÜR

IV.2.1. G e n e l i : Yukarıda ifade edilen esaslar ışığında deney elemanlarının ve parametrelerinin tekrar gözden geçirilmesi uygun olacaktır. Bunlar sırasıyla :

- a) Deney borusu,
- b) Deney borusunun konumu,
- c) Dalgalar,
- d) Akıntı,
- e) Boru, akıntı ve dalgaların etkileşme yönleridir.

IV.2.2. D e n e y B o r u s u : Deşarj borusu genellikle beton, yoğunlaştırılmış plastik, fiberglas lif, çelik dökme demir gibi malzemelerden olmaktadır. Bunlar farklı pürüzlülükte sahiptir. Pürüzlülük ise borunun aldığı kuvvete etki eden bir parametredir. Deneyde pürüzlülüğün az olduğu plastik malzemeli boru yerine beton boru kullanılmıştır. Ayrıca boru uzunluğu fazla tutulmak suretiyle kuvvet eldesindeki hassasiyet artırılmıştır.

IV.2.3. D e n e y B o r u s u n u n K o n u m u : Deney borusu kendisine etkileyecek kuvvetin maksimum değeri arandığı için dalga ilerleme yönüne ve bununla aynı yönde olan akıntıya dik doğrultuda yerleştirilmiştir. Bu halde boruya etkileyen kuvvetin en büyük değerde olacağı, bu konudaki tüm hesap metodları tarafından fikir birliği ile kabul edilmektedir. Ayrıca boru, hemen tabanın üzerine yerleştirilmiştir. Bu durumda da kuvvet maksimum olmaktadır. (HRS, 1973; Grace, 1978; ve diğerleri).

IV.2.4. D a l g a l a r : Deneyimizde üretilen dalgalar yukarıda belirttiği gibi ortaderinlik bölgesi dalgalarıdır. Ülkemiz kıyıları ve tatbikat projeleri bu duruma uymaktadır.

Gerçekten borunun döşendiği bölge, boru uzunluğu ve difüzör sonunda ulaşılan derinlikler ve dalga yükseklikleri dikkate alındığında ortaderinlik bölgesine ulaşıldığı görülmektedir. Erdek projesinde boru boyu 870 m ve ulaşılan derinlik ise 25 m dir. Projede batı ve kuzey batı yönlerinden gelen dalgaların kritik olacağı görülmüş vehesaplar bu iki yön için yapılmıştır. Boruda kuzeybatı yönü için dalga yüksekliği $H = 2$ m, dalga boyu $L = 46$ m; batı yönü için $H = 3.3$ m ve $L = 81$ m olarak alınmıştır. Buna göre dalgalar ortaderinlik dalgaları olmaktadır. Kuzeybatı yönü için derinsu dalgası bölgesine (3 değer ile) ulaşılmakta isede hesap tablosundan görüleceği üzere kritik kuvvetler burada değil, ortaderinlik bölgesinde oluşmaktadır. d/L de-

ğerleri kuzeybatı yönü için 0.087 ile 0.435 ve 0.87; batı yönü içinde 0.074 ile 0.494 dür. Görüldüğü gibi bu değerler sığsu dalgası özelliğini oluşturan 0.05 değerini aşmaktadır.

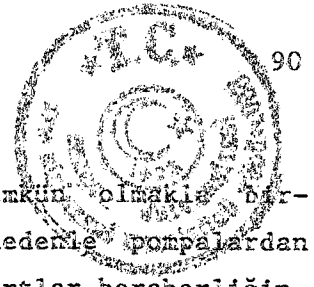
Alanya tatbikat projesi nde ise hattın uzunluğu 1325 m ve ulaşılan su derinliği 35 m olmaktadır. Dalga yüksekliği $H = 3.6-4$ m, dalga boyu ise 53.1-97.6 m dir. Buna göre d/L değerleri 0.1-0.36 olmakta, 0.05 den büyük çıkmaktadır.

Görüldüğü gibi her iki örnekte de dalgalar ortaderinlik bölgesi su dalgaları olmaktadır. Bu hal Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde sıklıkla görülecek olan bir durum olmaktadır.

IV.2.5. A k ı n t ı l a r : Deşarj borusu deniz tabanı üzerine serilmektedir. Borunun sahilden bir miktar açığa uzanıyor olması, onun yüzey akıntılarının tesirinden uzak kalmasını temin etmekle birlikte iç akıntılarının varlığı ve tesiri kesindir. Bununla birlikte yine borunun tabanda olması maksimum hız potansiyelinin etkisine maruz kalmaması sonucunu genellikle getirecektir. Bu sebeple ilk anda tesbit edilmiş bulunan iç akıntı hızları boşaltım borusuna aynıyle etki etmeyecektir. Bu nedenle laboratuvarda ürettiğimiz akıntı için bu husus gözönünde bulundurulmuştur. Ülkemiz sahillerinde uzunluğun çok fazla ve fiziki karakterlerin değişik olmasının yanında, deşarj projeleri maksadıyla elde edilenler dışında yeterli bilgi yoktur. Deşarj projeleri için elde edilen değerler ise şunlardır. Ayvalık projesi için 0.045-0.091 m/sn, Bodrum projesi için 0.012-0.021 m/sn, Erdek projesinde 0.032-0.144 m/sn olarak tesbit edilmiştir. Erdek projesinde en büyük hızın 0.144 m/sn olarak görülmesine rağmen proje raporunda bu hızın 0.10 m/sn nin altında olduğu bildirilmekte ve hesaplara bu değer ithal edilmektedir. Alanya projesinde ise akıntı dikkate alınmamıştır. Bunun dışında Akdenizin doğusunda akıntı hızlarının 0.15 m/sn civarında olduğu yazılmaktadır I 70 I.

Sonuç olarak akıntı hızının belirlenmesinde deniz ve sahillerimizin şartları, deneyimizde üretilen dalgaların boyutları ile uyuşma esas tutulmuştur.

Testlerde oluşturulan dalgaların büyüklükleri $H = 0.06-0.186$ m ve $L = 3.66-7.82$ m dir. Akıntı hızı ise 0.0415 m/sn dir. Buna göre dalga ve akıntı şiddeti uyuşumunun iyi bir şekilde sağlanmış olduğu fikrindeyiz. Çünkü borunun aldığı kuvvetlerin oluşmasında dalgalar daha etkin rol oynadıkları için I 68, 8 I dalga karakteristiklerine oranla ne çok düşük ne de çok yüksek değerlerde olan hızlar tercih edilmiştir. Bu değerlerin çok artırılması modelde to_r_asyon etkisi meydana getirebilirdi. Az miktarda artması ise mevcut pompa ve su iletim düzeni ile zor sağlanır halde idi. Çünkü laboratuvarın önceden ha-



zır bulunan altyapısı ile belki çok miktarda su temini mümkün olsakta birlikte az bir miktar artırılması pek mümkün değildi. Bu nedenle pompalardan ikisi tarafından sağlanan bu değer yukarıda belirtilen şartlar beraberliğinde en uygun değer olarak ortaya gelmiştir.

IV.2.6.D a l g a A k ı n t ı Y ö n l e r i : Dalgalarla akıntı yönünün aynı olması halinde dalga ve akıntıdan doğan hidromekanik etkilerin daha büyük olduğu çok miktarda literatür tarafından ifade edilmektedir, I 15, 52 8 ve diğerleri I Bu sebeple deneylerimizle maksimum kuvvetlerin bulunması amaçlandığı için dalga ve akıntı yönü aynı doğrultuda oluşturulmuştur.

IV.3. D E N E Y L E R :

Bölüm III ve IV de anlatıldığı gibi dalga ve akıntı birlikte oluşturulmuş ve hidromekanik şartlar bakımından ilgi çekici bulduğumuz ortaderinlik su dalgaları üretilmiştir. Aşağıdaki tablodan da görüleceği gibi d/L oranı 0.0965 ile 0.200 arasında değişmektedir. Bu değer görüldüğü gibi 0.05-0.5 arasına düşmektedir.

Tablo IV-1 de üretilen dalgaların uzunluk, yükseklik ve periyod değerleri verilmektedir.

Üretilen dalgaların yükseklikleri 6.0-18.6 cm arasında değişmektedir. 18.6 cm lik yükseklik ayırık bir değer durumundadır. Çünkü bundan önceki en büyük değerler yaklaşık 15 cm mertebesindedir. Bu dalgaların uzunlukları ise 3.66 m ile 7.82 m arasında değişmektedir. Periyodlar ise 3.0 sn ile 6.2 sn arasında değerler almaktadır. Tabloda ayrıca bazı dalga karakteristikleri (d/L derinlik parametresi H/L dalga dikliği, L/T dalga seleritesi) verilmiştir. Tablonun son sütununda ise borunun birim boyu üzerine düşen ve deneylerden ölçülmüş bulunan kuvvet değerleri kg/m olarak yer almaktadır. Bilindiği gibi d/L parametresi dalganın sınıfını belirtmektedir. H/L oranı ise dalga dikliği parametresi olup Erdek projesi için 0.0444,0.0407; Alanya projesinde 0.0096-0.075 arasında değerler almaktadır. Deneyimizde ise 0.01083-0.04895 değerlerine haizdir. Bu örnekler üretilen dalgaların prototipdeki şartlara uygunluğunu göstermektedir. Bir diğer parametre ise L/T dir, hız ifadesidir ve deneyimizde 0.7 ile 2.7 m/sn arasında değerler almaktadır. Erdek projesinde 8.426, 11.25 m/sn, Alanya projesinde ise 12.48 m/sn civarında bulunmaktadır. Görüldüğü gibi modeldeki değerler prototipin bu örnekleri ile aynı değildir. Bu sonuç tabiidir. Çünkü bilindiği gibi tabiattaki olayın aynıyle modele aktarılması model tekniği açısından mümkün olmamaktadır. Her parametrenin hiç değiştirilmeden incelenebilmesi için prototipin kendisinin labo-



ratuvara alınması gerekmektedir. Ancak bu örneklerle deneylerde elde edilen seherite değerlerinin çok farklı olmadığı da tahminimizce açıktır. Buna ilave olarak hız teriminin dalğanın taşıdığı enerjiyi veren denklemlerde bulunmayışı, enerji ile kuvvet arasında doğrudan bir münasebetin varlığı sebebiyle dikkate alınırca portotip ve modeldeki hız parametreleri farklılığının önemli olmadığı, hatta böylece farklılığın bu parametrede görülmüş olmasının isabetli olduğu ortaya çıkmaktadır I 16,17,35 I.

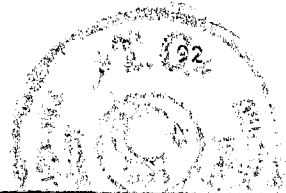
IV.4. MUKAYESE İÇİN KULLANILAN METODLAR.

Dalga kuvveti hesabında kullanılan metodlardan en yaygın olanları Bölüm II de belirtildiği gibi Morison 1950, Janson 1973, HRS 1975, Grace 1978-1981 dir. Bunlardan Morison denkleminin mukayese için kullanılması pratik bir fayda sağlamayacağı nedeniyle uygun olmadığı Bölüm II de belirtilmiştir. Bu sebeple mukayese için kullanılan metodlar kalan üç methodur.

Burada Bölüm II ye ilave olarak bu metodlar hakkında birkaç cümle daha söylemek yerinde olacaktır. Janson 1973 metodu T dalga periyodu ve d su derinliği terimini ihtiva etmemektedir. Periyod bir dalğanın yavaş veya hızlı oluşmasını ve seyretmesini gösterir bir parametre olduğuna göre, ilk anda dalğanın doğuracağı kuvvetle ilgili görünmekle birlikte, dalgaların sahip olduğu enerjinin ifadesinde de yer almadığı hatırlanırsa periyodun yokluğu bir eksiklik oluşturmamaktadır. Derinlik teriminin bulunmayışı ise sıvı zerrelerinin yörünge ve hızlarındaki derinlikle değişimin dikkate alınmaması veya derinlikle sabit kabul edilmiş olması durumunu hatıra getirmektedir. Çünkü sağ, orta ve derin suda bunların farklılık gösterdiği bilinmektedir.

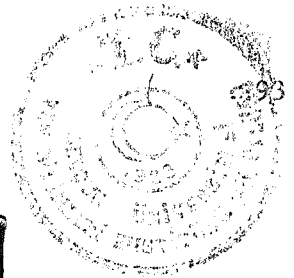
HRS 1975 metodu su derinliği parametresi dikkate alınarak bulunan bir hız (küçük genlikli dalga ile bulunan bir hız), dalga frekansı ve dolayısıyla dalğanın ana özelliği H,L,T yı ihtiva etmekte ve ayrıca kuvvet alanını iki farklı değer bölgesine ayırarak bunlar için iki ayrı eşitlik vermektedir. Bu iki farklı bölgenin en önemli ayırıcı borunun bulunduğu seviyedeki hız ve boru çapıdır. ($a'/D \geq 2.85$; $a' = u/w$). Bu metod T ye bağımlıdır. Mesela aynı H ve L ye sahip iki dalgadan biri T diğeri 2T periyodu ile hareket ediyorlarsa kuvvet hızlı seyreden dalga için diğere nazaran 4 kat daha ($1/(T)^2 - 1/(2T)$ den dolayı) büyük olacaktır. Bu ise Janson 1973 metodu ile doğrudan çelişkili görülmektedir.

Grace 1978 metodu ise daha kompleks bir metod görünümündedir. Önceki iki metoda ilaveten yerçekimi ivmesi de dikkate alınmaktadır. Hız ve ivme ise amirik değerler olarak verilmektedir. Yine diğerlerinden farklı olarak



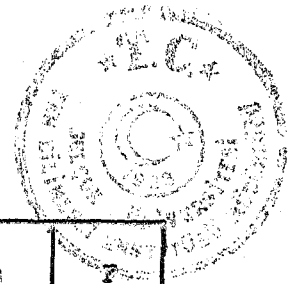
Sıra No	H (cm)	L (m)	T (sn)	d/L (m/m)	H/L (m/m)	L/T (m/sn)	Ölçülen Kuvvet (kg/m)
	1	2	3	4	5	6	7
1	7.2	4.11	5.2	0.184	0.0175	0.79	2.43
2	9.72	4.18	5.0	0.181	0.0232	0.836	3.00
3	10.0	4.34	6.2	0.174	0.0230	0.7	3.54
4	10.1	7.82	3.6	0.097	0.0129	2.722	2.20
5	10.1	4.00	4.4	0.019	0.0252	0.909	2.25
6	10.4	4.84	4.2	0.156	0.0215	1.152	3.05
7	10.8	3.96	4.0	0.191	0.0273	0.99	2.30
8	12.6	3.77	3.6	0.200	0.0234	1.047	3.76
9	14.4	3.66	3.0	0.206	0.0399	1.22	4.65
10	18.6	3.80	3.2	0.199	0.0489	1.188	4.70
11	6.0	5.12	4.8	0.147	0.0215	1.067	1.42
12	6.5	6.00	3.4	0.126	0.0108	1.765	1.63
13	7.4	4.90	5.0	0.154	0.0151	0.98	2.40
14	7.7	5.86	5.1	0.129	0.0131	1.149	2.26
15	8.1	5.17	4.9	0.146	0.0157	1.055	2.57
16	8.7	4.6	5.5	0.164	0.0182	0.836	2.18
17	9.1	4.66	4.9	0.155	0.0187	0.992	2.03
18	9.4	5.3	4.1	0.142	0.0187	1.227	2.10
19	9.9	4.02	3.9	0.188	0.0246	1.03	2.63
20	11.2	3.98	3.3	0.190	0.0261	1.206	2.61
21	12.1	4.46	4.4	0.169	0.0271	1.014	2.75
22	13.0	4.81	4.6	0.157	0.0270	1.046	4.48
23	13.9	4.73	4.9	0.160	0.0294	0.965	4.55
24	14.9	4.00	3.5	0.189	0.0373	1.143	3.75
25	1.5	4.57	3.2	0.165	0.0339	1.428	3.80

Tablo IV - 2: Deneysel Dalgalama ve Dolgurdurma Kuvvetleri



U.4	$\frac{H}{L}$	$\frac{H^2}{L}$	$F_t(kg/m)$	$F_s(kg/m)$	$F_{yatay}(kg/m)$
1	0.0175	0.00126	1.425	0.0495	1.425
2	0.0232	0.00226	1.887	0.0887	1.887
3	0.0230	0.00230	1.874	0.090	1.874
4	0.0179	0.00130	1.051	0.051	1.051
5	0.0253	0.00255	2.054	0.100	2.054
6	0.0215	0.00235	1.748	0.060	1.748
7	0.0273	0.00295	2.218	0.116	2.218
8	0.0334	0.00421	2.719	0.1165	2.719
9	0.0393	0.00557	3.200	0.222	3.200
10	0.0489	0.00910	3.981	0.357	3.981
11	0.0117	0.00070	0.953	0.028	0.953
12	0.0108	0.00070	0.881	0.028	0.881
13	0.0151	0.00120	1.228	0.044	1.228
14	0.0131	0.00140	1.069	0.040	1.069
15	0.0157	0.00130	1.274	0.050	1.274
16	0.0189	0.00160	1.536	0.065	1.536
17	0.0187	0.00170	1.523	0.067	1.523
18	0.0177	0.00170	1.443	0.065	1.443
19	0.0246	0.00240	2.003	0.096	2.003
20	0.0281	0.00320	2.289	0.124	2.289
21	0.0271	0.00330	2.207	0.129	2.207
22	0.0270	0.00350	2.198	0.138	2.198
23	0.0294	0.00410	2.390	0.160	2.390
24	0.0373	0.00560	3.030	0.218	3.030
25	0.0339	0.00530	2.756	0.206	2.756

TABLO IV-2 : Janson 1973 Metodu ile hesap tablosu



S. No	H	2 H	l	U	ω	ω ²	a	T (kg/m)
	T	L	$\frac{\sinh \frac{2\pi H}{L}}$					
1	0.044	1.154	0.700	0.031	1.207	1.458	0.025	0.110
2	0.061	1.134	0.718	0.044	1.250	1.578	0.035	0.167
3	0.051	1.093	0.750	0.038	1.013	1.026	0.036	0.117
4	0.060	0.656	1.553	0.137	1.744	3.043	0.070	0.716
5	0.072	1.105	0.675	0.049	1.427	2.037	0.034	0.209
6	0.078	0.98	0.874	0.068	1.495	2.236	0.045	0.304
7	0.085	1.197	0.666	0.057	1.570	2.465	0.036	0.270
8	0.110	1.258	0.619	0.068	1.744	3.043	0.040	0.368
9	0.151	1.295	0.592	0.089	2.090	4.382	0.043	0.563
10	0.183	1.248	0.626	0.114	1.962	3.851	0.058	0.677
11	0.039	0.926	0.940	0.037	1.306	1.712	0.028	0.145
12	0.060	0.790	1.143	0.059	1.847	3.411	0.037	0.362
13	0.047	0.968	0.888	0.041	1.256	1.578	0.033	1.157
14	0.047	0.609	1.111	0.053	1.231	1.516	0.043	0.196
15	0.052	0.917	0.951	0.049	1.281	1.643	0.039	0.191
16	0.050	1.031	0.818	0.041	1.141	1.304	0.036	0.142
17	0.058	0.976	0.879	0.051	1.282	1.643	0.040	0.197
18	0.072	0.895	0.902	0.071	1.532	2.346	0.046	0.214
19	0.080	1.179	0.679	0.054	1.610	2.593	0.034	0.263
20	0.107	1.191	0.670	0.071	1.103	3.622	0.037	0.406
21	0.086	1.053	0.784	0.068	2.427	2.037	0.048	0.418
22	0.089	0.986	0.267	0.077	1.363	1.864	0.056	0.316
23	0.089	1.00	0.642	0.076	1.281	1.642	0.059	0.294
24	0.134	1.185	0.674	0.090	1.794	3.219	0.050	0.487
25	0.152	1.038	0.810	0.123	1.963	3.851	0.063	0.733

TABLO IV-3: HRS 1975 Metodu ile Kesap Tablosu



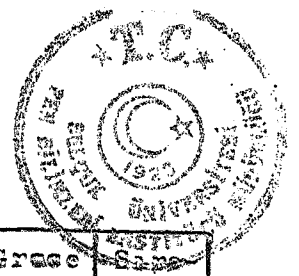
S. N.	\bar{h}^2 (e.u)	$L_{(h)}$	$\frac{h}{(s_0)}$	η^2	$\frac{\eta\sqrt{h}}{s}$	θ_y	θ_n	U_{max}	U_{max}^2	U_{max}^3	ψ	C_{max}	f (e.u/d)
	1	2	3	4	5	6	7	e	y	z	11	12	13
1	7.2	4.11	5.2	27.04	16.744	9	55	0.135	0.0182	0.202	0.78	5.2	0.462
2	9.72	4.16	5.0	25.06	16.02	6.5	53	0.176	0.0316	0.380	0.99	4.9	0.794
3	10.0	4.34	6.2	38.44	22.34	11.2	68	0.195	0.038	0.2406	1.36	4.8	0.53
4	15.1	7.82	3.6	12.96	12.96	6	34.5	0.1618	0.023	0.466	0.7	5.2	0.675
5	10.1	4.00	4.4	19.36	15.86	7.7	44	0.191	0.0364	0.312	1.0	4.94	0.916
6	15.4	4.84	4.2	17.64	15.14	7	45	0.1672	0.035	0.361	0.83	5.1	0.907
7	16.6	3.56	4.0	16.0	14.416	6.8	43	0.156	0.0393	0.395	0.66	5	1.0
8	12.6	3.77	3.6	12.96	12.98	6	37.5	0.277	0.0514	0.456	0.89	5	1.31
9	14.4	3.66	3.0	9.00	10.814	4.8	30.5	0.249	0.062	0.664	0.6	5.1	1.61
10	16.6	3.80	3.2	10.24	11.535	5.2	33.3	0.326	0.1066	0.6226	1.11	4.9	2.56
11	6.0	5.22	4.8	23.04	17.3	8.3	52	0.112	0.0126	0.184	0.99	5.3	0.34
12	6.5	6.00	3.4	11.56	12.25	5.5	35	0.114	0.0129	0.252	0.44	5.4	0.355
13	7.4	4.9	5.0	25.00	18.00	8.5	53	0.136	0.0185	0.213	0.75	5.14	0.465
14	7.7	5.86	5.1	26.01	18.36	8.8	54	0.143	0.0206	0.217	0.816	5.1	0.535
15	6.1	5.17	4.9	24.01	17.64	8.4	53	0.15	0.0224	0.243	0.79	5.2	0.594
16	8.7	4.6	5.5	30.25	19.83	9.6	61.7	0.164	0.027	0.241	0.96	4.9	0.674
17	9.1	5.66	4.9	24.01	17.66	8.4	53	0.169	0.0284	0.273	0.894	5	0.724
18	9.4	5.3	4.1	16.81	14.76	7	44	0.173	0.03	0.33	0.77	5.1	0.78
19	9.9	4.82	3.9	15.21	14.06	6.7	42	0.183	0.034	0.371	0.782	5.2	0.9
20	11.2	3.98	3.3	10.89	11.90	5.4	34	0.199	0.039	0.476	0.71	5.2	1.05
21	12.1	4.46	4.4	19.36	15.86	7.5	47	0.223	0.05	0.4	1.07	4.9	1.25
22	13.0	4.81	4.6	21.16	16.16	7.5	49	0.241	0.058	0.409	1.22	4.9	1.45
23	13.9	4.73	4.9	24.01	17.66	8.4	53	0.257	0.066	0.417	1.36	4.8	1.615
24	14.9	4.60	3.2	12.25	11.62	5.9	37	0.267	0.071	0.61	1.50	4.94	1.708
25	15.5	4.57	3.2	10.24	11.53	5.2	32	0.272	0.074	0.68	0.94	4.5	1.848

TABLE 14.4. a. Space 1978 Meteorite No. 8889, 8890, 8891



SERIAL NO:	U _{max} 8	U _{max} 10	ψ 11	C _{max} 12	(kg/m) 13
1	0.135	0.202	0.78	8.0	0.743
2	0.178	0.28	0.99	7.5	1.211
3	0.195	0.241	1.36	6.1	1.182
4	0.187	0.408	0.70	8.5	1.435
5	0.191	0.312	1.0	7.5	1.395
6	0.187	0.361	0.83	8.0	1.436
7	0.198	0.395	0.86	7.8	1.559
8	0.227	0.456	0.89	7.8	2.049
9	0.249	0.664	0.80	8.0	2.518
10	0.32	0.823	1.11	7.0	3.653
11	0.112	0.184	0.59	9.0	0.575
12	0.114	0.252	0.44	9.1	0.603
13	0.136	0.213	0.75	8.25	0.778
14	0.143	0.217	0.816	8.1	0.844
15	0.150	0.243	0.79	8.0	0.917
16	0.164	0.241	0.96	7.4	1.014
17	0.164	0.273	0.89	7.75	1.128
18	0.173	0.335	0.77	8.35	1.274
19	0.183	0.371	0.78	8.1	1.383
20	0.199	0.476	0.71	8.5	1.716
21	0.223	0.40	1.07	7.3	1.850
22	0.241	0.409	1.22	6.5	1.924
23	0.257	0.417	1.36	6.1	2.054
24	0.267	0.61	1.00	3.5	2.725
25	0.272	0.68	0.94	7.8	2.921

TABLO IV-4.b: Grace 1981 ile hosap tablosu



S.N	H (cm)	L (m)	T (sn)	Ölç. Kuv. (kg/m)	Jensen 1973 (kg/m)	HRS 1975 (kg/m)	Grace 1978 (kg/m)	Grace 1981 (kg/m)	Sana İlama
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	7.2	4.11	5.2	2.43	1.425	0.110	0.482	0.743	5-8-6
2	9.72	4.18	5.0	3.00	1.887	0.167	0.794	1.211	5-8-6
3	10.0	4.34	6.2	3.54	1.874	0.117	0.930	1.182	5-8-6
4	10.1	7.82	3.6	1.20	1.051	0.716	0.875	1.435	8-5-6
5	10.1	4.00	4.4	2.25	2.054	0.209	0.916	1.395	5-8-6
6	10.4	4.84	4.2	3.05	1.748	0.304	0.907	1.426	5-8-6
7	10.8	3.96	4.0	2.30	2.218	0.270	1.000	1.559	5-8-6
8	12.6	3.77	3.6	3.76	2.719	0.368	1.310	2.049	5-8-6
9	14.4	3.66	3.0	4.65	3.200	0.503	1.610	2.528	5-8-6
10	18.6	3.80	3.2	4.70	3.987	0.677	2.560	3.653	5-8-6
11	6.0	5.12	4.8	1.42	0.953	0.145	0.340	0.575	5-8-6
12	6.5	6.00	3.4	1.63	0.881	0.382	0.355	0.603	5-8-6
13	7.4	4.9	5.0	2.40	1.228	1.197	0.485	0.778	5-6-8
14	7.7	5.86	5.1	2.26	1.069	0.196	0.535	0.844	5-8-6
15	8.1	5.17	4.9	2.57	1.374	0.191	0.594	0.917	5-8-6
16	8.7	4.6	5.5	2.18	1.538	0.142	0.674	1.014	5-8-6
17	9.1	9.86	4.9	2.03	1.523	0.197	0.724	1.128	5-8-6
18	9.4	5.3	4.1	2.10	1.443	0.214	0.780	1.274	5-8-6
19	9.9	4.02	3.2	2.63	2.003	0.263	0.900	1.383	5-8-6
20	11.2	3.98	3.3	2.61	2.289	0.406	1.050	1.716	5-8-6
21	12.1	4.46	4.4	2.57	2.207	0.418	1.250	1.850	5-8-6
22	13.0	4.81	4.6	4.48	2.198	0.316	1.450	1.924	5-8-6
23	13.9	4.73	4.9	4.55	2.390	0.294	1.615	2.054	5-8-6
24	14.9	4.00	3.5	3.75	3.030	0.487	1.788	2.725	5-8-6
25	15.5	4.57	3.2	3.80	2.756	0.733	1.848	2.941	8-5-6

TABLO IV-5: Deney Dalgaları, Ölçülen ve hesaplanan kuvvetler ve büyüklük sıralaması



Sıra No	Ölçülen kuvvet (kg/m)	Janson 1973 (kg/m)	k ₇₃ (1/2)	HBM 1975 (kg/m)	k ₇₅ (1/4)	G ₁₉₈₁ (kg/m)	k ₈₁ (1/6)
	1	2	3	4	5	6	7
1	2,43	1,425	1,71	0,110	22,09	0,743	3,27
2	3,00	1,837	1,59	0,167	17,96	1,211	2,48
3	3,54	1,874	1,39	0,117	30,26	1,132	2,99
4	2,20	1,051	2,09	0,716	3,07	1,435	1,54
5	2,25	2,054	1,10	0,209	10,77	1,395	1,61
6	3,05	1,748	1,74	0,304	10,03	1,426	2,14
7	2,30	2,218	1,04	0,270	8,52	1,559	1,48
8	3,76	2,719	1,38	0,368	10,22	2,019	1,83
9	4,65	3,200	1,45	0,563	8,26	2,528	1,84
10	4,70	3,981	1,18	0,667	6,94	3,653	1,29
11	1,42	0,953	1,49	0,145	9,79	0,575	2,48
12	1,63	0,881	1,85	0,382	4,27	0,603	2,70
13	2,40	1,228	1,95	0,157	15,28	0,778	3,08
14	2,26	1,059	2,11	0,196	11,53	0,343	2,68
15	2,57	1,274	2,02	0,191	13,45	0,917	2,80
16	2,18	1,538	1,42	0,142	15,35	1,014	2,15
17	2,03	1,523	1,33	0,197	10,30	1,128	1,80
18	2,10	1,443	1,46	0,214	9,81	1,274	1,65
19	2,63	2,003	1,31	0,253	10,00	1,383	1,30
20	2,61	2,289	1,14	0,406	6,43	1,716	1,52
21	2,75	2,207	1,24	0,416	6,58	1,850	1,49
22	4,48	2,198	2,04	0,316	14,18	1,924	2,33
23	4,55	2,390	1,90	0,294	15,57	2,054	2,21
24	3,75	3,030	1,24	0,487	7,70	2,725	1,38
25	3,80	2,756	1,38	0,733	5,18	2,941	1,29

K
crt. el, 56

= 11,38

= 2,077

TABLO IV - 6: Ölçülen Kuvvetler, Hesapla Bulunan Kuvvetler
Ve Mukayese Katsayıları



yatay kuvvet katsayısı (C_{max}) bir veya iki sabit değerde verilmeyip yukarıda sayılan değişkenlere ve metodun kendi içinde tariflenen parametrelere bağlı olarak, çok farklı değerler halinde grafiklenerek verilmektedir. Sonuçta yatay kuvvet, Morison denkleminde olduğu gibi iki parçalı değil de sürükleme ve atalet kuvvetlerinin birlikte ifade edildiği tek denklemlerle verilmektedir. Böylece denklem Morison denklemi ile aynı formda olmakla birlikte iki ayrı katsayıyı içinde bulundurmadığı için pratik olmaktadır. Burada yapılan atalet ve sürükleme hakim durumların birbirinden ayrılması ve hız teriminin lineer hale getirilmesidir.

Son olarak her üç metodda gerekli dalga ile ilgili verilerin sadece H, L, T olduğu ve kuvvet biriminin kg/m olduğu ifade edilebilir.

Tabloların incelenmesinden görüleceği gibi metodların her test için verdiği sonuçlar ilgili sütuna yazılmış ve bunun yanına ölçülen kuvvetle yapılan mukayese katsayısı değerleri verilmiştir. I Tablo IV.3 I. Hesaplamaların toplu neticesi ve bulunan kuvvetlerin büyüklük sıralaması tablo IV.2 de yer almaktadır. Bu tabloda Grace 1978 ve yine Grace ile Zee tarafından 1981 de verilen düzeltme kullanılarak elde edilmiş bulunan iki ayrı sonuç da yer almaktadır. II. Bölümde belirtildiği gibi saha araştırmalarından elde edilen sonuçları içeren Grace 1981 yöntemi ikine nazaran çok daha yüksek değerlerde kuvvetler vermektedir.

IV.5 DEĞERLENDİRMELER

IV.3 de belirtildiği gibi, üretilen dalgalar küçük genlikli ve orta derinlikli su dalgalarıdır. Bunlar ve bu dalgaların doğurduğu kuvvetler (ölçülen kuvvet) topluca tablo IV.1 de yer almaktadır.

Tablo IV.2, 3, 4, ve 4.a da belirtilen üç metod için hesaplamalar yer almaktadır. Görüldüğü gibi Grace metoduna, sonradan yapılan gözlemlere dayanılarak kuvvete artma getirilmiştir. Bu artma iki katın üzerindedir.

Tablo IV.5 de ölçülen ve hesapla bulunan kuvvetler toplu olarak yer almaktadır. Burada ayrıca bu kuvvetler arasında her bir satırda hangisinin daha büyük olduğu belirtilmiştir. Bu sütundaki 5, Janson 1973; 6, HRS 1975 ve 8 ise Grace 1981 değerlerini işaret etmektedir. Görüldüğü gibi tezde ölçülen kuvvetler hesap metodlarının verildiği sonuçların tümünden büyük bulunmuştur. Ölçülen kuvvetlerin kendi içinde incelenmesi, sonuçların dalga karakteristikleri ve birbirlerine göre genelde uyumlu olduklarını ortaya koymaktadır. Bu ise genelde ölçümlerin isabetli oluşunun işareti sayılabilir.

Sıralamada görüldüğü gibi daima en küçük değer HRS 1975 metodu ile elde



edilmektedir. Bu, tarafımızdan beklenen bir durum idi. Çünkü Erdek deşarj tatbikat projesi için yapılan hesaplarda da aynı sonuç mevcuttur. Bu sebeple anılan projede, proje kuvveti bu metodun verdiği çok üzerinde alınmıştır. Diğer iki metodun verdiği kuvvetler nisbeten birbirine yakın olarak gözük-
mektedir.

Tablo IV.6 da hesapmetodlarının verdiği kuvvetlerin deneylerden bulun-
nan kuvvetlerle mukayesesi verilmiştir. Bu mukayese stunlarında verilmiş
olan rakamlar ölçülen kuvvet değerlerinin, hesapla bulunan değere bölünmesi
ile bulunmuştur ve Janson 1973 için k 73, HRS 1975 için k 75, Grace 1981 için
k 81, olarak kısaltılmıştır.

Bu katsayıların aritmetik ortalamaları ilgili sütunların altında k şek-
linde verilmiştir. Görüldüğü gibi katsayı ortalamaları Janson metodu için
1.57, HRS metodu için 11.38 ve Grace metodu için 2.7 olmaktadır. Buradan HRS
nin çok küçük kuvvetler verdiği görülmektedir. Bu nedenle Erdek tatbikat
projesi için de bu metodun verdiği kuvvetler, özellikle derinliğin az olduğu
bölgelerde, az görülmüştür. Ancak oradaki fark burada bulunan farka nazaran
küçüktür.

Bu üç metodla elde edilen sonuçların Marison dekleminin verdiği geniş
çözüm bandını doğruladığı görülmektedir. Gerçekten, bulunan kuvvetler ara-
sında (11.38 / 1.57) yaklaşık 8-9 kat fark vardır. Ancak orada bu fark çok
daha fazla olarak görülebilecektir. Janson metodunun, Grace metodundan ge-
nelde daha büyük değerler verdiği Erdek projesinde de görülmektedir. Bu pro-
jede bu sebeple proje kuvveti olarak ortada bir değer alınmıştır.

Grace 1981 metodu incelenirse özellikle tezde çalışılan dalgalar aralı-
ğında yani küçük ψ değerinde veri azlığı ve belirsizlik, dolayısıyla boşluk
olduğu görülecektir. O halde bu tez ile böyle bir noktaya bir miktar daha
açıklık getirmiş olmaktadır. Yine bu tezle bulunan sonuçlarla bu bölgede kuv-
vet katsayılarının yükseldiği doğrulanmaktadır. Burada bulunan katsayıların
oradakine nazaran iki kat fazla veya yaklaşık % 100 artmış oluşu hem akıntı-
nın ilavesinden hemde daha ekstrem şartların uygulanmış olmasından kaynak-
lanmış olmalı. Gerçekten orada $\alpha = 0$ hali veya yön itibariyle ekstrem şart
hali görülmemektedir. Ayrıca bu bölgedeki araştırmaların değişik boru malze-
mesini de içine alarak sürdürülmesi yararlı olacaktır.

İlgili, literatürün taranmasından görüleceği gibi bu tezdaki oranda bü-
yük ölçekli deney ortamlarında aynı konuda bir çalışma görülmemektedir. Böy-
lece bu deney, konuya saha dışında ilk yaklaşımlardan biri olmaktadır. Bu
yüzden çalışmaların sürdürülmesi, daha şumüllü, prensipli sonuçların elde
edilmesine çalışılması yararlı olacaktır. Doğal olarak bir veya birkaç ça-



İşma ile böyle bir konunun her yönüyle kesin çözüme kavuşturulması beklene-
mez. Aynı konuda kesin çözümler daha kolaylıkla saha çalışmalarından elde
edilebilir fakat bilindiği gibi bu yol masraflı olmaktadır.

Ölçüm sonucu bulunan kuvvet değerlerinin ilk bakışta yüksek olduğu dü-
şünülebilir. Fakat bu çalışmada hedeflenen amaç dikkate alınırsa yani dalga
ve akıntının aynı yönde olması ve su derinliği ile kuvvet ilişkisinin en
gayrı müsait halde bulunuşu, dolayısıyla ekstrem şartları ihtiva eden halin
dikkate alınmış bulunması göz önüne alınırsa bulunan kuvvet değerleri büyük
kabul edilmemelidir. Buna ilave olarak birde akıntının varlığı hatırlanmalı-
dır. Bu durumda elde ettiğimiz kuvvetlerin hiçde fazla olmadığı ortaya çık-
maktadır. Çünkü ölçülen kuvvet değerlerinin hesaplanana nazaran Janson
metodu için % 57 ve Grace metodu için % 107 kadarlık bir ilave getirdiği gö-
rülmemektedir. Gayrı müsait şartlarda kuvvetin araştırıldığı burada, bu oran-
lardaki bir artma çok sayılmamalıdır. Bu, I 52 I de de belirtilmekte ve
akıntının dikkate alınmaması dalga hızına ($C = L/T$) oranla % 12.5 luk bir
akıntının kuvvette % 25 lik ve % 18.75 lik bir akıntının ise % 40 lik bir
kuvvet fazlalığı getirdiği ifade edilmektedir. Gerçekten, sadece akıntının
testlerimizde boru seviyesinde doğurduğu hızların 0.25 m/sn ye kadar çık-
abildiği bir mikro muline ile ölçülmüş olup, bu durumda dalgaya nazaran $1/3 -$
 $1/7$ ($= \% 33 - 14$) mertebede olan akıntı hızının bu seviyede bir artış ge-
tirmesi makul gözükmemektedir. Çünkü bu artış miktarının içinde diğer tesirle-
rin de rolü kesindir.

Sonuç olarak dalga ve akıntı müşterek hali için Janson ve Grace yöntem-
lerinin daha elverişli ve uygun olduğu gözükmemektedir. Bu iki hesap metodunun
ortaderinlikli su dalgası şartlarını da makul bir şekilde kapsadığı görül-
mektedir. Bu durumda bu denklemlerin dalga ve akıntı birlikte hali için ra-
hatlıkla kullanılabileceği ortadadır. Ancak bir miktar ilave yapılması uy-
gun olacaktır. Bu ilave, değişik projeler için duruma göre farklı olmalıdır.
Bize göre durum değerlendirilmesi şu noktaları dikkate alarak yapılmalıdır
ve artırma ona göre belirlenmelidir.

Boğaltım hattının ulaştığı derinlik dikkate alınmalı ve orta derinlikli
su bölgesinde ihtiyatlı olunmalıdır.

Meteorolojik verilerin yeterliliği ve güvenilirliği dikkate alınmalıdır.

Meteorolojik bilgilerin işlenmesinde kullanılan her türlü hesap prose-
düründen kaynaklanabilecek belirsizlikler dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak artırmanın fiziki şartlar, dalga ikliminin belirlenmesinde
kullanılan verilerin durumu ile bunların değerlendirilmesindeki her türlü
matematik prosedürün tek tek tesiri ve bu etkilerin yığılma ihtimali dikkate

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi



alınarak, dalga hızına yaklaşık % 15 - 35 lik bir akıntının ilavesi halinde kullanılan metoda göre % 50 - 60 veya % 100 - 110 a varan ölçülerde yapılması uygun olacaktır. Ancak bu artışın yüksek tutulması yapıların ekonomik olma özelliğine ters düşecektir. Çünkü her şeye rağmen beklenmeyen kısmi bir hata vukuu halinde sadece o bölgedeki hasarın onarımı mümkündür. Tabii olarak bu % de artış değerinin takdiri proje mühendisine kalacaktır.

Diğer taraftan dalga ve akıntının birlikte etkimesinin doğurduğu kuvvet akıntının tek başına iken doğuracağı kuvvetin, dalganın tek başına doğuracağı kuvvete ilavesi ile bulunması mümkün görülmemektedir. Çünkü Bölüm II-2-8 de verilen denklemlerle bulunan akıntı kuvveti ancak gramlar mertebesinde olmaktadır. Halbuki buradaki ilave bunun çok üzerindedir. Bir başka ifade ile dalga artı akıntı halinde süperpozisyon kaidesi uygulanamayacaktır. Yine belirtilmelidir ki burada bulunan akıntı Dalrymple 1974 I 52 I tarafından verilen artışı geçmemektedir. Bu ise kanatımızca burada ekstrem şartların uygulanmasından kaynaklanmaktadır ve görüldüğü gibi makul sayılmalıdır.

Derinlik azalarak sığsı bölgesine doğru ilerlenildikçe, akışkan partiküllerinin hız ve yörüngelerinin incelenmesinden de görülebileceği gibi (Bk.Ek-1-) başaltım borusunun aldığı kuvvet artacaktır. Bu durum hesap metodlarının verdiği sonuçlardan da izlenebilmektedir. (Erdek projesi, İTÜ 1979 ve Alanya projesi, Ege Ü. 1981). Bu sebeble deşarj hattının, denize girdiği ilk kesimlerde gömülü olarak inşasının uygun olacağı ve tercihlerin de bu doğrultuda olduğunu tekrar ifade etmek yerinde olacaktır.

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi



S O N U Ç L A R

Deniz tabanına yatay veya yataya yakın vaziyette ve hemen taban üzerine düşen borulara gelen su yükleri için dalga ve akıntı müşterek hale göre bulunan sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

1- Dalga ve akıntının birlikte etkimesi halinde doğan kuvvet, dalganın tek başına etkimesi halinde doğan kuvvetten büyük olmaktadır.

2- Birlikte etkiye halinde oluşan ilave dalga kuvveti etkisi, dalga ve akıntı etkilerinin toplanması ile bulunamayacaktır.

3- Müşterek halde bu ilavenin miktarı dalga hızının % 15-35 oranında bir akıntı ilavesi halinde Janson 1973 metodu için % 50, Grace 1981 metodu için % 100 civarında bulunmuştur.

4- Bu seviyedeki ilave bir akıntının varlığında, Janson 1973 ve Grace 1981 metodlarından akıntı hiç dikkate alınmadan kuvvet tahmini yapılması mümkün görülmektedir.

5- Ancak dalgaların orta derinlikli su bölgesinde yani daha büyük oranda etkiye açık olan bölgede dşseli bulunan borular için veya dalga ve akıntının aynı yönlü olması hali gibi borunun alacağı kuvvetleri artıran durumlarda ve buna benzer şartlarda (Ekstrem durumlarda), bulunan kuvvetin artırılarak proje hesap kuvveti olarak alınması uygun olacaktır.

Bu artışın miktarı ise çevre fiziki şartlar, hesaplamalara ithal edilen verilerin yeterlik ve güvenilirliği ve kullanılan matematik prosedürlerin durumu ve bunların müşterek etkisi veya kısaca ekstremlik durumunun ağırlığı dikkate alınarak belirlenmelidir. Yine bu artışın 3. maddede belirtilen yüzdeleri geçmemesi uygun olacaktır.

Bunun yanında bilhassa uzun hatlar için boru tüm boyuyla ele alınmayıp, sadece ekstrem sayılabilecek şartlara maruz kısımların bu hususlar dikkate alınarak değerlendirilmesi uygun olacaktır. Mesala akıntı ile dalga yönünün tüm hat boyunca aynı olma ihtimali çok zayıftır, bu hal belki kısa bir uzunluk boyunca gerçekleşebilir.

6- Bu bilgiler ışığında sığ su bölgesinde hattın gömülü olarak inşası sadece dalganın varlığı haline nazaran daha fazla gerekli olmaktadır.

7- Deneydeki testler sürüklenme-atalet hakim durumun karıştığı bölgede yapılmış (Grace metodundaki γ katsayısının düşük değerleri bölgesi) ve bu bölgede kuvvet katsayısında hızla büyüme eğilimi olduğu bu çalışma ile de görülmüştür. Böylece bu bölgede ki kat sayılara bir miktar daha açıklık getirilmiştir.

8- Böylece ilgili proje mühendisine ekstrem şartların varlığında yardımcı olacak bilgiler elde edilmiş bulunmaktadır.

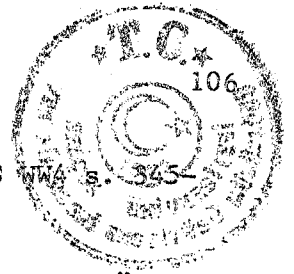


K A Y N A K L A R

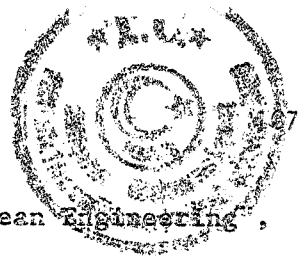
- 1- SÜRÜCÜ G., ARCHİVELA S. J., GER M., GÜR A., ULUÇ E., ÖZKAN E., ENUYSAL M.
"Deniz Kirlenmesi ve Atık Suların Deşarjı-I", ODTÜ Müh. Fak. Çevre Müh.
B31. Ankara, 1980
- 2- BMB-SWECO, "Izmit Master Plan Raporu", İller Bankası Gen. Md. Ankara 1976
2-1 PANCAROĞLU E. "Kanalizasyon Deniz Deşarjları" Türkiye Müh. Haberle-
ri, İMO, No.260, s.28-34, Ankara 1976
- 3- MUSLU Y., "Su Getirme ve Kullanılmış Suların Uzaktlaştırılma Esasları ",
Bayındır Kağıtçılık, İstanbul, s.393-413, 1980
- 4- SAMSUNLU A., "Su Temini-İçme Sularının Arıtılması Suların Uzaktlaştırıl-
ması Kullanılmış Suların Arıtılması Esasları ve Örnek Problemler", Ege
Üniv. Yayın No. 12, s.140-153, İzmir 1979
- 5- KOR N., "Çevre Sağlığı ve Teknolojisi" İTÜ Yayın No. 994, s.324-514, İs-
tanbul 1974
- 6- EGE ÜNİV. İNŞAAT FAKÜLTESİ, "Deniz Deşarjı Araştırma ve Tatbikat Projesi
Nihai Proje", İzmir 1988
- 7- ÜRÜN H., "Hidrolik ve Organik Yükün Dengelenmesinde iç ve dış hat denge-
lemesinin Mukayesesi", Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fak. Dergisi Cilt 1, Kon-
ya 1986
- 8- GRACE R., "Submarine Outfall Design" Printice Hall, USA 1978
8-1 GRACE R. ve ZEE G., "Wave Forces on Rijit Pipes Using Ocean Tests
Data" ASCE J. of the W.P.C. and Ocean Eng. Div. Vol. 107, No. WW2
pp.71-91, 1981
- 9- CEDERWAL K., "Flow Distribution, Dimensioning of Diffusers", Chalmers
Ins. of Tech., Gothenburg, Sweeden, 1964
9-1 HANSEN J. A., JENSEN. P., "Hydrographic and Hydraulic Diffuser De-
sign for Marine Waste Water Discharge" METU, İTÜ, WHO, Ankara 1977
- 10- ROWN A. M.; BOWERMAN F. R., BROOKS N. H., "Diffusers for Disposal of Se-
wage in Sea Water", Trans. ASCE Paper No. 3179, 1960
- 11- METU, İTÜ, WHO, "Sea Disposal of Wastes From Small and Medium-Sized Com-
munities" Ankara 1977
- 12- OĞUZ M., "Denize Atık Su Deşarj Tasarımlarında Optimum Seçeneklerin A-
ranması", Türkiye Mühend. Haberleri No.298, s.14-18, Ankara 1986



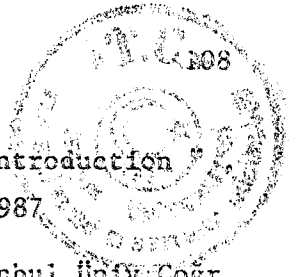
- 13- ÖZHAN E., "Denize Deşarj Yapılarının Tasarımı", I ll I den ayrı basım
Ankara 1977
- 14- İTÜ İNŞAAT FAKÜLTESİ, " Erdek Denize Deşarj Projesi", İstanbul 1979
- 15- WIEGEL R., " Oceanographical Engineering", Printice Hall, Canada 1964
- 16- IPPEN A., "Coastline Hydraulodynamics", Mc Graw Hill, Newyork 1966
- 17- ÜNSAL İ., "Oseanografi", İTÜ Yayın No. 1269 İstanbul 1984
- 18- BRAHTZ J.F. and WALLACE R., "Ocean Engineering (Goals, Environment, Technology)", Jhon Wiley and Sons, s. 627-629; 588-632, USA 1968
- 19- MASUBUCHI K., " Materials for Ocean Engineering",MIT Press, USA 1970
- 19-1 MUGGERIDGE D.B., "Poac 77 Proceedings Vol.I", Poac Proceedings Vol. I-II, Newfoundland, Canada 1977
- 19-2 THE INSTITUON OF CIVIL ENGINEERS, "Design and Construction of Off-shore S." The Ins. of Civil Eng.,London 1977
- 20- LAYTON G.A., "Designe Procedures for Ocean Outfalls", ASCE Hawai Coastal Eng.Vol.4, s.2919-2941 USA 1976
- 21- AIRY G.B., "Tides and Waves", Ancylopedia Metropolitana 1845
- 22- STOKES G.G., "On the Theory of Oscillatory Waves", Trans.Camb. Phil. Soc. Vol. 8, 1847
- 23- DEAN R.G., "On the Reflection of Surface Waves by a Submerced Cylenders" Proc. Camb. Phil. Soc., Vol.44, s. 483-491,USA 1948
- 24- URSELL P., "Surface Waves on Deep Water in the Presence of a Submerged Circular Cylinder", Proc. Camb.Phil. Soc.Vol.111 s.1022-1040, USA 1950
- 25-OGILVIE F.T., "First and Second Order Forces on a Cylinder Submerged Under a Free Surface"Fluide Mechanics Vol.16 s.451-472, London 1962
- 26- DEAN R.G., "Relative Validities of Water Wave Theories", ASCE J.of W.and Harbour Div. Vol. 96 s.105-119, USA 1970
- 27- MORISON J.R.; BRIEN M.P.O.; JOHNSON J.W.; SCHAFF R., "The Forces Exerted by Surface Waves on Piles", Trans. Amer. Ins. of Min.,Metall Engrs. Petroleum Branch Vol. 189 s. 149-154, USA 1950
- 28-BSRA (British Ship Research Association), "A Critical Evaluation of the Data on Wave Forces Coefficient" BSRA Walsend Upon, Tyne, Contract Report N.278, p.26
- 29-YAMAMOTO T.; NATH J.H.; SLOTTA L.S., "Wave Forces on Cylinders Near Plane



- Boundary" ASCE J. of the W.H. and Coastal Eng. Div. Vol.100 s. 345-359, USA 1974
- 30- DALRYMPLE R.A., "Waves and Wave Forces in the Presence of Currents", Proc. of Civil Eng. in the Ocean III s.999-1018. UK 1975
- 31- HOGBEN N.; MILLER B.L.; SEARLE J.W. and WARD G., "Estimation of Fluid Loading on Offshore Structures", Proc. Ins. of Civil Eng Vol.63 s.515-562, UK 1977
- 32- WRIGHT J.C.; YAMAMOTO T. "Wave Forces on Cylinders Near Plane Boundary" ASCE J of W.P.C. and Ocean Eng. Div. Vol.105 No. WW1, USA 1979
- 33- VONGVISESSOMJAI S.; SILVESTER R., "Wave Forces on Submerged Objects" , Coastal Eng. ASCE Hawai, Vol.3 s. 2387-2412, USA 1976
- 34 - SARPKAYA T., "Forces on a Cylinder in Viscous Oscillatory Flow at Low Keulegan-Carpenter Number", J. of Fluid Mech. Vol.165 pp.61-71, UK 1986
- 35- RAGHUNATH H.M., " Dimensional Analysis and Hydraulic Model Testing", Asia Publishing House pp. 65-93, Bombay 1967
- 36- TENG C.C. and NATH J.H., "Forces on Horizontal Cylinder Towed in Waves" ESCE J. of W.P.C. and Ocean Div. Vol.111 pp.1022-1040, USA 1985
- 37- WILLIAMS A.M., "Wave Forces on Inclined Circular Cylinder", ASCE J of W. P.C. and Ocean Div. 111 pp. 910-917, USA 1985
- 38- HYDRAULIC RESEARCH STATION (HRS), "Wave Forces on Submarine Pipelines" HRS Wallingford UK 1975
- 39- JANSON L. E., "Plastic Pipe in Sanitary Engineering", Granges Essen P-last Upplands Wassby Sweden 1973
- 40- WOOD M., "Coastal Hydraulic", Mc Millan and Co. Ltd. London 1969
- 41- MATSUBARA Y.; NODA H.; HIRAO A., "Dynamic Behaviour of the Submerged Buoy Cable by Ocean Waves", Coastal Eng. IN Japan Vol. 28 pp.235-241 1985
- 42- CHAKRABARTI S.K., "Wave Forces on a Randomly Oriented Tubes", Proc. Off-shore Tech. Conf. Houston Paper No.2190
- 43- SKJELBREIA L., "Gravity Waves ; Stokes Third Order Approximation, Tables of Function", Council On Wave Research , Eng. Foundation, Sweden 1958
- 44- SILVESTER R., "Coastal Engineering" I-II", Elsevier Publ. Co. Sweden 1974
- 45- LE MEHAUTE B., " An Introduction to Hydraulodynamics and Water Waves", Springer Verlag Newyork 1976



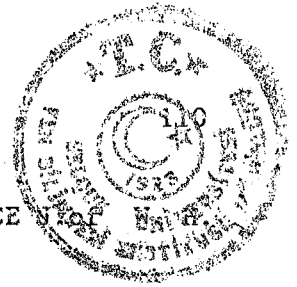
- 46- HORIKAWA K., "Coastal Engineering an Introduction to Ocean Engineering", Univ. of Tokyo Press 1978
- 47- SWENDSEN I. A.; JOHNSON I. G., "Hydraudynamic of Coastal Regions", Technical Univ. of Denmark 1980
- 49- BLUMBERG R.; RIG A.M., " Hydraudynamic Drag and Supercritical Reynolds Numbers", ASME Petroleum Session Los Angeles California 1961
- 50- GRAF W.; KO S., "Tests on Cylinder in Turbulent Flow", ASCE J.of Hyd.Div Vol. 97 pp. 1265-1267 USA 1971
- 51- DALRYMPLE R.A., "Models For Nonlinear Water Waves on Shear Currents", Offshore Tech. Conference Dalls Texas Paper No. 2190 USA 1974
- 52- DALRYMLE R.A., "A Finite Amplitude Wave on a Linear Shear Current", J.of Geophysical Research Vol.79 No.30 pp.4498,USA 1974
- 53- LONGUET-HIGGINS ; STEWART R.W., "The Changes in Amplitude of Short Gravity Waves on Steady Nonuniform Currents", J. of Fluid Mechanics Vol.10 pp.529-549, UK 1972
- 54-BRETHERTON F.P.; GARRETT J.R., "Wave Trains in Inhomogeneous MovingMedia" Proc. Royal Soc. London A.302, pp.529-554, UK 1968
- 55- DALRYMPLE R.A., "Longshore Currents With Wave-Current Interraction", ASCE J of W.P.C. and Ocean Eng. Vol.106 No.WW3 pp.415-419, USA 1980
- 56- DALRYMPLE R.A.; DEAN R.G., "Waves of Maximum Height on Uniform Currents" ASCE J.of W.H.and Coastal Eng. Div.Vol.101 No.WW3 pp.259-267, USA 1975
- 57- HEDGES T.; ANASTASIOU K.; GABRIEL D., "Interraction of Random Waves and Currents", ASCE J. of W.P.C. and Ocean Eng.Div. Vol.111 pp.275-288 1988
- 58- HERCHENRODER B.E., "Current Effects on Waves", Coastal Eng. pp.9-20 1980
- 59- IWAGAKI Y., "Water Partical Velocity Wave-Current System" Coastal Engin. in Japan Vol.23 pp.1-14, 1980
- 60- LIU P.; DALRYMPLE R.A., "Bottom Frictional Stresses and Longshore Currents due to the Waves With Large Angles of Incidence" J.of Marine Research Vol.36 pp.357-375 USA 1986
- 61- TANAKA H.; SHUTO N., "Friction Coefficient for a Wave-Current Coexistent System", Coastal Eng. in Japan Vol.24 pp.105-113 Tokyo 1981
- 62- Tamer S., "Dalga Akıntı Etkileşiminin Açık Deniz Tasarımındaki Yeri" , Türkiye Mühendislik Haberleri İMC No. 319 s.4-10 Ankara 1986



- 63- HEDGES T.S., "Combinations of Waves and Currents : an Introduction"
Proc. Ins. of Civil Engrs.Part I Vol.82 pp.567-585, UK 1987
- 64- ARDEL A.; KUNTER A., "Marmara Denizi : Fiziki Etüd", İstanbul Üniv.Coğr.
Enstit. Dergisi Sayı 56-57
- 65- ARDEL A., " Karadenizin Hidrolojisi", İstanbul Üniv. Coğr. Ens. Dergisi,
Sayı 5-6, 1954
- 66- CARMEL Z.; GOLİK A., "Characteristics of Storm Waves of the Mediterrane-
an Coastof Israel", Coastal Eng. ElsevierVol.105 NO.1 Amsterdam 1985
- 66-1 NIELSEN E.; Dikel B., "Sahil Mühendisliği Dalga Araştırması", Ba-
yındırlık İşleri Dergisi Sayı Ankara 1966
- 67- İNANDIK H., "Sinop Terme Arası Kıyılarınin Morfolojik Etüdü", İstan. Ü-
niv. Coğr. Ens. Dergisi Sayı 15-16, 1956
- 68- MASSIE W.W., "Coastal Engineering I,II,III,IV", Delf Univ. Of Technoloji
Sweden 1976
- 69- US ARMY COASTAL ENG. RESEARCH CENTER, "Shore Protection Manual I,II,III"
Fort Belvoir Virginia USA 1975
- 70- STANLEY D., "The Mediterranean Sea; A Naturel Sedimantation Labratory" ,
Symposium on the Marine Science Heidelberg W. Germany 1971
- 71- HORACE L.S., "Hydraulodynamics" 6th. Publ. p.244 Dover Public. Newyok 1945
- 72- STJELBREİA L.; HENDRICKSON J.A., "Fifth Order Gravity Wave Theory", Proc.
on Coastal Eng. Tokyo, Council on Wave Research, Reichmond, Calif. 1961
- 76- BRETSCNEİDER C.L.(Edit.), "Topics in Ocean Engineering", John Wiley pp
30-36 USA 1969
- 77- DE GRAAUW A., "Forces Due to Waves on Submerged Structuras ", ASCE J. of
the W.H.and Coastal Eng. Div. Vol.97 No.WW1 pp.57-71 USA 1986
- 78- BARRICK D.; LIPA B.J., " The Second-Order Shallow Water Hydrauldynamic Co-
upling Coefficeentin Interpretation of High Fidelity Radar-Sea Echo", I
IEEE J.of Oceanic Eng. Vol. OE-11 N2 pp.310-315 1986
- 79- SAMSUNLU A., " Kıyı ve Liman Yapıları" (Ders Notu) Ege Üniv. Müh.Bil.Fak.
İns Müh. B81. İzmir 1976
- 80- KO S.C.; GRAF W.H., " Drag Coefficient of Cylinders in Turbulent Flow" ,
ASCE J.of the Hld. Div. No.WY5 pp.897-911 USA 1972 .
- 81- LITTLEJOHNS P.S.G., "Submarine Pipeline Research", Hydraulic Research S-
tation Report No. INT-109 Walingford England 1972



- 82- BEARMAN P.W.; DOWNIE M.J.; GRAHAM J.M.R.; OBASAJU E.D., "Forces on Cylinders in Viscous Oscillatory Flow at Low Keulegan-Carpenter Numbers", J. of Fluid Mechanics Vol.154 pp.337-355 UK 1985
- 83- BECKMAN H.; THIDODEAUX M.H., "Wave Forces Coefficients For Offshore Pipelines", Technical Note ASCE J. of W.H.Coas. Eng.Div. pp.61-66 USA 1963
- 84- BRATER E.F.; WALLACE R., "Wave Forces On Submarine Pipelines", Coastal Eng Vol.3 Chapter 95 pp.1703-1722 1972
- 85- BURNET S.J., "Wave Forces on Submarine Pipelines", Offshore Research Focus, No.18 UK 1980
- 86- CHAPLIN J.R., "Morison Inertia Coefficient in Orbital Flow", ASCE J. of W.P.C. and Ocean Eng. Div. Vol.111 No.1 pp.1-13 USA 1985
- 87- COTTER D.C.; CHAKRABARTI S.K., "Wave Forces Testes on Vertical and Inclined Cylinders", ASCE J of W.P.C. Ocean Eng. Div. Vol.110 No.1 pp. 1-3 USA 1984
- 88- DIXON A.G.; GREATED C.A.; SALTER S.H., "Wave Forces on Partialy submerged Cylinders", ASCE J. of W.P.C. and Ocean Div. Vol.105 Noww4 pp. 421-439, USA 1979
- 89- EFTHYMIU M.; NARAYANAN R., "Wave Forces on Unbaried Pipelines", J. of Hydraulic Research Vol.18 No.3 pp.197-211, UK 1980
- 90- GARISON G.J.; FIELD J.B.; MAY M.D., "Drag and Inertia Forces on a Cylinders in Periodic Flow", J. of W.P.C. and Ocean Div. Vol 103 No ww4 pp.343-355, USA 1977
- 91- HUNT j.N.; BADDOUR R.E., "Second-Order Standing Waves" ASCE J. of W.P.C. and Ocean Eng. Div. Vol. 106 No.WW1 pp.122-127, USA 1980
- 92- YEN J., "Wave Forces Analysis: An Aitenative Prosedure", ASCE J. of W.P.C. and Ocean Eng. Vol 106 No WW1 pp117-127 USA 1980
- 93- SARPKEYA T., "Forces on a Circular Cylinder in Viscoz Oscillatory Flow at Low Keulegan_Carpenter Number", J. of Fluid Mechanics Vol.165 pp.61-71, UK 1986
- 94- SON J.S.; HONRATY T., " Numerical Solution For the Flow Around a Cylinder at Reynolds Number of 40,200 and 500 ", J. of Fluid Mechanics Vol.35 pp. 369-386, UK 1969
- 95- CHAKRABARTI S.K.; NAFTZGER R.A., "Nonlinear Wave Forces on Halfcylinder, hemisphere", ASCE J. of W.H.C. and Ocean Div. Vol.100 No.WW3 pp.189-204, USA 1974



- 96- GARISON C.J.; CHOW P., "Wave Forces on Submerged Bodies" ASCE and Ocean Div Vol.98 No.WW3 pp.375-392, USA 1972
- 97- GARISON C.J.; GEHRMAN F.H. and PERKINSON B.T., "Wave Forces on Bottom Mounted Large Diameter Cylinders", ASCE J. of Wh. and Coastal Eng. Div. Vol.101 NO.WW4 pp. 343-355, USA 1977
- 98- SHUTTERLAND A.S.; PAINTER D.J., "Drag Coefficient in nonsteady Turbulent Flow", ASCE J. of Hyd.Div. Vol. 97 No.HY7 pp.1031-1043, USA 1971
- 99- ISAACSON M. De St.Q., "Shallow Wave Diffraction Around Large Cylinder", ASCE J.of W.P.C.and Ocean Eng. Div. Vol.103 No WW1 pp.69-82, USA 1979
- 100- ISAACSON M. De St. Q., " Nonlinear Inertia Forces on Bodies", ASCE J.of W.P.C.Ocean Div. Vol.105 No WW3213-225, USA 1979

T.C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi



EK - 1

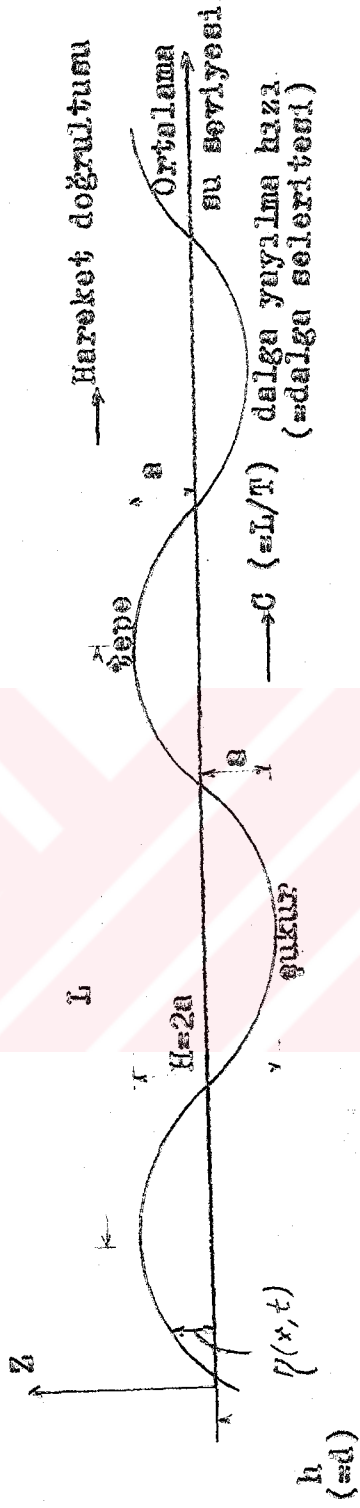
EK -1- 1 DALGALAR

EK -I. 1.1 D a l g a l a r ı O l u ş t u r a n S e b e p l e r :
Dalgaları rüzgarlar, medcezir deniz altında oluşan çöküntüler, volkanik patlamalar ve depremler oluştururlar. Bunlardan ilk ikisi deniz dışından gelen tesirler, diğerleri ise iç tesirlerdir. Rüzgarlar ve medcezir tesirleri diğerlerine nazaran çok daha sık karşılaşılan ve bu yüzden de daha yakından incelenmiş olup şümüllü ve metodlu sonuçlara kavuşturulmuş olan dalga yapıcı tesirlerdir. Yeraltı çökmeleri, depremler ve siklonlarda doğan dalgalar karmaşık yapıda olup, boyları su derinliğine nazaran çok uzundur ve büyük bir enerji taşırlar. Bu sebeple kıyılarda büyük hasarlar oluştururlar. Japonya, Şili, Avustralya kıyıları gibi; Siklonlar için ise Meksika Körfezi gibi kıyılar örnek teşkil ederler.

Rüzgar dalgaları salınımlı (oscillation) veya periyodik hareketler olarak anılırlar. Deniz yüzündeki küçük kırıksıklıklardan, büyük uzun dalgalara kadar çok çeşitli şekillerde oluşurlar. Rüzgarın şiddeti, rüzgara maruz su yüzeyinin uzunluğu (fetch uzunluğu) ve rüzgarın esme süresi ile orantılı olarak değişik yükseklik, uzunluk ve periyodları haiz bir şekilde ortaya çıkarlar. Fetch uzunluğunun daha etkin olduğu dalgalara fetch limitli dalgalar, sürenin daha etkin olduğu dalgalara ise süre limitli dalgalar adı verilir. I 44,15,1 I.

EK -I. 1.2 D a l g a M e k a n i ğ i : Dalga hareketi genel olarak belirli bir sinyali, ortamın bir noktasından başka bir noktasına belirli bir hızla aktaran hareket olarak tanımlanabilir I 17 I. Sinyal ise ani veya tedrici olarak meydana gelebilecek herhangi bir büyüklükteki değişikliklerin tümüdür. Hareketin dalga hareketi olabilmesi için ortamın herhangi bir noktasında, herhangi bir andaki sinyal belirli bir değerde olmalıdır. Sinyalin, yayılma esnasında distorsiyona uğraması, deforme olması, hız veya büyüklüğünün değişmesi mümkündür. Gerçekten açık denizde oluşan rüzgar dalgaları bilhassa kıyıya geldikten sonra kırılma, dönme ve yansıma gibi etkilerle büyük değişikliklere uğrarlar.

Şekil EK -1-1 de basit (düzgün periyodlu, küçük yükseklikli, sinüzoidal) bir dalganın şekli görülmektedir. Şekildeki bazı terimlerin anlamları :



Deniz tabanı $Z=-h$

ŞEKİL EK-1-1 Dalga hareketi tarif şekli





L dalga boyu uzunluğu, yani iki dalga tepesi (sırt, cret) veya çukuru (fak-ne, trough) arasındaki yatay uzunluk. Dalga yüksekliği (H) birbirini izleyen bir tepe ve çukur arasındaki düşey uzaklık veya kot farkıdır. Periyod (T=2π), bir enkesitten bir L boyunun geçmesi için gereken zaman. Amplitüd veya genlik (a), dalga yüksekliğinin yarısı. Dalga yayılma hızı (C), dalğanın sabit bir eksen takımına göre yayılma hızı veya L/T değeri. Dalga dikliği (H) nin, L ye oranı (H/L). Yansıma, herhangi bir engele (mesela bir rıhtım duvarına) çarpan bir dalğanın bu engel tarafından geri gönderilmesi. Kırılma, taban topoğrafyasındaki bir (su derinliğinde azalma, eğimin yönünün değişmesi gibi) bir değişiklik sebebiyle dalğanın yayılma yönünün değişmesi. Dökülme (çatılma), sığsu da yüzeyde ilerleyen bir dalğanın derinlikteki azalma sonucu kararlılığını koruyamayıp, köpüklenerek dökülmesi difraksiyon, yansıtıcı bir engele (dalga yüksekliğine göre küçük olmayan bir engele) çarpan bir dalğanın bu engelin etrafından geçebilmesi halinde dalğanın yayılma yönünde meydana gelen değişme (mendirek uçlarında görülen durum). İlerleyen dalga, dalgaların normal hali veya yayılmakta olan bir dalga. Duran dalga, tepe ve çukurların daima aynı enkesitte gözlenmesi hali. Ortogonal, dalga yayılma doğrutusu veya dalga tepesine dik doğrutu.

EK -I. 1.3. Dalga Denklemiminin Elde Edilmesi, Dalga Teorileri ve Dalgaların Sınıflandırılması: Bilindiği gibi dalgalar rüzgar, gelgit ve benzerlerinin sahip olduğu enerjinin sürtünme, çekme vesaire etkileri suya geçmesiyle su kütlesinde oluşan potansiyel sonucu akışkan partiküllerinin kazandığı hız veya ivme ile oluşurlar. Bu sebeple dalga hareketini hidrodinamik olarak ifade edebilmek için önce bilinen hareket denklemi veya bileşenleri ele alınarak bu denklemdeki hız büyüklüklerinin, bunların yukarıda ifade edildiği gibi bir potansiyelden türemiş olmaları nedeniyle, potansiyel fonksiyonu cinsinden yazılmış haliyle ($u = -\partial\phi / \partial x$, $v = \partial\phi / \partial y$ ve $w = -\partial\phi / \partial z$) denkleme ithali yoluyla elde edilir. Yine bilindiği gibi elde edilen bu denklemin çözümlüyle dalga denklemi olarak harmonik fonksiyonlar ortaya çıkmaktadır.

Dalga denkleminin elde edilmesini özet olarak ele alalım. Koordinat eksenleri x,y,z olsun. İdaal bir akışkanın temel denklemleri kütlenin korunması prensibinden elde edilen süreklilik denklemi ve Newtonun ikinci kanunundan hareketle elde edilen ve daha ziyade Bernoulli denklemi olarak adlandırılan hareket denklemdir. Bu denklemlerin ifadesi şunlardır :

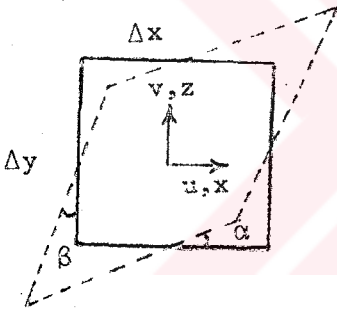
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad ; \quad \frac{D\rho}{Dt} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$



Bunlardan ilki süreklilik denkleminin sıkışabilir bir akışkan için, sağdaki ise sıkışmadığı kabul edilen ideal akışkanın (kararlı veya kararsız hal için) ifadesidir. Hareket denklemi ise yukardaki koordinat sistemi içinde ele alınan bir kübik şekilli elemanın yüzeylerine etkiyen kuvvetler yazılarak elde edilir. Burada akışkan kütlesi yerçekiminin etkisinde bulunduğundan X, Y, Z, kütle kuvvetleri bileşenleri, su moleküllerinin ağırlığı ile oluşan basınç bileşenleri, su moleküllerinin ağırlığı ile oluşan basınç bileşenleri ile şöyle yazılır.

$$X- \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{Du}{Dt} \quad ; \quad Y- \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{Dv}{Dt} \quad ; \quad Z- \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = \frac{Dw}{Dt}$$

Aynı akışkan partikülü hareket esnasında şekil değiştirir. Fakat bu şekil değiştirme esnasında oluşan açısai rotasyon partikülün kütle merkezi etrafında sıfır (elemanın iç açıları toplamındaki değişme sıfır veya kenarların açısai hızlarının ortalaması sıfır ise matematik işlemlerde basitleşme sağlanır. Bu irrotasyonellik olarak bilinir. Burada koordinat eksenlerini iki boyutlu inceleme hali için şekildeki gibi ve ilgili partikül hızlarını da u ve v şeklinde alarak şekilden görüldüğü gibi partikülün ortalama açı hızı α ve β 'nin değişiminin ortalamasıdır ve x, z düzleminde ifadesi (ω) şöyledir.



$$\omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

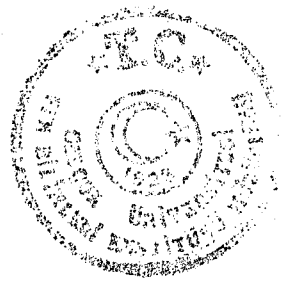
Parantez içindeki ifadenin negatif işaretlisine vortisite denir veya diğer bir ifadeyle vortisite, açısai hızın negatif değerinin iki katına eşittir.

$$f = - \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}$$

Kararlı ve sıkışmaz bir akışkanda (iki boyutlu bir inceleme ile) vortisite vektörü bir akım çizgisi boyunca sabittir. Burada hızların ϕ gibi bir fonksiyondan türediği dikkate alınarak ; $u = - \partial \phi / \partial x$ ve $w = - \partial \phi / \partial z$ yazılırsa

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = f(\phi) \quad \text{veya} \quad = \nabla^2 \phi = f(\phi)$$

denklemi elde edilir I 71 I. Genelde bu denklemin çözümü, $f(\phi)$ vortisite fonksiyonunda ϕ nin bağımsız değişkenlerin varlığı halinde zordur. Fakat basit haller için sonuç alınabilir. Mesela $f(\phi) = 0$ olduğunda denklem, Lapla-



ce denkleminde indirgenmesi klasik şekliyle sonuçlanır.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \text{ veya } \nabla^2 \phi = 0$$

Bu denklem hidrodinamik alanı dışında ses, ışık ve elektromagnetik gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Çözümleri ise harmonik fonksiyonlardır. Bilindiği gibi dalga hareketi de harmonik bir fonksiyondur ve uygun sınır şartları için dalganın formunun dalganın ilerlemesi ile değişmediği kabulü (irradiyasyonellik), sıkışmaz akışkan, kararlı bir akım kabulü gibi önemli kabulleri hemen zikredebilir.

Dalga hareketi için seriye açılarak çözüm yapmak uygun düşmektedir. Seride kısmi türevlerin birinci, ikinci, üçüncü vesaire mertebeden terimleri bulunmaktadır. Çözümler kaçınıcı mertebeden terimler dikkate alınarak elde edildiklerine göre adlandırabilmektedirler. Mesela G.B.Airy (1845) Laplace denkleminde ileride teferruatı verilecek olan "Küçük Genlikli Dalga" teorisini kurmuştur ki bu çözüm bir birinci mertebeye çözümdür. Daha sonra Stokes (1847) tarafından "Sonluluklu Genlikli Dalga" için ciddi bir çözüm geliştirildi. Bu da ikinci mertebeden bir çözümdür. Bundan sonra üçüncü mertebeye çözüm yine Stokes tarafından ortaya konmuş ve sonra (Skjelbreia, 1958) tekrar ele alınmıştır I 72 I. Dördüncü mertebeye çözüm için Borgman ve Chappellear (1961) ve beşinci mertebeden çözüm için Skjelbreia ve Hendrickson (1961) çalışmışlardır ve Skjelbreia bunları toplulaştırarak yayımlanmıştır I 72, 43 I.

Burada çözümün mertebesini belirleyen faktörün seriye açılan terimlerinden hangilerinin ihmal edilmiş olduğunu tekrar belirtelim. Mesela Airy teorisi için (H/L) nin karesi ve daha yüksek üslü terimleri, Stokes için $(H/L)^3$ ve daha yüksek üslü terimler ihmal edilmiştir. Üçüncü ve beşinci mertebeye teorileri için $(H/L)^4$ ve $(H/L)^6$ yı içeren terimler ihmal edilmiştir. Cnoidal teorisi için ihmal edilen terimler ise (H/h) nin çeşitli üstleridir I 26 I.

I - 1-4 D a l g a l a r ı n S ı n ı f l a n d ı r ı l m a s ı : Sınıflandırma hareketi oluşturan sebep (yada kuvvet) veya dalganın uzunluğu, periyodu veyahutta su derinliği esas alınarak yapılmaktadır. Kuvvet veya dalgayı oluşturan sebepler esas alındığında rüzgar dalgaları, fırtına dalgaları (Hurricane), gelgid dalgaları (tidal waves), deniz dibi sarsıntılı dalgaları (Tsunami) gibi. Yine rüzgar dalgaları kapiler dalga ve gravite dalgası olarak da isimlendirilirler. Kapiler dalgalar hafif şiddetteki rüzgarların oluşturdukları yüzey buruşukluklarıdır ve periyodları 0.1 sn civarındadır.

Normal şiddetteki rüzgarlar ise 0.1-5 ve daha fazla saniye periyodlu dalgalar oluştururlar ve ağırlık veya gravite dalgaları olarak adlandırılmaktadır.

Rüzgarın şiddetlenmesi ile periyod ve uzunluk büyümektedir. Fırtınalar güneş ve ayın çekim etkisi, deniz dibi yer sarsıntıları gibi sebeplerin oluşturduğu dalgalar ise uzun (Periyodu veya dalga uzunluklu) dalgalar olarak anılmaktadır. Bunların periyodları 5 dak. ile 12 saat arasında değişken olabilmektedir. Uzunlukları ise yüzlerce metre olabilmektedir.

Dalgaların periyodu esas alınarak kısa, orta ve uzun periyodlu dalgalar ve benzer olarak dalga uzunluğu için de kısa, orta ve uzun dalgalar belirtilmektedir. İfade bunlar daha çok diğer sınıflandırmaların açıklanmasında kullanılmakta olup; literatürde bu tür özel veya yaygın kullanım alanlı sınıflandırma bulunmamaktadır.

Rüzgarların oluşturduğu dalgalar en sık rastlanılan dalgalar olduğundan bunların özel olarak sınıflandırılması yapılmıştır. Bunun için önce dalga hareketinin analitik etüdü yapılırken yapılan kabulleri belirtelim. Sıvı sıkışmaz ve sürtünme etkisi dikkate alınmaz, bir dalga periyodunda veya bir salınım sonunda moleküller yörünge hareketlerini tamamlarlar, su partikülleri kapalı elips (veya çember) biçiminde yörünge çizerler, taban geçirimsizdir ve yatay veya az eğimlidir. Sonuç olarak akışkan ideal ve akım çevrimsiz olarak kabul edilmektedir ve su partikülleri yalnız ağırlık (yerçekimi) kuvvetlerinin etkisi altındadır.

Dalga hareketleri matematiksel yönden iki ana grupta ifade edilmektedir. Hiperbolik dalgalar ve Dispersif dalgalar. Hiperbolik tip hareketlerin diferansiyel denklemleri hiperbolik diferansiyel denklemlerdir. En basit haliyle ifadesi ϕ hareket ile aktarılan özelliği, C yayılma hızını, V^2 Laplasiyeni göstermek üzere

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = C^2 \cdot V^2 \phi$$

dir ve dalga denklemleri olarak anılmaktadır.

Dispersif dalgalar ise en yalın şekliyle aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\phi = a \cos(kx - \omega t)$$

Burada a genlik, k dalga numarası ve ω açısal frekansı işaret etmektedir. ω , k ya bağlı olup ω/k dalganın faz hızını veya yayılma hızını göstermektedir

Ağırlık dalgaları, serbest yüzeyi ilk durumuna döndürmeye çalışan kuvvetin sadece ağırlık tesiri olması halidir. Esasen bu kuvvete birde kapiler kuvveti eklenmek mümkündür. Ancak bu kuvvetin değeri çoğu kere ihmal edilmektedir. Her iki kuvvetin dikkate alınması halinde ağırlık ve kapiler dalga denklemleri ilk yaklaşımla şu şekildedir.

$$C^2 = \left(\frac{2 \pi T}{\rho L} + \frac{gL}{2} \right) \tanh \frac{2 \pi h}{L}$$

Burada T kapilarite kuvvetini, h su derinliğine, L dalga uzunluğunu, ρ özgül kütle ve C yayılma hızını gösterir. Hızın bu şekilde ifade edilebileceği hareketlere STOKES dalgaları adı verilmektedir. Parantez dışındaki ifade h nin L den çok büyük olduğu durumlarda bire çok yaklaşmaktadır. Böylece denklem $d \gg L$ için

$$C^2 = \frac{2 \pi T}{\rho L} + \frac{gL}{2\pi}$$

olur ve dispersiyon denklemleri adını alır. Baştaki denkleminde kapilarite tesiri küçüklüğü sebebiyle ihmal edilirse ağırlık dalgalarının ilk yaklaşımla elde edilen denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2 \pi h}{L}$$

Yukarıda olduğu gibi d nin değerinin değişmesi, daha doğru bir yaklaşımla h/L nin değerinin değişimi denklemin yapısını etkilemektedir. İşte ağırlık dalgaları buna göre sınıflandırılabilir ve derinsu dalgası, orta derinlikli su dalgası ve sığsu dalgası olarak isimlendirilmektedir.

Sığsu Dalgası	Orta Derinlikli Su Dalgası	Derinsu Dalgası	h/L
0 (Uzun dalga)	1/20	1/20 < h/L < 1/2	1/2 (Kısa dalga) ∞
0 < h/L < 1/20 veya	$\pi/10 < 2 \pi h/L < \pi$	1/2 < h/L < ∞ veya	
0 < 2 π h/L < $\pi/10$		$\pi < 2\pi h/L < \infty$	

Diğer taraftan hiperbolik fonksiyonların bazı geometrik özellikleri formüllere basitlik getirebilmektedir. Hiperbolik fonksiyonlar asimptotlu fonksiyonlardır, fonksiyonun bazı bölgelerinde kendi değeri yerine bu asimptotik değerleri almak mümkün olur. Bunlar aşağıda gösterilmiştir.

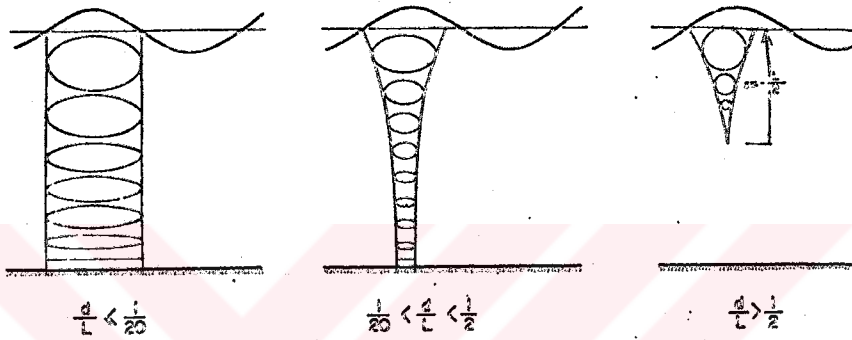
Fonksiyon	Asimptotu	
	Sığsuda	Derinsuda
Sinh 2 π h/L	2 π h/L	$e^{2\pi h/L} / 2$
Cosh 2 π h/L	1	$e^{2\pi h/L} / 2$
Tanh 2 π h/L	2 π h/L	1



Su derinliğini dalga uzunluğuna göre çok büyük olduğu açık denizde $h \gg L$; $\frac{1}{2} < \frac{h}{L} < \infty$ ve dolayısıyla $\tanh 2\pi h/L$ ifadesi 1'e yaklaşacağından, $C^2 = gL/2\pi$ olacaktır. Bunlar derinsu dalgası adı verilmektedir.

Dalga sahile doğru ilerledikçe derinlik (h veya d) azaldığında L izafi olarak büyüdüğünden h/L oranı küçülmekte ve dalga sığsu dalgası yada uzun dalga adını almaktadır. Geçiş bölgesi dalgası ise orta derinlikli su dalgası adını almaktadır.

Su moleküllerinin hareketleri bu üç bölge için farklı olmaktadır. Şekil EK- 1-2



ŞEKİL EK -1-2 Derinlik ve partikül yörüngeleri ilişkisi

EK-1.1.5 Ç ö z ü m Y ö n t e m l e r i : Açık deniz dalgaları karakteristikleri, derinlik çok büyük olduğundan, daha ziyade dalga boylarına bağlıdır. Dalga boyunun derinliğe göre nisbeten küçük olması dalgaların daha düzenli bir görünüme sahip olmalarını sağlamakta yani tepe ve çukurlar birbirlerine yakın genişlikte olmaktadır. Fakat dalga sahile yaklaşık L/d oranı büyüdükçe, çukur genişlikleri tepe genişliklerine göre büyümektedir. Sığsu ve derinsu dalgası arasındaki bu yapı farklılığı, bu dalgaların matematik yönden farklı bir yaklaşımla ele alınmaları sonucunu getirmektedir. Tepe ve çukurlukların genişliklerinin aynı mertebede olmaları halinde hız bileşenlerinin ve profilin Fourier serisine açılabilceği ve serinin ilk terimlerinin alınmasının yeterli olabildiği görülmektedir. Fakat çukur genişlikleri büyüyünce sadece ilk terimlerin alınması halinde matematik modelin verdiği dalga tipinin gözlemlere iyi uymadığı belirlenmiştir. Ancak seriye açılma dışında sığsuda denklemlerde ve sınır şartlarında bazı terimler ihmal edilebildiği için problem basitleşmektedir. Sonuç olarak çevrintisiz dalgaların çözümü için yukarıda verilen kabuller ve esaslar ile çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Yüksekliğin ve derinliğin sonlu olması halinde dalga çözümü için iki



metod verilmektedir. Bunlardan biri çözüm denkleminin seriye açılması, diğeri hem çözüm fonksiyonlarının hem de problemi tanımlayan denklemlerin dönüştürülmesi şeklindedir. Birinci yönteme Stokes teorisi adı verilmektedir. Bu teoride yüzey profilinin trigonometrik fonksiyonlarla temsil edilebileceği kabul edilmektedir. Dalga yüksekliğinin de küçük kabul edilmesi halinde, Airy dalgaları olarak adlandırılan lineer dalga teorisi elde edilir.

İkinci yönteme ise Sığsu teorisi adı verilmektedir. Sığsu teorisinde basınç dağılımları hidrostatik kabul edilebilmelidir. Denklemlerdeki terimlerin artırılması halinde su yüzeyi bir eliptik fonksiyonla ifade edilebilir (Cn fonksiyonu). Bunlara Cnoidal dalgalar denilmektedir. Burada H dalga yüksekliğinin küçük olması şartı yoktur. Bu nedenle teori, lineer bir dalga teorisi değildir. Ancak $H \ll L$ ve $d \ll L$ kabulü yapılabilir ve buna Dalga Denklemleri adı verilir. Stokes teorisinin $L/d < 8-15$ ve Cnoidal teorisinin de $L/d > 8$ olması halinde kullanılması uygun görülmüştür.

Dalgalar açık denizde rüzgar etkisinin doğrudan tesiri altında kalan bölgede oluşurlar. Bu bölgeye dalga üretim bölgesi adı verilmektedir. Bu bölgede dalgalar çok karışık ve düzensizdir. Ancak üretim bölgesi dışına çıkılınca dalgalar çok daha düzgün bir şekil kazanır ve boylarında üretim bölgesinden daha uzun olur. Bu bölgeye Ölü deniz adı verilmektedir. Bu sebeple biraz sonra adı verilen metodlar Ölü deniz bölgesindeki yani teşekkül etmiş durumdaki dalgaları ele alırlar.

Uygulamada görülen rüzgar dalgalarının periyodları 3-20 sn kadar olup, yükseklikleri iç denizlerde maksimum 10 metrenin altında, okyanuslarda ise en çok 20 m. yi bulabilmektedir. Uzunluk ise yüzlerce metre olabilmektedir. Bu yöntemler akışkanda çevrinti olmadığını kabul etmektedirler. Bu kabul ile verilen Stokes ve Cnoidal dalgalar gözlemlerle uyusmakta ; çevrintinin varlığı esasına göre bulunan profiller ise gözlemlerle uyusmamaktadır (Gerstner dalgaları).

EK-1.1.5.a D a l g a T e o r i l e r i : Böylece çevrintiyi dikkate almayan çözüm yöntemleri, dalga yüksekliğinin büyüklüğünü dikkate almaktadırlar. Buna göre Küçük Yükseklikli Sinüzoidal Dalgalar ve Sonlu Yükseklikli Sinüzoidal Dalgalar, Cnoidal Dalgalar ve Tek (Solitary) Dalgalar metodları vardır. Bunların kısaca tanıtımı aşağıdadır.

EK-1.1.5.1.a K ü ç ü k G e n i i k l i D a l g a l a r (S m a l l A m p l i t u d e) : Birçok literatürde bu isim kullanılmakla birlikte, ba-



zen küçük yükseklikli dalga olarak bahsedilmektedir.

Laplace diferansiyel denkleminde hareketle sürtünmesiz bir akışkan-
da kararlı (Steady) akım hali için elde edilen Bernoulli denklemi şu şekil-
dedir.

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (U^2 + V^2) + \frac{P}{\rho} + gz = 0$$

Burada U ve V, x ve z doğrultularındaki hız bileşenlerini, ϕ hareketin sa-
hip olduğu potansiyeli, P basıncı, t zamanı, ρ özgül kütleyi göstermektedir.
Bu çözüm yönteminde küçük yükseklikli dalga hareketinde, bütün hareketlerin
yeterince küçük olduğu ve böylece Bernoulli denkleminin lineerleştirilebi-
leceği kabulü yapılır ve veya başka bir ifadeyle bu yaklaşım mertebesinde
denklemdaki U^2 ve V^2 nin ihmal edilebilecek kadar küçük oldukları ve salı-
nımların sakin su seviyesi civarında olduğu kabul edilmektedir. Hareketin
periyodu T, dalga yayılma hızı C, dalga uzunluğu L ve hız bileşenlerinin
değerleri için aşağıdaki bağıntılar verilmektedir.

$$T^2 = \frac{2\pi L}{g} \coth \frac{2\pi h}{L} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$$
$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2\pi(\frac{h+z}{L})}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \cos 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{L})$$
$$v = -\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{\pi H}{T} \frac{\sinh 2\pi(\frac{h+z}{L})}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{L})$$

Ayrıca su yüzü profilini veren η ve hareketin sahip olduğu ϕ potansiyeli ve
basıncı ise şöyledir.

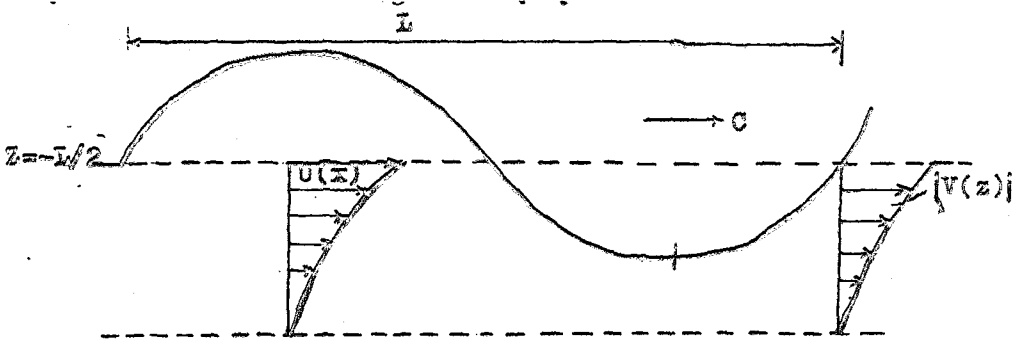
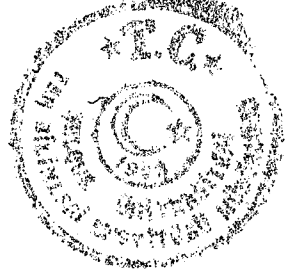
$$\eta = \eta(x, t) = a \sin(kx - \sigma t) \quad \sigma = \omega = 2\pi/T$$

$$\phi = \frac{a g \cosh k(h+z)}{\sigma \cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad k = 2\pi/L$$

$$P = \gamma \left[\eta \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} - z \right]$$

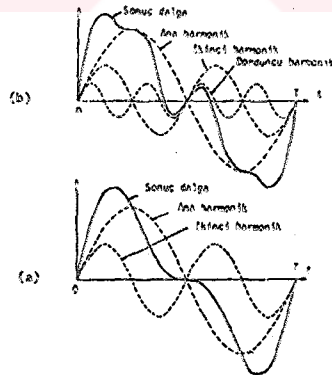
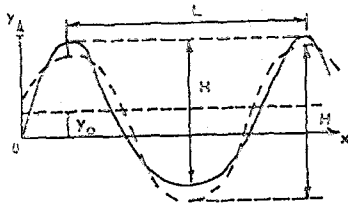
Bu teoriye göre supartikülü hızlarının düşey ve yatay bileşenlerinin
grafik olarak gösterilişi şekil EK-1-3 dedir.

Yukarıda belirtildiği gibi bu teori Laplace diferansiyel denkleminde
hareketle G.B.Airy tarafından kurulmuştur. Bu sebeple Airy teorisi olarak
da anılmaktadır.



ŞEKİL EK-1-3 Partikül düşey ve yatay hızları

EK-1.1.5.1.b Sonlu Genlikli (Finite Amplitude) Dalgaları : Küçük yükseklikli dalga teorisinde serbest yüzey şartlarının lineerleştirilebilmesi için hareket yeteri kadar küçüktür kabulü yapılmıştı ve özel olarakda ikinci ve üçüncü mertebeden terimlerin ihmal edilmesi kabul ediliyordu. Ancak yüksekliğin yada yarı yükseklik olan amplitüdün büyümesi halinde, ihmal edilen ikinci, üçüncü veya dördüncü dereceli terimlerin dikkate alınması daha uygun profillerin elde edilebilmesi için gerekli olmaktadır. Burada dalga yayılma hızı birinci mertebe teorisinde olduğu gibi yükseklikten bağımsız değildir. Ayrıca küçük genlikli dalgalarda ortalama salınım seviyesi ile sakin su seviyesi aynı olduğu halde, burada y_0 gibi bir miktar daha yukarıdadır. Şekil EK-1-4.



II- (a). Ana harmonik ve 2 nci harmonikten oluşan dalga;
(b). Ana harmonik ve 2 nci ve 4 nci harmoniklerden oluşan dalga.

EK-1.1.5.1.d Tek (Solitary) ve Cnoidal

Dalgaları : Sonlu yükseklikli dalgalardır ve uzun dalgalar sınıfında olup, sığ sularda gözlenirler. Bu hareketin bütün karakteristikleri modül adı verilen ve (0) ile bir arasında değişen bir 'k' parametresi ile belirle-

SUMMARY OF EQUATIONS
STOKES THIRD APPROXIMATION

EK-1.1.5.1.c Stokes' in 3. Mertebe Teorisi:

A. A Sonlu Derinlikli Su (I 43 I den aynen alınmiştir.)

1. 1 Bernoulli Denklemi

$$p/\rho + 1/2 (u^2 + v^2) + gS + \frac{\partial \phi}{\partial t} = \text{constant}$$

2 Hız Potansiyeli

$$\frac{2\pi}{L} \frac{\phi}{C} = F_1 \cosh \frac{2\pi S}{L} \sin \theta +$$

$$1/2 F_2 \cosh \frac{4\pi S}{L} \sin 2\theta + 1/3 F_3 \cosh \frac{6\pi S}{L} \sin 3\theta$$

$$\theta = \frac{2\pi}{L} (x - Ct)$$

3 Dalga Profili

$$y/L = A_1 \cos \theta + A_2 \cos 2\theta + A_3 \cos 3\theta$$

4 Dalga Hızı

$$C = \frac{L}{T}$$

5 Partikül Hızı

$$\frac{u}{C} = F_1 \cosh \frac{2\pi S}{L} \cos \theta + F_2 \cosh \frac{4\pi S}{L} \cos 2\theta +$$

$$F_3 \cosh \frac{6\pi S}{L} \cos 3\theta$$

$$\frac{v}{C} = F_1 \sinh \frac{2\pi S}{L} \sin \theta + F_2 \sinh \frac{2\pi S}{L} \sin 2\theta +$$

$$F_3 \sinh \frac{6\pi S}{L} \sin 3\theta$$

6 Partikül İvmesi



$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} (u^2 + v^2)$$

$$\frac{L}{2\pi c^2} \frac{\partial u}{\partial t} = u_1 \sin \theta + 2u_2 \sin 2\theta + 3u_3 \sin 3\theta$$

$$\frac{L}{2\pi c^2} \frac{du}{dt} = (u_1 - \frac{1}{2} u_1 u_2 - \frac{1}{2} v_1 v_2) \sin \theta +$$

$$2 (u_2 - \frac{1}{4} u_1^2 + \frac{1}{4} v_1^2) \sin 2\theta + 3 (u_3 - \frac{1}{2} u_1 u_2 +$$

$$\frac{1}{2} v_1 v_2) \sin 3\theta$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial s} (u^2 + v^2)$$

$$\frac{L}{2\pi c^2} \frac{\partial v}{\partial t} = -v_1 \cos \theta - 2v_2 \cos 2\theta - 3v_3 \cos 3\theta$$

$$\frac{L}{2\pi c^2} \frac{dv}{dt} = u_1^2 - (v_1 - \frac{1}{2} u_1 v_2 - \frac{1}{2} u_1 u_2 - u_2 v_1) \cos \theta -$$

$$2v_2 \cos 2\theta - 3(v_3 + \frac{1}{6} u_2 v_1) \cos 3\theta$$

7 Partikül Yerdeğiştirmesi

$$\xi = -\frac{L}{2\pi} \left\{ F_1 \left(1 - \frac{1}{8} F_1^2 \right) \cosh \alpha + \frac{F_1}{8} (3 F_1^2 + 10 F_2) \right.$$

$$\left. \cosh 3\alpha \right\} \sin \theta' - \frac{L}{4\pi} \left\{ -\frac{1}{2} F_1^2 + F_2 \cosh 2\alpha \right\} \sin 2\theta' -$$

$$\frac{L}{6\pi} \left\{ \frac{1}{4} F_1 (F_1^2 - 5F_2) \cosh \alpha + F_3 \cosh 3\alpha \right\} \sin 3\theta' +$$

$$\frac{ct}{2} F_1^2 \cosh 2\alpha (1 - F_1 \cosh \alpha \cos \theta')$$

$$\eta = \frac{L}{2\pi} \left\{ F_1 \left(1 - \frac{3}{8} F_1^2 \right) \sinh \alpha + \frac{F_1}{8} (F_1^2 + 6F_2) \right.$$

$$\left. \sinh 3\alpha \right\} \cos \theta' + \frac{L}{4\pi} F_2 \sinh 2\alpha \cos 2\theta'$$

$$+ \frac{L}{6\pi} \left\{ -\frac{3}{4} F_1 F_2 \sinh \alpha + F_3 \sinh 3\alpha \right\} \cos 3\theta' + \frac{ct}{2} F_1^3 \sinh \alpha \cosh 2\alpha \sin \theta'$$

burada $\theta' = \frac{2\pi}{L} (x' - ct)$

$$\alpha = \frac{2\pi}{L} (z + d)$$

8 Dalga Enerjisi

Potansiyel

$$E = \frac{wL^3}{4} A_1^2 \left[1 + \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \text{ft} - \text{lb/ft}$$

Kinetik

$$E_K = \frac{wL^3}{4} A_1^2 \frac{c^2}{c_1^2} \left[1 + (2\pi A_1)^2 + \frac{2\pi A_2}{\sinh \frac{4\pi d}{L}} \right]$$

burada $c_1^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$

C = Dalga hızı

B. Derinsu

1 Bernoulli Denklemi

$$p/\rho + \frac{1}{2} (u^2 + v^2) + gS' + \frac{\partial \phi}{\partial t} = \text{constant}$$

2 Hız Potansiyeli

$$\phi = A_1 LC e^{\frac{2\pi S'}{L}} \sin \theta$$

3 Dalga Profili

$$y/L = A_1 \cos \theta + A_2 \cos 2\theta + A_3 \cos 3\theta$$

4 Dalga Hızı

$$C = \frac{L}{T}$$

5 Partikül Hızı

$$u = 2\pi C A_1 e^{\frac{2\pi S'}{L}} \cos \theta$$

$$v = 2\pi C A_1 e^{\frac{2\pi S'}{L}} \sin \theta$$



6 Partikül İvmesi

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{du}{dt} = 4 \frac{\pi^2 C^2}{L} A_1 e^{\frac{2\pi S'}{L}} \sin \theta$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{dv}{dt} = -4 \frac{\pi^2 C^2}{L} A_1 e^{\frac{2\pi S'}{L}} \cos \theta$$

7 Partikül Yerdeğiştirmesi

$$\xi = -L A_1 \left\{ e^{\frac{2\pi z}{L}} + \frac{3}{2} (2\pi A_1)^2 e^{\frac{6\pi z}{L}} \right\} \sin \theta' +$$

$$ct (2\pi A_1)^2 \left\{ e^{\frac{4\pi z}{L}} - 2\pi A_1 e^{\frac{6\pi z}{L}} \cos \theta' \right\}$$

$$\eta = L A_1 \left\{ e^{\frac{2\pi z}{L}} + \frac{1}{2} (2\pi A_1)^2 e^{\frac{6\pi z}{L}} \right\} \cos \theta' -$$

$$ct (2\pi A_1)^3 e^{\frac{6\pi z}{L}} \sin \theta'$$

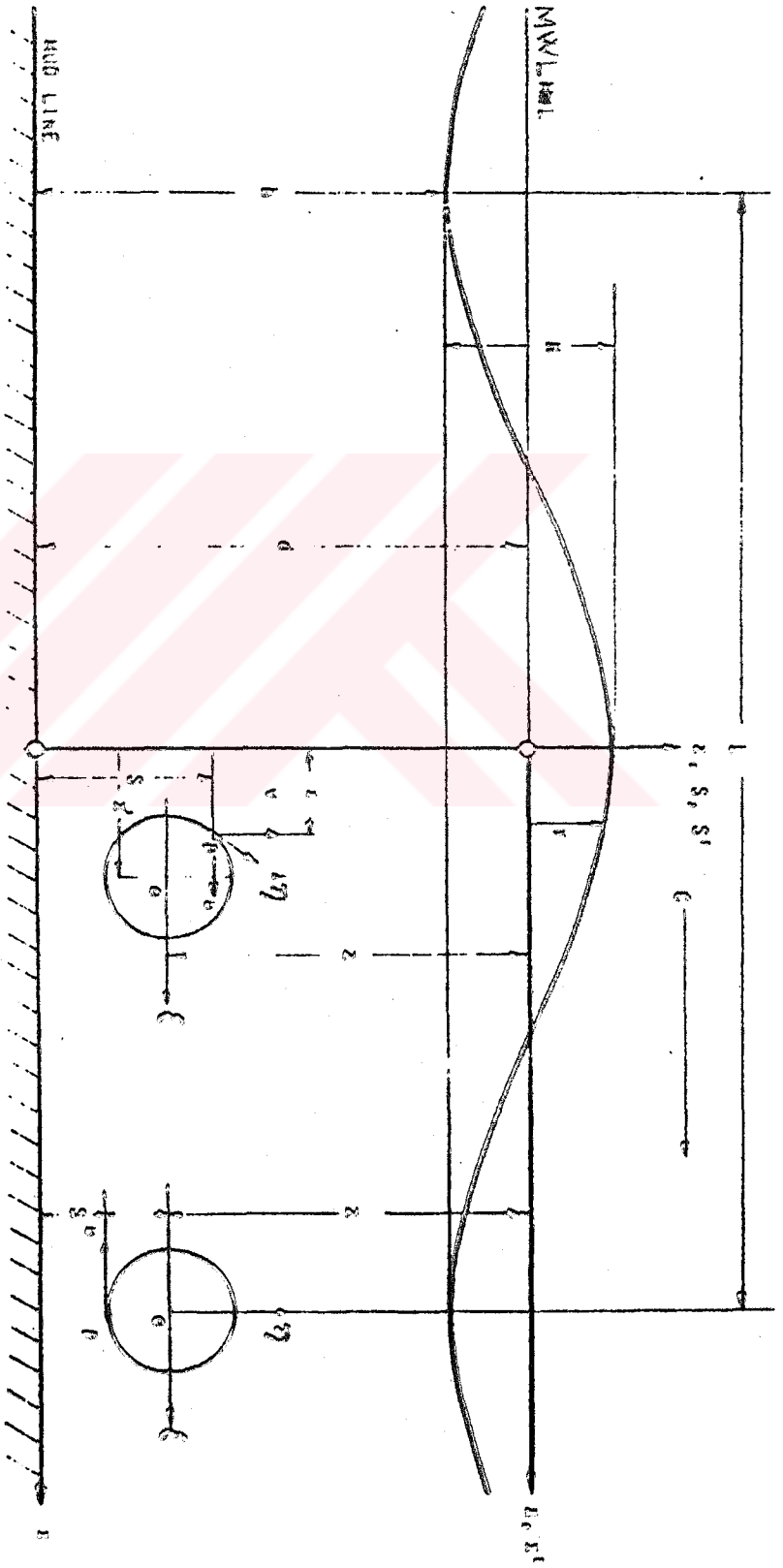
$$\theta' = \frac{2}{L} (x' - ct)$$

8 Dalga Enerjisi
Potansiyel

$$E_p = \frac{wL^3}{4} A_1^2 \left[1 + \pi^2 A_1^2 \right] \text{ft} - \text{lb/ft}$$

Kinetik

$$E_k = \frac{wL^3}{4} A_1^2 \left[1 + (2\pi A_1)^2 \right]^2 \text{ft} - \text{lb/ft}$$



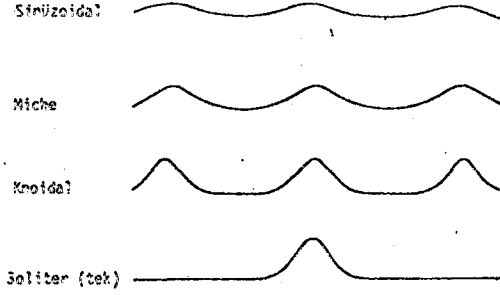
- C Dalga hızı
- d Su derinliği, durgun su seviyesinden tabana ölçülmes.
- h Dalga Yür. ekliği
- h Derinlik, tekre altındaki
- l Dalga uzunluğu
- x Partikülün Yatay Pozisyonu, Dalga ilerlerken doğrultusunda pozitif.
- x Ortalama bevyede Partikülün dikey pozisyon, Yön x cakt. gibi.
- y Su Yüzü Seviyesi, Lığın Su Seviyesi yukarısında

- z Ortalama pozisyonunda partikülün dikey pozisyonu MWL'den yukarı pozitif
- Ortalama pozisyonunda partikülün yatay yer değiştirilmesi.
- n Ortalama pozisyonundan partikülün dikey yer değiştirilmesi.
- S= d+z+n, Tabanın yukarısında partikülün seviyesi.
- u Yatay partikül hızı
- v Düşey partikül hızı
- S= z+n, Partikül seviyesi, MWL yukarısında

ŞEKİL 5K-1-5
DALGA SEMBOLLERİ

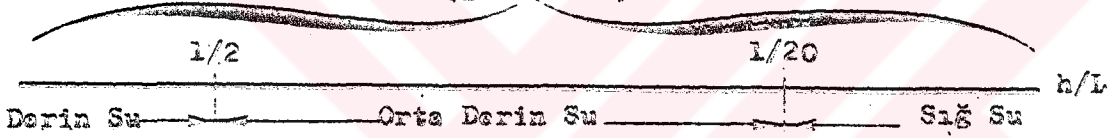


nebilirler. $k = 0$ ise sinüzoidal hareket ve $k = 1$ olması halinde tek dalgalar elde edilir. Bu teorilerle elde edilen su yüzü profilleri örnekleri Şekil EK-1-6'dedir. Ayrıca sonlu yükseklikli dalgaların sınıflandırılması Şekil EK-1-7'dedir.

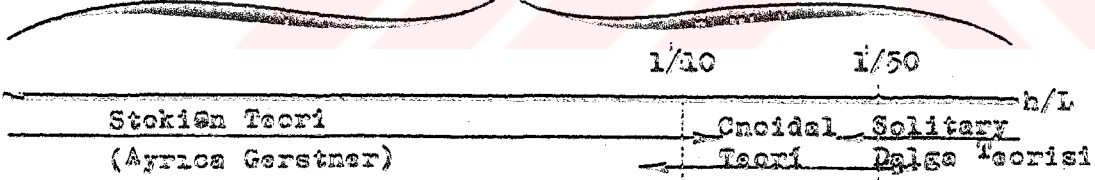


ŞEKİL EK-1-6 Çeşitli dalga teorilerine karşılık gelen su yüzü profilleri

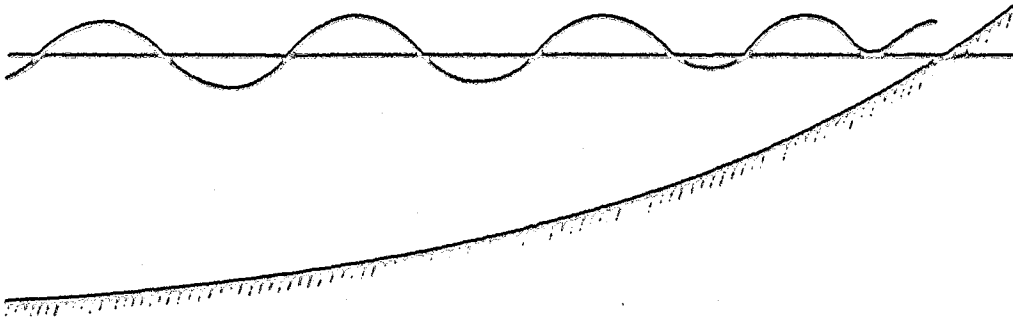
Küçük Genlikli Dalga
(Tek Teori)



Sonlu Genlikli Dalga
(En Az 3 Teori)



H/L Önemli $H/L, H/h$ Önemli $H/h, h$ Önemli
Önemli Parametreler



ŞEKİL EK-1-7 Sonlu Genlikli Dalgaların Sınıflandırılması



EK-1.1.6 Dalga Teorilerinin Mukayeseleri, Geçerlilik Alanları; Sonuç: Buraya kadar özetlenen dalga sınıflandırılması, dalga teorileri için mukayeseler ve geçerlilik şartları ile uygun kullanım alanları Dean, 1970 ve Larras, 1979 (Dalgaların Fiziği-Physique de la Houle et des Lames) adlı eserde tartışılmaktadır. Ayrıca aynı konu Henderson, 1966 (Open Channel Flow, Macmillan Book Co.) ve Ünsal, 1978 (Değişken Akımların Hidroliği, İ.T.Ü., yayın no: 1108) tarafından da tartışılmıştır I 26,48,17 I.

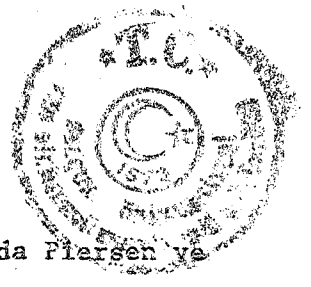
Dalga teorileri bölümünde verilen bilgiler hakkında teferruat için aşağıda sıralanan kaynaklara bakılmalıdır. Buradaki bilgiler bu kaynaklardan temin edilmiştir I 8,15,16,17,43,46,54,68,73,75,79 I.

EK-1.1.7 Dalga Tahmin Yöntemleri: Projelendirme açısından dalgalar için en önemli parametreler dalganın H yüksekliği, T periyodu ve L uzunluğudur. Bir önceki bölümde belirtildiği gibi hız ve ivme, su derinliği gibi sınır şartları ve teorik kabullerle güvenilir yaklaşımlarla elde edilebilmektedir.

O halde bir projelendirme işinde dalga tahmini demek proje dalgasının yükseklik, periyod ve uzunluğunun belirlenmesi anlamındadır. Dalgaları olduğuna göre bulunması gerekli parametreler rüzgarla oluşan H, T ve L dir. Meteorolojik verilerden alınan rüzgar hızları, esme süreleri ve feç mesafesi adı verilen ve harita üzerinden alınabilecek rüzgarla suyun temas uzunluğuna dayalı olarak, derin su esasına göre H yüksekliği ve T periyodu belirlenir sonra bu H ve T kullanılarak önceki bölümde verilen formüllerle L bulunur. Daha sonrada derin sudan sığsuya geçişde oluşacak değişiklikler bu iş için hazırlanan tablolarından belirlenir.

Dalga tahmini için basit yöntemler çeşitli verilerden faydalanılarak elde edilmiş abaklardan yararlanmaktadır. Bu tür bir tahmin yöntemi Swerdup, Munk, Breitschneider tarafından 1973 yılında verilen SMB yöntemidir. Bu yöntem 1975 yılında U.S.Army Coastal Engineering Research tarafından sürtünme ve sızmaları yüzünden kaybolan enerji dikkate alınarak sığ ve orta sulardaki dalga oluşumunu da tanımlayabilecek şekilde geliştirilmiş bulunduğu yaygın olarak kullanılmaktadır I 69 I.

İkinci bir yöntem olarakda bir dalga alanındaki bütün periyodları ve bu periyodlardaki dalga yüksekliklerini veren dalga spektrumları elde edilir. Dalga ikliminin belirlenmesi ve dalga spektrumlarının elde edilmesi için ba-



zı basitleştirilmiş yöntemler geliştirilmiş olup, bunlar arasında Piarsen ve Moskowitz yöntemi, PNJ yöntemi, Jonswap ve Darbyshire yöntemi sayılabilir I 44,16 I.

Dağaların fiziksel büyüklükleri ve bu büyüklüklerin zaman içindeki değişimlerini veya kısaca dalga iklimini belirleyebilmek için en güvenilir yol, uygun süreli dalga ölçümlerini değerlendirilmesidir. Ancak bu yol uzun ve pahalı olduğundan her zaman baş vurulabilir bir yöntem değildir. Bu sebeple yukarıda belirtilen spektrum veya SMB türü yöntemler veya bunun yanında daha basit işler için amprik formülasyonlara örnek olarak Wilson formülü, Bretschneider formülü, Saville'nin modifiye edilmiş formülü ve bu üç metodun sentezinden oluşan metod ve ayrıca rüzgarların oluşturduğu ekstrem dalgalar için Gumbell'in asimptotik dağılımı yöntemleri verilebilir I 76 I.

Dağa istatistikleri için en yaygın kullanım yöntemlerinden biride gemilerden yapılan gözlemlerden yararlanmaktadır. Ancak bununda sıhatsiz sonuçlara götürebileceği bildirilmektedir ve bu metoddaki yanlışlıkların azaltılması için yarı logaritmik ve Weibull dağılımından yararlanan bir bilgisayar programı geliştirilmeye çalışıldığı belirtilmektedir I 77 I.

Dağa tahminleri için verilen bu yöntemlere ilaveten gelişen elektronik teknolojisinin imkanlarından yararlanılmaya başlanılmıştır. Yüksek frekanslı radar dalgaları kullanılarak yapılan tesbitler bu konuda doğrudan ölçmeler durumundadır I 78 I.

EK-1.1.8. Dalga Etkisinin Yapılar Üzerindeki Tesiri ve Proje Dalgası Seçimi :
Deniz içine inşa edilen dalgakıran, rıhtım, iskele, deniz feneri, petrol platformları ve borular gibi yapıları projelendirilmesinde yapı ve dalga etkileşiminin bilinmesi gerekmektedir. Dalgaları tabiatta olduğu şekliyle önce tesbit etmek ve sonrada yine bu tabii, karmaşık, rastgele haliyle kullanmak mümkün olmamaktadır. Tabiatta dalgalar değişik yönlerden, değişik periyod ve yüksekliklerle gelirler. Projeci ise bu bilgiyi yapının özelliklerini, çevrenin özelliklerini, dalğanın özelliklerini, bunların birlikte değerlendirilmesini ve ekonomik mülahazaları dikkate alarak bir yönde gelen bir tek dalga olarak kullanmak durumundadır. Bu, gerçekten varolabilen fakat dönüştürülmüş veya sentetik bir dalgadır. Buna proje hesap dalgası veya sadece proje dalgası denilmektedir.

Dalgakıran, rıhtım hatta deniz feneri gibi kıyı yapılarında ve denize



deşarj maksadıyla serilen borular denizin sahil kesimi veya yakın sahil (near shore) adı verilen bölgesinde yer alırlar. Bu bölge için en önemli dalga tipi rüzgar dalgalarıdır. İç denizlerde ve özellikle ilgilendiğimiz yapı türü açısından sahilden açığa doğru sığsu, orta derinli su ve derin su dalgası ve fiziki karakter bakımındanda sinuzoidal dalgalar özelliğinde olmaktadır I 6,8 I.

Rüzgar dalgaları yapının ekonomik ömrü içerisinde milyonlarca defa vuku bulmaktadır. Bu dalgalara karşı yapıların etkilenişi iki değişik şekilde olmaktadır.

1- Dalgaların uzun süre çalışmalarıyla çökertebilecekleri tipteki yapılar,

2- Tek başına yüksek bir dalganın yıkabileceği tipteki yapılar.

Bilindiği gibi bir yapının projelendirilmesinde en önemli hususlardan biri o yapının ekonomik ömrü olmaktadır. Yine bilindiği gibi, baraj gibi bazı yapılar için bu ömür sabit değildir. Çünkü ömrü belirleyici en önemli faktör olan rüsubat debisi her yapı için farklı olmaktadır. Fakat bir boru hattı olandeşarj yapısı, su getirme şebekesi yapısı için ömür değişik projelendirmeler için sabit alınmaktadır. Deşarj yapısı için 50 yıllık miktar uygun görülmektedir I 6,8,14,79 I.

Her iki tip yapı için de ekonomik ömür kabul ve tesbiti gereklidir. Ancak birinci tip yapılar için belirli bir risk göz önüne alınarak, bu ekonomik ömür içerisinde oluşması muhtemel en büyük fırtınada ki dalgaların temsil edebilecek bir dalga, proje dalgası olarak kabul edilir. Ancak burada uygulamanın sadece bir çeşit olmadığını belirlemek yerinde olur.

Bu iki tip yapı için seçilmesi gerekli proje hesap dalgası haliyle farklı olacaktır. Bunlardan birinci yapı için seçilen hesap dalgası "hakim dalga veya belirgin dalga (significant wave)" adını almaktadır. İlgili tanımlar şöyledir.

Hakim dalga yüksekliği ($H_s=H_{1/3}$) : Belirli bir dalga sisteminde dalgaların en yüksek 1/3 lük kısmının ortalama yüksekliğidir.

Maksimum dalga yüksekliği ($H_m=H_{max}$) : Bir dalga sisteminde belirli bir noktaya belirli bir süre içinde oluşan dalgalardan yüksekliği en büyük olan dalgadır.

Hakim dalga periyodu ($T_s=T_{1/3}$) : Belirli bir dalga sisteminde dalgalara-



ran en yüksek 1/3 lük kısmının ortalama periyodur.

İkinci tip yapılarda ise yine bir risk göz önüne alınarak, kabul edil-
len ömür içinde yapıya gelmesi muhtemel en büyük dalga (H_{max}) proje dalgası
olarak seçilebilir veya bu H_{max} ile H_s arasında bir dalga da seçilebilir.

Birinci tip yapılara yağma kayalık dalgakıranlar ve temelleri oyulma-
ya müsait beton yapılar; ikinci tip yapılara ise duvar tipi dalgakıranlar,
kazıklı rihtım ve iskelelerin tabiiyeleri ve petrol platformları örnek ola-
rak verilebilir I 79 I.

EK-1-2 AKINTILAR

EK-1.2.1 Akıntıyı Oluşturan Sebepler: Ak-
ıntılar yoğunluk ve sıcaklık farklarında, rüzgarın su yüzeyinde doğurduğu
sürtünme kuvvetinden, nehirlerden, bölgeler arası su seviyelerinde ki fark-
lılıklardan, gel-git hareketinden, atmosfer basıncındaki değişimlerden mey-
dana gelirler I 15,1 I.

Bu sebeplerle meydana gelen akıntıların bir kısmı devamlı nitelikte-
dir. Bunlara Golf Stream (Meksika Körfezi-Norveç), Kuro-Şiva (Formosa adala-
rı-Kuzeydoğu Japonya) sıcak su ve Labrador(Kuzey Buz Denizi-Labrador) soğuk
su akıntıları, İstanbul Boğazındaki akıntılar gösterilebilir. Bunlar ısı ve
sıcaklık farkları oluşturduğu basınç farklılaşması ile doğarlar. Rüzgarlar
gibi etkilerin doğurduğu akıntılar ise sebep ortadan kalkınca çevre su kütle-
si ve kara ile sürtünmenin sonucu yok olurlar.

Her tür akım üzerine Dünyanın dönmesine, su kütlesi üzerine kütleinin
sahip olduğu atalet sebebiyle, bir etkisi olmaktadır. Bu etkiye "Coriolis"
kuvveti denilmektedir. Koriyolis kuvveti ^(*) kuzey yarımkürede sağ tarafa doğ-
ru güney yarım kürede ise sol tarafa doğru etki yapmaktadır.

Rüzgarın doğurduğu akıntılar, rüzgarın sahip olduğu enerjinin sürtün-
me yoluyla su yüzüne aktarılması sonucu oluşurlar. Bu şekilde suya aktarılan
kuvvet suda hem dalga hemde akıntı oluşturmaktadır. Akıntının hızı için deği-
şik formüller mevcuttur.

(*) Koriyolis kuvveti $C = 2W_0 \sin E^0 A$ ifadesiyle verilmektedir. A, Akıntı
hızını cm/sn; E, enlem derecesini; W, yer küresinin ekseni etrafındaki açısal
hızı (radyan/sn); C = dyn/gr-kütle.



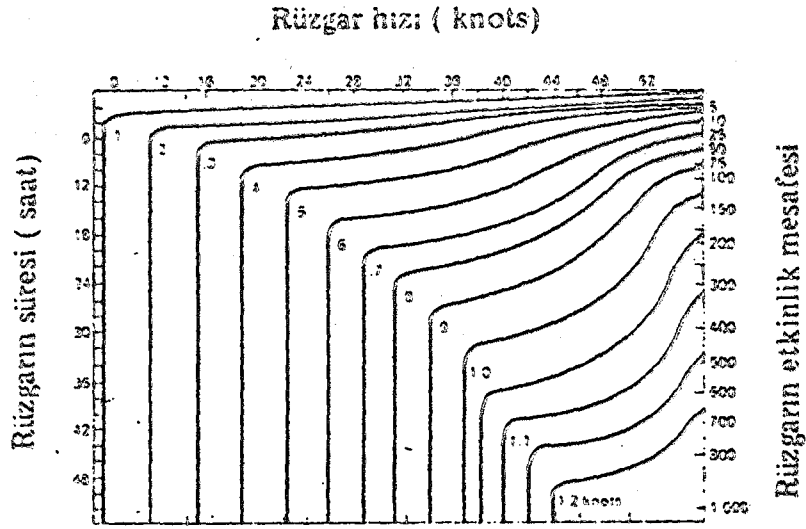
Atmosferdeki basınç farklarından doğan akıntılar: Atmosferdeki basın-
cın yerel olarak değişmesi bir akıntı doğurabilecek güçtedir. Mesela 1 mmi-
barlık bir basınç düşmesi deniz seviyesinde 1 mm lik yükselmeye sebep olmak-
tadır. Bu yükselme ise kumsu alçak tarafa doğru bir akım doğurmaktadır.

Gel-git akıntıları : Ay ve Güneşin Dünya üzerindeki çekim kuvvetleri-
nin etkisiyle özellikle okyanuslarda meydana gelen gel-gitler aynı zamanda
periyodik akıntılara sebep olmaktadır. Bu akıntılar su derinliği ve kıyı kon-
figürasyonuna bağlı olarak değişik özellikler gösterirler, ayrıca koriolis
kuvveti ile dönen akıntılar meydana gelmektedir. Bu akıntılar ayda iki defa
alçalma ve iki defa yükselme meydana getirir. Hareketin periyodu 14.3 gün-
dür. Yükselme miktarı okyanuslarda metreler mertebesinde, iç denizlerde ör-
neğin bizim sularımızda 10-20 civarındadır I 1,8,15 I.

EK 1.2.2 A k ı n t ı T a h m i n v e Ö l ç ü m l e r i : Akın-
tının tahmini için basit yöntemler mevcuttur. Bunlar çeşitli verilerden fay-
dalanılarak çizilmiş abaklar, şekiller, formüller şeklinde olabilmektedir.
Bir örnek olarak Şekil EK-1-8 de görülen ve U.S.Navy, 1966 ("Ocean Thermal
Structures Forecasting", USNOO, ASWEPS Manuel, Series, Vol.5, p.105) tara-
fından verilen abak bir örnektir I 12 I.

Yüzey akıntıları rüzgarlardan etkilenmeyecek bir konstrüksiyonda yapı-
lan yüzer samandralarla ve kronometre ve teodolit yardımıyla belirlenebilir.
Ayrıca belirli noktalara yerleştirilen ve kaydedici özellikli akıntı ölçer-
ler (Current meter) ile hız ölçümleri yapılabilir. Bunlar aynı zamanda akın-
tının doğrultusunu da tesbit ederler.

EK-1.2.3 A k ı n t ı v e K u v v e t İ l i ş k i s i : Akıntı-
lar içlerinde bulunan cisimler üzerine yatay yönlü bir sürüklenme ve düşey
yönlü bir kaldırma kuvvetine maruz bırakılırlar. Kuvvetle ilgili olan akıntı
araştırmaları için en önemli hususlardan biri akıntının türbülansıdır. Bu
maksatla çeşitli türbülans değerlerine sahip akıntılar için C_D , C_L kuvvet
katsayılarının değerleri araştırılır. C_D sürüklenme katsayısı için yapılan a-
raştırmalar bir "Standart Sürüklenme Eğrisi"nin ortaya konulmasını sağlamış-
tır. Şekil EK-1-9 C_L Kaldırma katsayısı için de borunun tabandan olan izafi
measfesine bağlı olarak bir grafik oluşturmuştur I 38,8 I.



Rüzgarın oluşturduğu akıntılar

EKİL EK-1-8 Açık denizde çeşitli rüzgar hızları ve süreleri için beklenen akıntı hızları. Rüzgar hızı ile tabloya girilir, rüzgar etkinlik mesafesi ve Rüzgar süresi için akıntı hızları okunur, küçüğü alınır.

EK-2



DALGA VE AKINTILARLA İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

EK-2.1 GENEL

Dalga kuvvetleri ile ilgili araştırmalar akışkan içinde bir yapı sözü konusu olduğuna göre şu şekilde sınıflandırılabilir: 1- Akım çeşitleri ile ilgili olanlar, 2- Yapı veya yapı elemanlarının (konum, füzülülük v.s gibi) çeşitli durumları ile ilgili olan çalışmalar.

Bunun yanında yine aynı çalışmalar sadece teorik, sadece deneysel veya her ikisini birden içine alabileceği gibi deneyler de laboratuvarında veya sahada (denizde) olabilmektedir.

Diğer bir guruplandırma yapılarının yakın sahilde veya uzak sahilde bulunmalarıdır.

Deneyli veya deneysiz teorik çalışmalar için analitik çözüm veya nümerik çözüm yöntemleri (bilgisayarla, sonlu farklar, sonlu elemanlar gibi) şeklinde ele alınmış çalışmalar mevcuttur.

Kuvvet ile ilgili çalışmaların genel durumunu gösterebilmek için EK-2-2 de dalgalarla ve EK-2-3 de akıntı ile ilgili çalışmaların verilmesi uygun bulunmuştur. Ancak 25 daktilo sayısı kadar tutan bu bölümün tezin hacmini arttırmamak gayesiyle bu halde azaltılması uygun bulunmuştur.

Aşağıda dalga ve kuvvet ilişkisini ele alan değişik çalışmalar sunulmuştur. Bunlar konunun değişik veçhelerine birer örnek olmak üzere seçilmişlerdir. Kuvvet araştırmaları ile ilgili genel görünümü yansıtmaktadırlar.

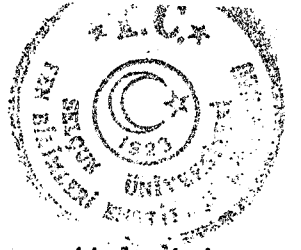
Seçilmiş olan çalışmalar kendi içinde yazarın soyadına göre sınırlanmıştır.

EK-2-2 DALGA KUVVETLERİ İLE İLGİLİ SEÇİLMİŞ ÇALIŞMALAR

EK-2-2-a Önemli Literatür Tarama Çalışmaları

EK-2-2-a.1 B. S. R. A. (1976) : (British Ship Research Association), "A Critical Evaluation of the Data on Wave Force Coefficient" I 10 I:

Bir firmanın isteği ile hazırlanmıştır. Morison Denklemi, Sürükleme (kuvvet ve şekil), atalet kuvvet katsayıları, çeşitli boyutsuz katsayılar, akım



rejimleri ile ilgili değerlendirmeler verilmektedir. Burada akım rejimleri ile ilgili bir şekil verilmektedir. Bu şekil, şekil EK-1-5 de yer almaktadır.

EK-2-a.2 H O G B E R ve D i ğ e r l e r i (1 9 7 7) : "Esti -
mation of Fluid Loading on Offshore Structures" I 31 I:

Bir üst maddede belirtilen hususlara ilaveten difraksiyon analizi ile ilgili çalışmalar değerlendirilmiştir. Çok miktarda literatürün tarandığı u-
sun ve çok faydalı bir literatür çalışması özelliğindedir. Burada bir değer-
lendirme şekli verilmektedir ve şekil EK-2-2 de yer almaktadır.

EK-2-a.3 L İ T L E J O N S (1 9 7 2) : "Review of literatüre on
the Lift and Drag Coefficients of Cylinders Unidirectional Flow" I 81 I.

Burada iki tür çalışma için kaynak taraması yapılmıştır. Bir bölüm
rüzgar tüneli içinde simetrik akım alanında asılı silindirleri ele alır. Bu
kısım özellikle deniz altı boru hatları ile ilgilidir. İkinci bölüm zemin
düzlemine bitişik silindirler için kaldırma ve sürükleme katsayıları ile il-
gilidir.

EK-2-a.4 V O N G V İ S E S S O M J A T - S İ L V E S T E R
(1 9 7 6) : "Wave Forces on Submerged Objects" I 33 I:

Morison Denklemi H,L,T,d ye dayalı boyutsuz parametreler, çeşitli bat-
mış cisim şekilleri, çeşitli taban şartlarında ele alınmaktadır.

EK-2-2.b Ç e ş i t l i A k ı m T i p l e r i ve Y a p ı
E l e m a n l a r ı i l e G e r ç e k l e ş t i r i l m i ş , S e ç i l -
m i ş Ç a l ı ş m a l a r :

EK-2.b.1 B E A R M A N (1 9 8 5) : "Forces on Cylinders in Viscous
in Viscous Oscillatory Flow at Low Kevlegan-Carpenter Number" I 82 I.

Bu mekalede küçük genlikli düzlemsel salınımlı akımlarda silindirler
üzerine hat içi (akım yönündeki) kuvvetler için teori ile deneyin mukayesesi
verilmektedir. Çalışma düşük Kevlegan-Carpen sayıları artlarındadır.

EK-2.b.2 B E C K M A N ve T H İ B O D E A U X (1 9 6 3) : "Wa-
ve Forces Coefficients For ofishore Pipelines" I 83 I:

Meksika Körfezinde prototipte ve laboratuvarında modelden yararlanıla-
rak bulunan C_D , C_M , C_L katsayılarına verilmektedir.

EK-2.b.3 B R A T E R ve W A L L A C E (1 9 7 2) . "Wave Forces
on Submerged Pipelines" I 84 I:



Labaratuvarında silindirler üzerien salınımlı akımın ürettiği yatay kuvvetlerin analizi çalışmasıdır, katsayılar teklif edilmektedir.

EK-2.b.4 BURNET (1980) : "Wave Forces on Submarine Pipelines" I 85 I:

Hdyravlic Recearech Station tarafından gerçekleştirilmiş ve yüzey şartlarından yararlanılarak tabanda ki boru üzerine gelen kuvvetlerin tahmini ile ilgilidir.

EK-2.b.5 CHAPLİN (1985) : "Morison Inertia Coefficient In Orbitol Flow" I 86 I:

Morison Denklemi için ivme bileşenlerinin ve kuvvet katsayılarınınin düşey, eğimli, yatay borularla ilgisi üzerinedir.

EK-2.b.6 COTTER ve CHAKRABARTİ (1984) : "Wave Force Testes on Vertical and Inclined Cylinders" I 87 I:

Düşey ve eğimli duran sabit borular üzerine gelen özellikle kaldırma katsayısını tesbiti için yapılmıştır.

EK-2.b.7 DİXON, GREATED ve SALTER (1979) : "Wave Forces on Partialy Submerged Cylinders" I 88 I:

Bu makale ile yüzeyde duran ve kısmen batmış vaziyetde bulunan silindirik borular için atalet ve kaldırma kuvveti incelenmiştir.

EK-2.b.8 EFTHYMİOU ve NARAYANAN (1980) : "Wave Forces on Unburied Pipelines" I 89 I:

Bu makede deniz tabanı üzerine serilmiş ve gömülü olmayan borular için sonlu eleman yöntemi kullanılarak bulunan dalga kuvveti katsayıları grafik sekilde verilmektedir.

EK-2.b.9 GARİSON, FİELD ve MAY (1977) : "Drag and Inertia Forces on a Cylinders in Periodic Flow" I 90 I:

Bu çalışmada 4.9x0.584 m boyutlu kanalda 1.2 m yükseklikli su içinde küçük Reynolds sayılarında deneyler yapılmıştır. Küçük ölçekli deneylerin bu maksada uygun olmadığı belirtilen bu çalışmada hem Reynolds hemde Froude gerekliliği vurgulanmaktadır.

EK-2.b.10 HUNT ve BACDUR (1980) : "Second Order Standing Waves Bounded by Circvlar Cylinders" I 91 I:

Offshore yapıları projelendirilmesinde bir kaç yıldan beri ekstrem dal-



ga şartları dikkate alınmaktadır. Bu gün difraksiyona uğramış dalgaların doğurduğu kuvvetlerin hesabında lineerleştirilmiş küçük genlikli dalga teorisi kullanılmaktadır. Burada bir silindir çevresinde bulunan asimetrik bir dalga için bu türden önceki çalışmalar için yapılan hataların giderilmesine çalışılmaktadır.

EK-2.b.11 J E N (1 9 8 0) : "Wave Forces Analysis: An Alternative Procedure" I 92 I:

Bu metod borular üzerine gelen akışkan yükleri için toplanan verilerin değerlendirilmesinde kullanılan mevcut iki matematiksel analiz metoduna ek bir üçüncü methodur, fakat henüz uygulamaya sokulmemiştir.

EK-2.b.12 S A R P K A Y A T U R G U T (1 9 8 6) : "Forces on a Circular Cylinder in Viscous Oscillatory Flow at low Keulegan - Carpenter Numbers" I 93 I:

Morison Denklemine ki kuvvet katsayılarının iki boyutlu salınımlı akım için analitik yoldan belirlenebilmesi, bunların deneyden elde edilmesi gerekmektedir. Burada düşük K-C sayılarında katsayılar araştırılmaktadır.

EK-2.b.13 S O N v e H A N R A T T Y (1 9 6 9) : "Numerical Solutions For the Flow Around a Cylinder at Reynolds Numbers Of 40,20,200 and 500" I 94 I:

Belirtilen Re sayılarında kuvvet katsayılarının aldığı değerler, silindir gerisinde oluşan vorteks ve basınç dağılımı incelenmektedir.

EK-2.b.14 W İ L L İ A M S (1 9 8 5) : "Wave Forces on Inclined Circular Cylinder" I 37 I:

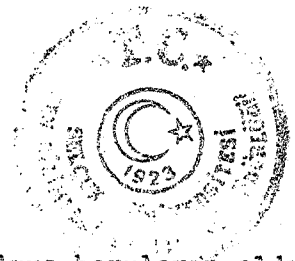
Yüzeyi delerek çıkan eğik silindirler için dalga kuvvetleri araştırılmaktadır. Sonuçta bulunan kuvvetler Morison Denklemine verdiği kadar fazla olmuştur.

EK-2.b.15 W R İ G H T v e Y A M A M O T O (1 9 7 9) : "Wave Forces Near Plane Boundary" I 32 I:

Bu çalışmada rijit taban üzerine yakın ve bitişik seriler borular için kuvvet ilişkisi potansiyel, teori yardımıyla incelenmiştir.

EK-2.b.16 Y A M A M O T O, N A T H v e S L O T T A (1 9 7 4): "Wave Forces on Cylinders Near Plane Boundary" I 29 I:

Bu çalışmada yatay bir tabanın yakınına değişik yüksekliklerde, yatay



olarak ve serbest yüzeyde relatif olarak çok derine konulmuş boruların aldığı kuvvetler ve kuvvet-cıdar yakınlığı ilişkileri ile ilgilidir.

EK-2-2.c B ü y ü k C i s i m l e r Ü z e r i n e G e l e n K u v v e t l e r v e D i f r a k s i y o n A n a l i z i İ l e İ l g i l i Ç a l ı Ő m a l a r :

EK-2.c.1 C H A K R A B A R T İ v e N A F T Z G E R (1 9 7 4) : "Nonli Near Wave Forces on Half Cylinder and Hemisphere" I 95 I:

Günümüzde uzak sahilde petrol ve gaz üretilmekte ve bu malzeme deniz içinde deholanabilmektedir. Bu makale ile büyük tanklara gelen dalga kuvvetleri araştırılmaktadır.

EK-2.c.2 G A R R İ S O N v e C H O W (1 9 7 2) : "Wave Forces on Submerget Bodies" I 96 I:

Bu maki ile denize petrol depolamak maksadıyla konulu tanklara, gelecek olan dalga kuvvetleri için değerler verilmektedir. Morison Denklemine kullanılması uygun görülmektedir.

EK-2.c.3 G A R İ S O N , G E H R M A N v e P E R K İ N S O N (1 9 7 5) : "Wave forces on Botton-Mounted Large-Diameter Cylinder" I 97 I:

Bir kanal tabanına döşeli borular üzerine fırtına dalgaları için viskoz olmayan bir teori taslağı ve kuvvet katsayıları verilmektedir.

EK-2.c.4 H E R B İ C H v e S H A N K (1 9 7 1) : "Forces Due To Waves on Submerget Structures"

Uzak sahilde petrol, gaz maden depolamasında kullanılacak tanklar için dalga etkilerini araştırılması ile ilgilidir.

EK-2-3 A K İ N T İ K U V V E T L E R İ İ L E İ L G İ L İ Ç A L I Ő M A L A R

EK-3.1 G R A F F v e K O (1 9 7 1) : "Tests on Cylinders in Turbulent Flow" I 50 I:

Bu çalışmada küçük ölçekli bir hava kanalında (türbifan) üç pürüzsüz silindire gelen sürüklenme kuvveti üzerine türbulans etkisini araştırmak için yapılmıştır.

EK-3.2 K O v e G R A F F (1 9 7 2) : "Drag Coefficient of Cylinders In Turbulent Flow" I 80 I:



Bu çalışma türbülansın serbest bırakıldığı bir akımda, C_D sürüklenme katsayısının Reynolds sayısı ile nasıl değiştiğini belirlenmesi için yapılmıştır.

EK-3.3 SUTHERLAND ve PAINTER (19) : "Drag Coefficient in Nonsteady Turbulent Flow" I 98 I .

Bu makale kararlı olmayan bir akımda ve türbülanslı ortamda sürüklenme katsayıları ele alınmıştır.

EK-3.4 LITTLEVONNS (1972) : "Review of Literature on the Lift and Drag Coefficients of Cylinders in Unidirectional Flow" I 81 I :

Burada gerçekleştirilmiş bulunan iki tür çalışmadan biri rüzgar tüneline olup boruların aldığı kuvvet ve kuvvet katsayıları ile ilgilidir.

EK-2-4 DİFRAKSİYON ANALİZİ İLE İLGİLİ KAYNAKLAR

Bu konu ile ilgili çok çeşitli yayın mevcut olup ve özet bilgi için 31 ve 33 numaralı kaynaklara bakılabilir.



Ö Z G E Ç M İ Ş

27 Eylül 1946 tarihinde Denizli ilinin Acıpayam ilçesinde dünyaya gelmiştir. İlkokula bu ilçede başladı ve Hüsniye köyünde bitirdi. Acıpayam Ortaokulunu ve 1964-1965 ders yılında Denizli Lisesi'ni bitirdi. Aynı yıl Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mimarlık Fakültesi İnşaat Yüksek Mühendisliği Bölümü'ne kaydoldu.

Çalışma hayatına 13 Ekim 1970 de Erzurum Yapı İşleri 12. Bölge Müdürlüğü'nde başladı. 14 Mayıs 1973 de bu teşkilattan ayrılarak mezun olduğu bölüme uzman olarak atandı. Daha sonra asistan kadrosuna atanarak 6 Kasım 1982 tarihine kadar aynı bölümde çalıştı.

10 Aralık 1982 tarihinden bu yana halen görev yapmakta bulunduğu Selçuk Üniversitesi Konya Meslek Yüksek Okulunda çalışmakta olup evli ve iki çocuk babasıdır.

18 Mart 1988

Atilla DORUM

T. C.
Türkseköğretim Kurumu
Dokümantasyon Merkezi