

15125

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALGA MODELLENMESİNDE YAPAY SİNİR AĞLARININ
TELEMAC NÜMERİK MODELİ İLE BİRLİKTE KULLANIMI**

151258

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Tolga Ozan YILMAZ
(501021369)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Doç.Dr. H. Kerem CİĞİZOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mehmet KARACA (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

TELEMAC model sistemindeki yazılımlar kullanılarak (ARTEMIS) Tuzla Limanında dalga modellenmesi çalışması yapılmış bulunan sonuçlar, bilgileri seri bir şekilde inceleyebilen, donanımı kolay kurulabilen ve geniş bir kullanım alanı bulunan yapay sinir ağlarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Farklı başlangıç koşullarında her simülasyon için TELEMAC programı çalıştırılmak yerine, elde edilen TELEMAC simülasyon sonuçlarını yapay sinir ağlarında eğitilerek, TELEMAC'ın uygulanmadığı başlangıç koşulları için yapay sinir ağlarının kullanılabilirliği incelenmiştir.

Öncelikle bu tez çalışmasını gerçekleştirmemi sağlayan ve çalışmamın her aşamasında değerli desteğini ve tavsiyelerini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç.Dr. Kerem CİĞİZOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca çalışmam boyunca değerli desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI'ya, yardımlarını esirgemeyen ve bana destek olan Araş. Gör. A.Ozan ÇELİK, Araş. Gör. Oral YAĞCI ve İnş. Müh. A.Avni BÜYÜKÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün eğitim hayatım boyunca bana her zaman destek olan anneanneme, anneme, babama ve ablama teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2004

Tolga Ozan YILMAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Kısa Peryodlu Dalgalar	2
1.2. Temel Dalga Teorileri	5
1.2.1. Tanım	5
1.2.2. Küçük Genlikli Dalga Teorisi	5
2. TELEMACH MODEL SİSTEMİ	8
2.1. Teorik Özellikler	10
2.2. Girdi ve Çıktı Verileri	13
3. ARTEMIS YAZILIMI	15
3.1. Artemis Yazılımına Genel Bakış	15
3.1.1. İstatistiksel Yaklaşım	19
3.1.2. Spektral Yaklaşım	22
3.2. Teorik Modelleme	24
3.2.1. Ana Varsayımlar	24
3.2.2. Berkoff Denkleminin Oluşumu	25
3.2.2.1. Denklemin Oluşumu	25
3.2.2.2. Linerizasyon	26
3.2.2.3. Yatay Düz Taban Durumunda Çözüm	27
3.2.2.4. Az Değişen Taban Durumunda Çözüm	28
3.2.2.5. Fiziksel Niceliklere Bakış	29
3.2.3. Orta Eğim Denkleminin Değişimi	32
3.3. Dağılım Katsayısının Formülizasyonu	33
3.3.1. Kırılma	33
3.3.1.1. Teorik Yaklaşım	33
3.3.1.2. Sürekli Dalgalar / Rastgele Dalgalar	35
3.3.2. Taban Sürtünmesi	36
3.3.2.1. Teorik Yaklaşım	36
3.4. Sınır Koşulları	38
3.4.1. Katı Sınırlar	38
3.4.2. Sıvı Sınırlar	40
3.4.2.1. Gelen Dalga Durumları	40
3.4.2.2. Serbest Çıkış	41
3.4.2.3. Önceden Belirlenmiş Dalga	41
3.5. Rastgele Tek / Çok Yönlü Dalgaların Davranışları	42

3.6. Sonlu Eleman Methoduyla Sayısal Çözüm	44
3.6.1. Denklem Sisteminin Çözümü	44
3.6.2. Problemin Değişken Formülasyonu	45
3.6.3. Sayısal Çözüm Algoritması	46
3.6.3.1. Matris Formuna Getiriliş	46
3.6.3.2. Matrisin Çözümü	47
3.6.3.3. Lineer Sistemin Çözümü	48
3.7. Artemis ile Modelleme	50
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	62
4.1. İleri Beslemeli Geriye Yayılım Sinir Ağları	62
4.2. Radyal Tabanlı Fonksiyonlara Dayalı Yapay Sinir Ağları	66
4.3. Yapay Sinir Ağlarının Tuzla Limanı Modellenmesinde Kullanımı	68
4.3.1. Farklı Açılar Sabit Yansıma	69
4.3.2. Sabit Açılı Farklı Yansımalar	72
5. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	79
EKLER	82
ÖZGEÇMİŞ	94

KISALTMALAR

CFD	: Hesaplamalı Akışkan Dinamiği
EMSE	: Eliptik Orta Eğim Denklemi
İBGYSA	: İleri Beslemeli Geriye Yayılım Sinir Ağları
OKH	: Ortalama Kare Hata
RTFDYSA	: Radyal Tabanlı Fonksiyonlara Dayalı Yapay Sinir Ağları
YSA	: Yapay Sinir Ağları



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Gelgit, kısa peryodlu ve uzun peryodlu dalgaların peryod ve oluşum sebepleri.....	2
Tablo 1.2. Derin su, sığ su ve geçiş bölgesi durumu koşulları.....	6
Tablo 3.1. Taban eğimi, K , Γ	34
Tablo 4.1. Yapılan simülasyon koşulları.....	69
Tablo 4.2. Yayılma katsayısı, R^2 ve OKH'nın değerleri.....	70
Tablo 4.3. Yapılan simülasyon koşulları.....	73
Tablo 4.4. Farklı yayılma katsayılarına karşılık R^2 ve OKH değerleri.....	73



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : TELEMAC sistemi modülleri.....	9
Şekil 2.2 : Oluşturulan ağı üç boyutlu gösterilmesi.....	13
Şekil 3.1 : Şematik akış bölgesi.....	25
Şekil 3.2 : Az değişen taban durumu.....	28
Şekil 3.3 : Hidrolik sıçrama.....	34
Şekil 3.4 : Dalga yüksekliğinin kritik dalga yüksekliği H_m 'ye eşit olduğu Q_b olasılığı.....	36
Şekil 3.5 : Katı sınır koşulu.....	39
Şekil 3.6 : Sıvı sınır durumunda gelen dalga.....	40
Şekil 3.7 : Sıvı sınır durumunda serbest dalga çıkışı.....	41
Şekil 3.8 : Çözümün algoritması.....	49
Şekil 3.9 : Tuzla6 adlı simülasyonun batimetri adımı.....	50
Şekil 3.10 : Tuzla6 adlı simülasyonun geometri adımı.....	51
Şekil 3.11 : Tuzla6 adlı simülasyonun D.E.M. adımı.....	52
Şekil 3.12 : Tuzla6 adlı simülasyonun ağ adımı.....	52
Şekil 3.13 : Tuzla6 adlı simülasyonunda oluşturulan ağ.....	53
Şekil 3.14 : Tuzla6 adlı simülasyonun sınır koşulu adımı.....	54
Şekil 3.15 : Tuzla6 adlı simülasyonda grup özelliklerinin belirlenmesi.....	54
Şekil 3.16 : Tuzla limanı modellenmesinde kullanılan yönetici dosya örneği.....	55
Şekil 3.17 : Tuzla67.5 adlı simülasyonun üç boyutlu batimetrisi.....	58
Şekil 3.18 : Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga fazı.....	59
Şekil 3.19 : Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği.....	60
Şekil 3.20 : Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği grafiği.....	60
Şekil 3.21 : Tuzla67.5 adlı simülasyonun serbest yüzey şekli.....	61
Şekil 4.1 : İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağlarında girdi, gizli ve çıktı birimleri.....	63
Şekil 4.2 : Radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağlarında girdi, gizli ve çıktı birimleri.....	68
Şekil 4.3 : Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.15 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.....	70
Şekil 4.4 : Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.15 alındığında belirlilik katsayısı R^2	71
Şekil 4.5 : Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.....	71
Şekil 4.6 : Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında belirlilik katsayısı R^2	72
Şekil 4.7 : Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.....	74

Şekil 4.8	: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında belirlilik katsayısı R^2	74
Şekil 4.9	: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.45 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.....	75
Şekil 4.10	: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.45 alındığında belirlilik katsayısı R^2	75



SEMBOL LİSTESİ

C_g	: Dalga grup hızı
f	: Sürtünme katsayısı
f_p	: Pik frekans
f_w	: Sürtünme katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Su derinliği
H	: Dalga yüksekliği
$H_{1/3}$	: Belirgin dalga yüksekliği
k	: Dalga sayısı
L	: Dalga boyu
m	: Taban eğimi
Q_b	: Kırılma oranı
R^2	: Belirlilik katsayısı
T	: Dalga periyodu
$T_{H1/3}$	: Belirgin dalga periyodu
T_p	: Dalga pik periyodu
Φ	: Hız potansiyeli

DALGA MODELLENMESİNDE YAPAY SİNİR AĞLARININ TELEMATİK NÜMERİK MODELİ İLE BİRLİKTE KULLANIMI

ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Tuzla Limanında dalga modellenmesinde yapay sinir ağları TELEMATİK nümerik modeli ile birlikte kullanılmıştır. TELEMATİK model sisteminde bulunan modüllerden dalga modellenmesinde kullanılan ARTEMIS modülünde çalışılmıştır. ARTEMIS modülünün çalıştırılmasından önce ve sonrasında MATISSE, RUBENS ve Fortran dilinde yazılmış alt programlarda çalışılmıştır. Modelleme yapılırken kısa periyodlu dalgalarla çeşitli simülasyonlar yapılmıştır.

ARTEMIS yazılımı ile Tuzla Limanında dalga modellenmesi yapıldıktan sonra RUBENS programından alınan sonuçlardan dalga yüksekliği verileri yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarıyla yaptığımız çalışmamızda radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı sinir ağları tercih edilmiştir. Yapay sinir ağları ile yapılan tahminler için MATLAB programında kod yazılmıştır. Yapay sinir ağları ile yapılan tahminlerin sonuçları TELEMATİK model sistemi sonuçları ile karşılaştırılmış ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

CO-UTILISATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND TELEMAC NUMERICAL MODEL IN WAVE MODELING

SUMMARY

In this master thesis, artificial neural networks and a numerical model (ARTEMIS) were used in wave modeling in Tuzla Harbour. ARTEMIS which is one of the TELEMAC modeling system is a Fortran code and employed together with modules such as MATISSE and RUBENS. The modeling included various simulations with short period waves.

Following the wave modeling studies in Tuzla Harbour with ARTEMIS software, wave height results obtained from RUBENS software was used in the training of artificial neural networks. Moreover, radial basis function neural network was preferred as the neural network algorithm. For artificial neural network estimations, a MATLAB program was used. The ANN estimations and the ones taken from TELEMAC modeling system were compared and satisfactory results were obtained.

1.GİRİŞ

Deniz yüzeyinde rüzgar etkileri ile oluşan dalgalara ilerleyen ağırlık dalgaları denir. Genel olarak bu dalgalar monografik olarak ele alındığında aşağıdaki tarifler yapılabilir. (Kabdaşlı, S., 1992)

- Ortalama su seviyesi: Dalga profilinde altındaki alanla üstündeki alanın eşit olduğu çizgidir.
- Dalga yüksekliği: Dalga kreti ile dalga çukuru arasındaki düşey uzaklıktır.
- Dalga boyu: Ard arda iki dalga kreti veya iki dalga çukuru arasındaki yatay uzaklıktır.
- Genlik: Genellikle dalga yüksekliğinin yarısına eşittir. Ortalama su seviyesinden yukarı doğru ölçülen pozitif aşağıda doğru ölçülen negatif genliktir.
- Dalga periyodu: Ard arda iki dalga kretinin geçmesi arasındaki zaman aralığıdır.
- Dalga cephesi: Dalga kretinden geçen yanal yöndeki çizgiye denir.
- Dalga yönü: Dalgaların ilerlemekte oldukları yöndür.
- Dalga ortogonalı: Dalgaların ilerlemekte oldukları ve dalga cephesine dik doğrultudur.
- Dalga yayılma hızı: Ortogonal üzerinde dalgaların ilerleme hızıdır (c).
- Dalga grup hızı: Dalga enerjisinin yayılma hızıdır (c_g).
- Dalga enerjisi: Potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamıdır (E).
- Dalga enerji akısı: Dalga grup hızı ile enerjisinin çarpımına eşittir ve dalganın gücü olarakta isimlendirilir.
- Derin sularda başka bir deyişle su derinliğinin dalga boyunun yarısından büyük olduğu hallerde grup hızı yayılma hızının yarısına sığ sularda ise kendisine eşittir.

$c_g = c/2$ derin sularda

$c_g = c$ sığ sularda

Bir ilerleyen dalga, enerji ve momentum taşır fakat kütle taşımaması gerekmez. Birim genişlikteki dalga yüzeyinden geçen hacim q ise; sadece düzenli dalga durumunda $q=0$ olmaktadır. Küçük periyotlu dalgalarda su zerreciklerinin yörüngesi kapalı bir eğridir ve bu bir akım çizgisi değildir. Bu yörünge derin sularda daireseldir. Sığ sularda ise yatıklaşıp elips şeklini alır. Taban yakınlarında ise bir doğrudur. Su zerreciklerinin hızı u , dalga yayılma hızından çok küçüktür, dalga kırılması anında ise eşit hale gelir.

$u \ll c$ normal dalga

$u \approx c$ kırılan dalga

- Dalga dikliği: Dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranıdır.
- Kıyı yakınlarında oluşan dalgalar çeşitli nedenlerden meydana gelebilir. Bunların oluşum sebeplerine göre periyotları farklı olmaktadır.

Tablo 1.1: Gelgit, kısa periyotlu ve uzun periyotlu dalgaların periyot ve oluşum sebepleri.

	PERYOD	SEBEP
Kısa periyotlu dalgalar	$T < 30$	Rüzgar dalgaları
Uzun periyotlu dalgalar	$30 \text{ sn} < T < \text{saat}$	Deprem dalgaları
Gelgit	$T > \text{saat}$	

1.1 Kısa Periyotlu Dalgalar

Kıyı mühendisliğinde kısa periyotlu başka bir tanımla periyodu 30 saniyeden küçük rüzgar dalgaları söz konusudur. Bütün mühendislik çalışmaları bu tip dalgalar için yürütülür.

Rüzgar dalgaları açık denizde rüzgar hızı 1 m/sn 'nin üstüne çıktığında oluşmaya başlarlar. Su yüzeyinde önce çok küçük prüzler oluşur. Bunların boyları $5\text{-}10 \text{ cm}$, yükseklikleri ise $1\text{-}2 \text{ cm}$ kadardır. Rüzgarın şiddeti ve esme süresi arttıkça bunların yükseklikleri, boyları ve periyotları artar ve diklikleri azalır. Bu oluşuma rüzgar hızı, feç uzunluğu, su derinliği ve rüzgar etki eder.

Eğer rüzgar yeterince uzun ve kesintisiz eserse dalgalar olabilecekleri kadar büyürler ve tam gelişmiş deniz koşulları oluşur. Gerçekte açık denizde oluşan rüzgar dalgaları istatistiksel olarak rastgele değişkenlerdir ve olasılık teorileri uygulanarak incelenebilirler.

Dalga gelişme bölgesinin dışına çıkınca veya rüzgar kesilince dalga yoluna devam eder bu tip dalgalara “swell” adı verilir. Bunlar daha düzenli ve daha uzun periyotlu dalgalardır. Dalga derin suda ilerlerken krette rüzgar dolayısıyla köpüklenme olur ve bu bir miktar enerjinin harcanmasına yol açar.

Sığ bölgelere yaklaşırken su derinliği dalga boyunun yarısından daha küçük olmaya başladığında dalga deniz tabanının etkisini hissetmeye başlar. Dalga sığ su etkisi ile yavaşlar, dalga boyları kısalır ve dikliği artar. Bu olaya sığlaşma denir.

Sığ sularda dalganın ilerlemesi sırasında enerji harcanmasında esas faktör taban sürtünmesidir. İç viskoz harcanma o kadar büyük değildir. Taban sürtünmesinin yanında çok küçük kalır. Geçirimli tabanda sızma kaybı da oluşur fakat o da sürtünmenin yanında çok küçük kalmaktadır.

Gelen bir dalga kıyıdan taban batimetresi nedeniyle gidiş yönünden bir sapma yapar. Buna dalga sapması adı verilir. Bunun nedeni ise dalga yavaşladığından dalga cephesinin taban çizgilerine daha paralel hale gelmeye başlamasıdır. Akıntı dolayısıyla da sapma meydana gelebilir.

Dalga herhangi bir yapıyla karşılaştığında bunun arkasına bir kısmı girer. Buna dalga dönmesi adı verilir. Eğer bir yapı veya dalgayı engelleyici herhangi bir şey enerjiyi harcamıyorsa geri yansıtır. Bu olaya dalga yansıması adı verilir.

Dalga giderek daha sığ sulara girerse şeklinde bir değişme, bozulma meydana gelir. Kırılmadan önce ortalama su seviyesinde bir azalma olur. Bu olaya dalga çökmesi “down” adı verilir.

Kıyıya yaklaşırken dalga yaklaşık su derinliğine eşit bir yüksekliğe eriştiğinde artık stabil kalamaz. Kırılma başlar. Bu bölgede dalga dik pikler ve bunların arasında düz çukurluklar şeklinde ilerler.

Yakın kıyı bölgesinde üç esas tip dalga kırılması söz konusudur:

- Dik dalgalar düz kumsallarda spilling şeklinde kırılırlar. Bu tedrici bir kırılmadır ve dalga boyunun 6-7 katı uzunlukta meydana gelir.

- Bunun tam tersi durum daha düz dalgaların daha dik kumsallarda kırılmalarıdır. Bu durumda dalga plaj yüzeyinde yükselir ve dik yüzeyden geri yansıma fazladır. Buna surging adı verilir.
- Bu ikisi arasında plunging dalga bulunmaktadır. Dalga yüksekliğindeki azalma ortalama su seviyesinde bir yükselmeye sebep olur. Buna dalga kabarması adı verilir.

Bu çalışmada Tuzla Limanı'nda yapılan simülasyonlarda rüzgar etkisi ile oluşmuş kısa periyodlu dalgalar gözönüne alınmıştır.

Rüzgar tarafından üretilen dalgaların boylarının ve frekanslarının oldukça geniş bir değişim aralığı vardır. Çok uzun dalgaların yayılma hızları rüzgar hızına eşittir. Çok dik dalgalar ise derin sudaki kırılma şartlarına göre belirlenir. Oldukça karmaşık yapıya sahip, rüzgar etkisiyle oluşan dalgaların “dalga üretim bölgesinde” çok farklı boya, yüksekliğe ve peryoda sahip oldukları bilinir ve genellikle kısa dalga tipindedirler. Dalga üretim bölgesinden çıkarırken yani ölü denize yaklaştıkça birbirlerini yutarlar. Böylece nispeten sabit karakteristikli dalga grupları meydana gelir (Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., 1998).

Rüzgar dalgalarının en karakteristik özellikleri düzensiz yani küçük genlikli dalga teorisinde kabul edildiği gibi sinüzoidal formda olmayışlarıdır.

- Bu dalgalar dik tepeli, yayvan çukurlu asimetrik yapıya sahiptirler.
- Düzensizdirler, her bir tekil dalda için periyod ve yükseklik bir diğerinden farklıdır.
- Deniz yüzeyi sürekli değişim içindedir. Dalga yayılma hızı derin suda dalga boyuna ve periyoduna bağlı olduğundan değişik dalga katarları aynı veya farklı fazlarda yayılmaktadırlar.

Rüzgar dalgalarının yükseklikleri ve periyodları U rüzgar hızı, F feç mesafesi (rüzgarların etki mesafesi) ve T_w rüzgar esme süresine bağlıdır. Feç, rüzgarın dalgaları meydana getirdiği denizin üzerindeki yüzey alanına denir. Rüzgar hızı, feç uzunluğu ve esme süresi arttıkça rüzgarın ürettiği dalgaların ortalama yükseklikleri artmakta, ancak bu belirli limitler içinde olmaktadır.

Feç uzunluklarının belirlenebilmesi için literatürde değişik yöntemler tanımlanmıştır, bunlardan en çok kullanılanı efektif feç uzunluğudur. Kıyılarda göz

önüne alınan mevki dikkate alınan dalga yönünden itibaren her iki tarafta $\pm 45^\circ$ lik bir bantta 7.5° lik aralıklarda feç uzunlukları ölçülür ve bu yön için efektif feç olarak tanımlanan feç uzunluğu belirlenmiş olur. Bu denklem (1.1)'da ifade edilmiştir.

$$F = \frac{\sum F_i \cos^2 \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (1.1)$$

1.2 Temel Dalga Teorileri

1.2.1 Tanım

Gerçek ortamda oluşan ağırlık dalgaları hem çok düzensiz bir dizide oluşurlar hem de su yüzeyi profili olarak değişkenlikler gösterirler. Bu nedenle matematiksel olarak ifade edilmeleri mümkün değildir. Diğer taraftan basit monografik dalga durumunda dalganın çeşitli karakteristik değerlerini veren ifadeler belirli bir yaklaşıklıkla değişik dalga teorilerinde verilebilmektedir.

Bu teoriler:

- Küçük genlikli dalgalar teorisi
- Sığ su teorisi
- Akım fonksiyonu
- Nümerik çözümdür.

Uygulamada en çok kullanılan dalga teorisi küçük genlikli dalgalar teorisidir. Burada dalga teorileri ele alınmayacak sadece mühendislik uygulamalarında gerekli olan ifadeler özet olarak verilecektir.

1.2.2 Küçük Genlikli Dalga Teorisi

Bu teoride diğer bazı teorilerde olduğu gibi dalga ortamı bir akım ve bir potansiyel fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonların çözümü ile verilen ifadeler elde edilmektedir. Bununla beraber ağırlık dalgalarının derin ve sığ sularda özellikleri tamamıyla farklı olmakta ve bu iki durum arasında bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Tablo 1.2'de bu üç durumun koşulları verilmektedir.

Tablo 1.2: Derin su, sığ su ve geçiş bölgesi durumu koşulları.

Büyüklik	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Derin su	$> \frac{1}{2}$	$> \pi$	≈ 1
Geçiş bölgesi	$1/25 - \frac{1}{2}$	$< 1/4 - \pi$	kendisi
Sığ su	$< 1/25$	$< 1/4$	$\approx 2\pi d/L$

Bu teoride dalga yayılma hızı, dalga boyu ve peryoduna göre;

$$C = \frac{L}{T} \quad (1.2)$$

olarak yazıldığında aşağıdaki ifade ile genel olarak yazılabilmektedir.

$$C = \left[\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \right]^{1/2} \quad (1.3)$$

Burada;

L , dalga boyu ve d , su derinliğidir.

Aynı şekilde peryoda bağlı olarak da;

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1.4)$$

şeklinde yazılabilir. Dalga sayısı k ve dalganın açısal hızı w , aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (1.5)$$

$$w = \frac{2\pi}{T} \quad (1.6)$$

Buna göre dalga yayılma hızı;

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kd) \quad (1.7)$$

olarak yazılabilir.

Dalga boyu ise;

$$L = \frac{gT^2}{2\Pi} \tanh\left(\frac{2\Pi}{L}\right) \quad (1.8)$$

dir. Bununla beraber en çok %5 hata ile dalga boyunu daha kolaylıkla aşağıdaki eşitlikten bulabilmek mümkündür.

$$L \approx \frac{gT^2}{2\Pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\Pi^2 d}{T^2 g}\right)} \quad (1.9)$$

Bu eşitlik kullanılarak iterasyon yapılmadan dalga boyu bulunabilir.

2. TELEMAT MODEL SİSTEMİ

Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (CFD), bilgisayar kullanarak akışkan akısının hesaplandığı bilimdir. Bir çok CFD programları bulunmaktadır bunlardan bazıları: SSIM, FLUENT, FIDAP, STAR-CD, FLOW-3D, TABS, PHOENICS, CFX ve TELEMAT'dır (Olsen N.R.B., 1999).

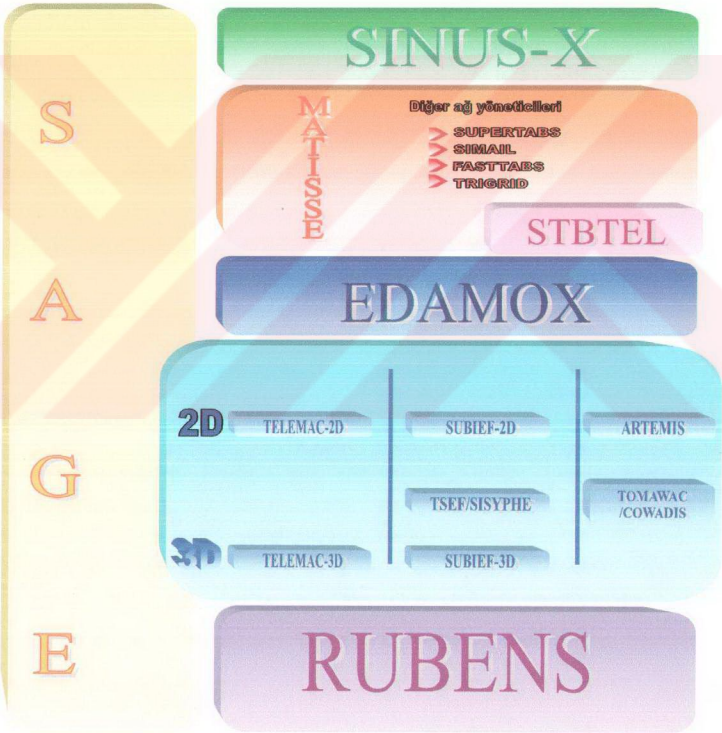
TELEMAT sistemi Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi aşağıdaki modülleri içerir (Janin, David ve Denot, 1997):

- SINUSX programı, model alanının dış hattını ve yatağın girilmesinde kullanılır. Bu modül tarafından yaratılan dosya, daha sonra ağ üretim sistemi tarafından yeniden okunur.
- STBTET programı ağ üreticisinden elde edilen dosyayı yeniden okur. Bu program batimetrik bilgileri interpolate eder ve RUBENS programı tarafından okunabilmesi için Selafin standardında geometri dosyası yaratır. STBTET ağ yoğunluğunun sayısını kontrol eder.
- EDAMOX programı çeşitli hesaplama modülleri için gerekli olan yönetici dosyaların yaratılmasında kullanılır.
- TELEMAT-2D programı iki boyutlu olarak akışın hidrodinamik simülasyonlarının yapılması için kullanılır.
- TELEMAT-3D programı üç boyutlu olarak akışın hidrodinamik simülasyonlarının yapılması için kullanılır.
- SUBIEF programı iki boyutlu olarak akış durumunda askı malzemesinin taşınımını simüle etmek için kullanılır.
- TSEF programı iki boyutlu olarak akışın yatak malzemesi taşınımını simülasyonu için kullanılır.
- TELEMAT-3D'nin üç boyutlu simülasyonu sonrasında sonuçların alınması için kullanılan POSTET-3D programı bu sonuçları iki boyutlu en-kesit şeklinde RUBENS'te göstermektedir.

- RUBENS programı grafik formunda çeşitli simülasyon modellerinden sonuçların alınması için kullanılır.

TELEMAC sisteminde dört geçerli ağ yöneticisi:

- SDRC tarafından üretilen SUPERTAB yazılımı
- SIMULOG tarafından üretilen SIMAIL-2D yazılımı
- Amerika Birleşik Devletleri Brigham Genç Üniversitesi tarafından üretilen FASTTABS yazılımı
- Kanada Denizbilimi Bilimsel Enstitüsü tarafından geliştirilen TRIGRID yazılımı



Şekil 2.1: TELEMAC sistemi modülleri.

TELEMAC-3D yazılımı üç boyutlu olarak hidrolik denklemleri ve asıl değerleri için (sıcaklık, tuzluluk, yoğunluk) taşınım difüzyon denklemlerini çözer. Hesap ağının her noktasındaki ana sonuçlar üç yöndeki hız ve taşınan miktarın yoğunluğudur. Yüzey ağı için ana sonuç su derinliğidir. TELEMAC-3D'nin ana uygulaması denize yakın serbest yüzeyde veya haliç hidroliğidir (Hervouet ve Bates, 2000).Aşağıdaki olaylar hesaba katılır:

- Yoğunlukta sıcaklık ve tuzluluğun etkisi
- Taban sürtünmesi
- Koryolis gücünün etkisi
- Meteoroloji durumlarının etkisi: Atmosferik basınç ve rüzgar
- Atmosfer ile değişen sıcaklığın faktörü
- Alanın içindeki akışkan, momentum kaynakları ve kanallar
- Archimedes'in kuvvetinin etkilerini içeren basit veya karışık türbülans etkisi
- Hesap alanındaki kuru bölgeler: Gelgitten ileri gelen düzlükler
- Yaratılan veya ortadan kaybolan terimler ile akıntı tarafından difüzyon ve iz taşınımı

TELEMAC-3D, Fransız elektrik kurumunun (EDF) araştırma ve çalışma müdürlüğünün (DER) ulusal hidrolik laboratuvarı (LNH) tarafından geliştirilmiştir.

2.1 Teorik Özellikler

TELEMAC-3D her bir zaman aralığında su derinliği h (veya yataktan serbest yüzey S) ve üç boyutlu hız alanını (u,v,w) tarif eden üç boyutlu hesap kodudur. İki katagoride gruplandırılan birkaç izin taşınımını çözer. Bu izler şunlardır: Aktif iz ve pasif izdir.

Kod aşağıdaki varsayımlar altında üç boyutlu hidrodinamik denklemleri çözer.

- Zamanla değişen serbest yüzey ile Navier-Stokes üç boyutlu denklemleri
- Kütlenin korunumu denklemindeki önemsiz yoğunluk varyasyonu
- Hidrostatik basınç varsayımı
- Momentum için Boussinesq tahmini

Verilen bu varsayımlarla aşağıdaki üç boyutlu denklemler çözülür:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_H \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_H \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y \quad (2.2)$$

$$p = \rho_0 g (S - z) + \rho_0 g \int_z^S \frac{\Delta \rho}{\rho_0} dz \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{HT} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{HT} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{HT} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q \quad (2.5)$$

h : Su derinliği

S : Serbest yüzey yükseltisi

u, v, w : Hız elemanları

T : Aktif veya pasif izleyici

p : Basınç

g : Yerçekimi yüzünden ivme

V_H, V_Z : İz difüzyon katsayısı

Z_f : Taban yükseltisi

ρ_0 : Referans yoğunluğu

$\Delta \rho$: Yoğunluktaki varyasyon

t : Zaman

x, y : Yatay uzay elemanları

F_x, F_y : Kaynak terimleri

h, u, v, w ve T bilinmeyenlerdir.

F_x, F_y ; rüzgar, Koriolis gücü ve taban sürtünmesini temsil eden kaynak terimlerdir.

Aynı zamanda birkaç iz hesaba katılabilir.

Su derinliği, hız boyunca basınç süreklilik teriminin integrasyonu ile hesaplanır. İki boyutlu denklemin sonucu aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u} h}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v} h}{\partial y} = a \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = -g \frac{\partial S}{\partial x} + \bar{F}_x + \bar{S}_x \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial S}{\partial y} + \bar{F}_y + \bar{S}_y \quad (2.8)$$

$\bar{F}_x$ ve $\bar{F}_y$ dikey ortalama kaldırma kuvveti terimleridir.

$\bar{S}_x$ ve $\bar{S}_y$ diğer dikey ortalama kaynak terimleridir.

Bu iki boyutlu denklemler TELEMAC-2D kodunun kütüphanesinden çözülür. Bu denklemlerin çeşitli terimleri birkaç bölüm veya kesirli basamaklarda işleminden geçirilir.

- Hızın difüzyonu / adveksiyonu
- h 'ın özellikleriyle adveksiyon
- Basınç sürekliliği (dikey hızın hesabı)
- Adveksiyon / izin difüzyonu

Türbülanslı viskozite kullanıcı tarafından, k-epsilon modelinden veya karışık uzun modelden belirlenebilir. Bu denklemler:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} + w \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P + G - \epsilon \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} + w \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} [P + (1 - C_{3\epsilon})G] - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2.10)$$

k : Akışkanın türbülanslı kinetik enerjisini temsil eder.

ϵ : Türbülanslı kinetik enerji dağılımı

P : Türbülanslı enerji üretim terimi

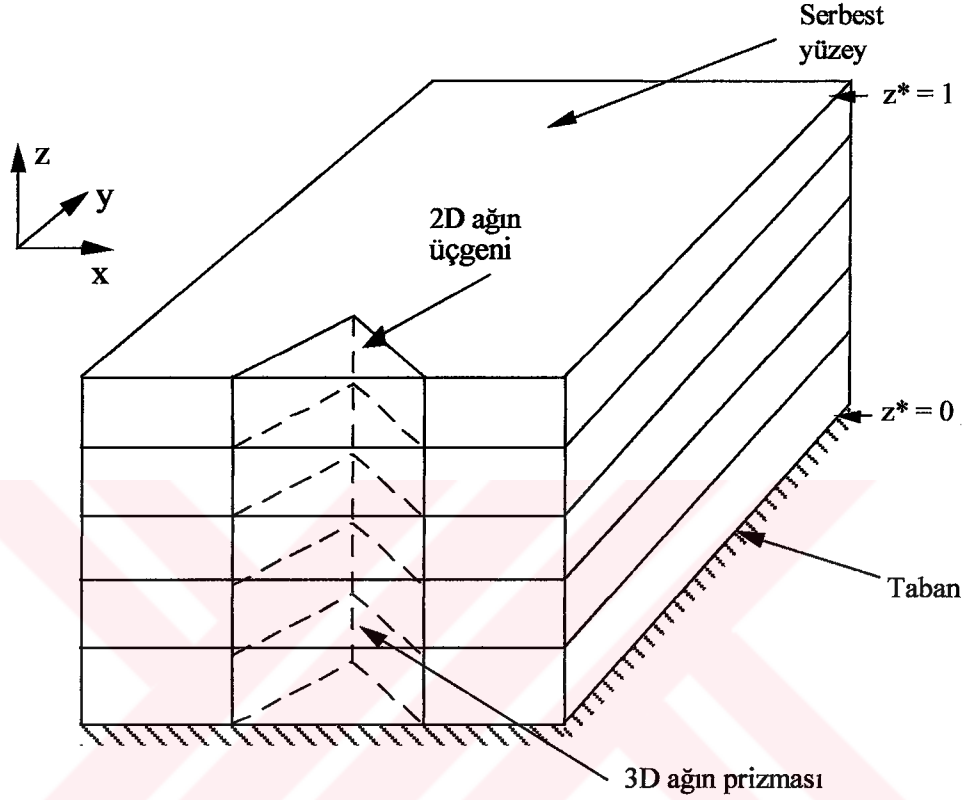
G : Yerçekimi kuvvetinden dolayı kaynak terim

$$P = v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad G = \beta \frac{v_t}{Pr_t} g \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.11)$$

$$\beta = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad (2.12)$$

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.13)$$

TELEMAC-3D ağının yapısı prizmaları içerir. İlk olarak (TELEMAC-2D’de) yatay bölgeyi kaplayan üçgenlerden oluşan iki boyutlu ağ yapılmaktadır. İkinci olarak dikey boyunca yeniden üretilir ve sigma koordinatlarıyla düzlem olarak bahsedilir. Bu tipin iki düzlemde tekrarlanan üçgenler arasındaki bağlantıları prizma şeklini oluşturur. Bu şekil aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.2: Oluşturulan ağın üç boyutlu gösterilmesi.

2.2 Girdi ve Çıktı Verileri

Hesaplama sırasında TELEMAC-3D bir takım girdi ve çıktı dosyaları kullanır.

Girdi dosyalarının kapsamı:

- Geometri dosyası
- Yönetici dosya
- Sınır koşulları dosyası
- Taban topoğrafyası dosyası
- FORTRAN dosyası
- Önceki hesaplamaların dosyası

Çıktı dosyalarının kapsamı:

- 3D sonuç dosyası
- 2D sonuç dosyası
- Çıktı dosyalarının listesi

Girdi ve /veya çıktı dosyaları kapsamı

- İkili sistem (Binary) dosyaları
- Format dosyaları

Bilgisayar programları kullanılarak nümerik modelleme yapılması uzun bir süredir bilimadamlarının araştırma konusu olmuştur ve bir çok program üretilmiştir. (Warsi, Z.U.A., 1998)



3.ARTEMIS YAZILIMI

3.1 Artemis Yazılımına Genel Bakış

ARTEMIS yazılımının ismi “Agitation and Refraction with TElemac on the Mild Slope equation”(TELEMAC ile orta eğim denklemi üzerinde ajitasyon ve refraksiyon) İngilizce yazılmış cümledeki büyük harflerle yazılı harflerin bir araya getirilmesi ile meydana gelen kısaltmadır. ARTEMIS kodu TELEMAC sistem yapısı içinde sonlu elemanlar metodunu kullanarak Eliptik Orta Eğim Denklemini (EMSE) çözümler. Bu eşitlik Navier–Stokes denkleminde elde edilir. Bilgisayar ağının her bir düğümünde ana çözümler dalgaının yükseklik, faz ve yönüdür. ARTEMIS’in esas uygulaması limanlarda ve küçük körfezlerdeki dalga çalkantılarıyla ilgilidir.

ARTEMIS deniz tabanındaki eğimin orta olduğu durumlarda dalga deformasyonunun hesaplanmasını düzenler. ARTEMIS tipik dalga karakteristikleri için küçük bölgeler (birkaç kilometre) veya rezonans hesaplamaları için daha büyük bölgeler (büyük peryotlar) için düşünülen liman dizaynı ve kıyı hidrolik çalışmaları için çeşitli simülasyonlarda kullanılır. Kırılma, difraksiyon, yansıma ve enerji dağılımını (dalga kırılması ve taban sürtünmesi) içeren dalga deformasyonu olaylarını modeller. ARTEMIS o nedenle aşağıdaki çalışmaların tasarlanmasında haliç ve kıyı mühendisliğine uygulayabilir. (Aelbrecht, Sauvaget ve Lang,1997)

- Limanlarda dalga ajitasyonu
- Önemli difraksiyon etkileri ile veya onlarsız küçük boyutlu kıyı bölgelerindeki sıklık
- Bir kanalın arkasındaki dalga difraksiyonu
- Deniz yatağı karakteristiklerinde veya engellerde (adalar, liman yapıları) dalga yansıması

ARTEMIS aşağıdaki olayları içerir:

- Kırılma-difraksiyon bileşimi ile yüzey dalgalarının transformasyonu ve yayılımı

- Batimetri kırılması ve taban sürtünmesi olayları yüzünden dalga genlik azalışı
- Çalışma alanının (kıyı çizgisi ve adalar, kıyı yapıları, liman) geometri ve batimetrisi (deniz yatağının hafif değişmesi ile)
- Engeldeki yansıma. Bölge limitlerindeki yansıma ile dalga alçalması ve yükselmesi ile açıklanır
- Giriş dalga bölgesinin karakteristiği, düzensiz dalgalar dikkate alınır

ARTEMIS, Fransız elektrik kurumunun araştırma ve çalışma müdürlüğünün (EDF-DER) ulusal hidrolik laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. ARTEMIS programı, EDF-DER'in bilimsel ve teknik programlar için kalite güvencesi prosedürüne uymaktadır. Kalite güvencesi her aşamada üretim kalitesinin kontrolü ve gelişimi için konmaktadır. ARTEMIS yazılımı kıyı bölgeleri veya limanda dalga değişim karakterlerinin simülasyonu için kullanılır. Simülasyon modülleri FORTRAN-77 kullanılarak yazılmıştır. TELEMAC yapısının birkaç bölümünde FORTRAN 90 yazılımı kullanılmıştır.

TELEMAC yazılım sisteminin tüm simülasyon modülleri gibi ARTEMIS sonlu elemanlar metodunu kullanır. Hesaplanan ağ lineer üçgenlerin uyarlamasıdır. EMSE'nin eliptik tabiatı, onu nümerik metodlarla kolayca integrasyon yapar. ARTEMIS'te, EMSE'nin değişik ifadesi yazılır ve bölümlere katılır. Denklemin gerçek ve imgesel bölümleri ayrıştırılır. İki denklemin sonuç sistemi hız potansiyelinin gerçek ve imgesel bölümlerini içerir. Üçgen elemanlar üzerinde lineer şekil fonksiyonları kullanılarak diskritizasyon yapılır. Sonunda diskritize edilen sistem, element tekniği (EBE) ile bir elementin elemanları üzerinde toplamaksızın sistemi çözmeye imkan veren iteratif önkoşullu birleşik gradyan tipi metod ile tek adımda çözülür. Elementlerin integralinin analitik ifadeleri bir matematiksel hesaplama yazılımının (REDUCE) yardımı ile türetilir.

Sonlu elemanlar metodunda bölgedeki birkaç düğümde hesap edilerek çözüme ulaşılır. Düğüm olmayan noktalarda değişkenler interpolasyon fonksiyonları tarafından çarpılan değerlerin toplamı olarak tanımlanır. Bu elementi çevreleyen noktanın düğümleri üzerinde lineer interpolasyondur. Çünkü kullanılan interpolasyon fonksiyonları ARTEMIS'te lineerdir.

Çözüm veya fiziksel veri (yatak yükseltisinin hızla değişmesi gibi) düğümler arasındaki mesafe ile karşılaştırılırsa bu bir kısıtlama olabilir. Bazı alternatif sonlu

elemanlar yaklaşımı ikinci dereceden veya daha yüksek derece interpolasyon fonksiyonlarını kullanır. Bu fonksiyonlar bir elemente daha fazla detay gösterebilir. Fakat bu fonksiyonlar daha fazla karmaşık çözümlere yol açar.

Genel olarak karmaşık interpolasyon fonksiyonları ile daha az element veya lineer interpolasyon ile daha fazla elementin daha fazla randımanlı olduğu açık değildir. Bununla birlikte ARTEMIS'te lineer interpolasyon fonksiyonları kullanımı elementler üzerindeki integrallerin analitik formülde hesap edildiği anlamına gelir. Eğer bir elementin tüm düğümleri alanın sınırlarında ise bu çözümün yanlış olduğunun bir ifadesidir. Bu problemi önlemek için STBTCL kullanılarak otomatik olarak elementler kontrol edilebilir.

Akışkanlar mekaniğinin temel denklemi (doğal alanlarda serbest yüzey akışını içeren) Navier–Stokes denklemidir. Basitleştirmek için bazı kabuller yapmak gerekmektedir.

- Akışkan homojen ve sıkıştırılamayandır.
- Akım çevrintisizdir.
- Durgun su seviyesinden serbest yüzeyin sapması küçüktür. Böylece dalga yüksekliği teorisi uygulanır. Bu aşağıdaki oranların küçük olduğunu göstermektedir.

$$H/L < 1 \text{ ve } H/h < 1$$

H = dalga yüksekliği

L = dalga genişliği

h = su derinliği

- Yatak eğimi h/L oranıyla karşılaştırıldığında küçüktür.

$$\Delta h \cdot L/h^2 \ll 1$$

$\Delta h = h$ su derinliğine eşit mesafe üzerindeki deniz yatağı yükseltisinin değişimidir.

- Düzensiz dalgalar düzenli dalgaların dalga-dalga iç etkileşimi olmadan süperpozisyonu olarak kabul edilir. Düzensiz dalgalar yönlü dalga enerji spektrumu tarafından tanımlanır. Yönlü dalga enerji spektrumunun özellikleri;

- Frekans : Johnswap spektrumu

- Yön : Dalga ana yayılım yönünün etrafındaki kosinüs fonksiyon simetrisi

EMSE, bağımlı değişken olarak hız potansiyelinin kullanımına dayanır. Bu denklemin sonucundan genel iki boyutlu değişkenler (serbest yüzey durumu, dalga yüksekliği) ve üç boyutlu değişkenler (basınç alanı, hız bileşenleri) sonuç olarak çıkarılır. EMSE, akış alanındaki hız potansiyeli değerini belirler. Bu sınır koşulları tarafından tamamlanır, ARTEMIS üç tip sınır sunar.

- Kapalı sınırlar: Bu durumda gelen ve yansıyan dalgalar süperpoze edilir. Yansıyan dalgaının gelen dalgaya oranla azalması dikkate alınabilir.
- Açık sınırlar: Bu tip bir sınır için tasarlanan koşul, uzak kıyıdan gelen dalgaının karakteristiklerinin kullanıcı tarafından yüklenmesi ve kıyıya akım bölgesinin içinden gelerek ulaşan dalgaların yansıma olmadan terketmeleridir.
- Hız potansiyeli önceden verilmiş sınırlar: Bu sınır koşulu kolayca uygulanır fakat nadiren kullanılır.

Kırılma ve yatak sürtünme olaylarını hesaba katmak için EMSE enerji dağılım terimi ilave edilerek biraz değiştirilir. Belirli alt programlar alternatif olarak kullanıcıya sağlanır. Kullanıcı karışık başlangıç ve sınır koşulları gibi çeşitli parametreleri alt programlar yardımıyla programa okutabilir. Bu alt programlar ARTEMIS'in müşteri desteği olarak kullanıcıya sağlanır.

ARTEMIS, yönetici parametreleri (ASCII dosyası), sınır koşulları (ASCII dosyası), ağ ve batimetri (binary dosyası) içeren girdi dosyalarını kullanır. Farklı girdi dosyalarını içeren bilgiler TELEMAT yazılımında kullanıcı-dostu ön işlemciler kullanılarak meydana getirilir. Kullanıcı alt program kolaylıklarını kullanarak ASCII veya binary dosyalarını tanımlayabilir. Üretilen sonuçlar ARTEMIS tarafından tüm TELEMAT simülasyon yazılımları için genel standarda uyan binary dosyasına depolanır. Bu yolla sonuçlar RUBENS tarafından kullanılır duruma getirilir. İstatistikler, analiz ve grafik çıktıları RUBENS'ten alınır.

ARTEMIS simülasyon modülü, yavaşça yükselen taban eğimi ile kıyı bölgelerindeki difraksiyon ve kırılma ile dalga transformasyonunun hesabını yapar. Engellerdeki yansıma batimetrik kırılma ve taban sürtünmesi hesaba katılır. ARTEMIS programı çalışmasından önce ve sonra birkaç modül kullanılır.

SINUSX programında, kıyı çizgisi ve batimetrik veriler dosyaya kaydedilerek MATISSE programında Sinusx formatında okunur. Ağ üretildikten sonra yeniden okunan STBTTEL programı batimetrik bilgileri interpolate eder ve selefatin formatında geometri dosyası oluşturur. Bu dosya daha sonra RUBENS programında okunarak sonuç verilerinin elde edilmesinde kullanılır.

Buna ek olarak, STBTTEL aşağıdaki ağ üreticilerinden dosya formatlarını kabul eder.

- SIMAIL
- IDEAS-MS 2 (SUPERTAB)
- TRIGRID
- FASTTABS

ARTEMIS programının girdi dosyasını oluşturmak için üçgen ağı üretilerek modellenen olan bölgenin geometri verileri dosyaya kaydedilir ve STBTTEL, oluşturulan ağı doğruluğunu kontrol eder. MATISSE kullanıldığı durumda, oluşturulan dosyalar direkt olarak ARTEMIS programında girdi verileri olarak kullanılır. EDAMOX, ARTEMIS'in çalıştırılmasından önce kullanılan bir modüldür. EDAMOX, TELEMAC sisteminin içindeki diğer simülasyon yazılımlarında olduğu gibi ARTEMIS modülünde de geçerlidir. EDAMOX simülasyonların çalışmasında gerekli olan yönetici dosyanın oluşmasını sağlar. RUBENS, ARTEMIS'in çalıştırılmasından sonra kullanılan bir modüldür. RUBENS analiz ve grafik sonuçlarının alındığı TELEMAC sisteminin içindeki bir modüldür. ARTEMIS'i içeren TELEMAC'ın simülasyon modülleri FORTRAN 77 içinde geliştirilmiştir. RUBENS, SINUSX, MATISSE ve EDAMOX, C dilinde geliştirilmiştir. TELEMAC'ın tüm modülleri Fransızca ve İngilizce versiyonlar için geçerlidir.

3.1.1 İstatistiksel Yaklaşım

İstatistiksel yaklaşımı incelemeyden önce dalgalarla ilgili bazı teorik özelliklerden bahsedelim. Dalgalar çok sayıda fiziksel parametreler tarafından karakterize edilir.

- Dalga kriteri ile dalga çukuru arasındaki düşey uzaklık dalga yüksekliğidir. İstatistiksel olarak ortalama dalga yüksekliği H , fırtına esnasında on metreyi aşabilir. Bununla birlikte nadiren okyanuslarda yirmi metreyi aşabilir.

- Dalga boyu L , ard arda iki dalga kreti veya iki dalga çukuru arasındaki yatay uzaklıktır. Dalga boyu, dalga sayısı (k) ile bağlantılıdır.

$$L=2\pi/k \quad (3.1)$$

- Dalga periyodu T , ard arda iki dalga kretinin geçmesi arasındaki zaman aralığıdır. Peryot dalganın açısal hızı (ω) ile bağlantılır.

$$T=2\pi/\omega \quad (3.2)$$

- Dalga dikliği H/L oranı ile karakterize edilir. Diklik % ile ifade edilir ve % 14 kritik değeri dalga kırılması dışında aşamaz. Dalgaların kıyı yakınlarında ilerlemesi sırasında yükseklikleri ve boyları değişerek deformasyona uğrar. Bunun sonucu olarak dalga kretinde su moleküllerinin hızlarının dalga hızına eşit olduğu bir sınır koşula ulaşılır. Dalga kırılması olayının kıyı yapılarının projelendirilmesinde ve kıyı yakınlarında oluşan değişimlerin belirlenmesinde büyük önemi vardır.
- Dalga yayılma hızı C , ortagonal üzerinde dalgaların ilerleme hızıdır. Dalga ortageneli; dalgaların ilerlemekte oldukları ve dalga cephesine dik doğrultudur. Bu bazen faz hızı olarak isimlendirilir ve şu formülle ifade edilebilir.

$$C=L/T=\omega/k \quad (3.3)$$

- Derinlik h , sakin su seviyesinde dipten deniz yüzeyine olan mesafedir.

Buradan bölüm (3.7)'ye kadar olan bölümlerde yazılanlar ARTEMIS Teorik Notları (Aelbrecht, 1997) kitabından çevrilerek yazılmıştır.

Deniz durumunun karakteristikleri (yükseklik, periyot...) zaman t , yatay pozisyon fonksiyonu (x,y) olarak serbast yüzey deformasyon $\zeta(x,y,t)$ olarak tanımlanabilir. N tane dalga için kaydedilen yükseklikler H_i ve periyotlar, $\zeta(x,y,t)$ işaretinden hesaplanır.

$\bar{H}$: Dalga yüksekliği ortalaması. Kayıtlardaki tüm dalgaların ortalaması alınarak elde edilen dalga yüksekliğidir.

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (3.4)$$

$H_{1/n}$: Toplam dalgaların en büyük $1/n$ 'inin erişebildiği dalga yüksekliğidir.

$H_{1/3}$: Toplam dalgaların en büyük 1/3'ünün erişebildiği dalga yüksekliğidir. Bu dalga en büyük %30 dalganın ortalamasıdır.

H_{rms} : Dalga yüksekliği H_i 'nin karesinin ortalamasının kareköküdür.

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2} \quad (3.5)$$

H_{max} : Kayıtlardaki tüm dalgaların ortalaması alınarak elde edilen dalga yüksekliği ve peryodudur.

$T_{H1/3}$: Dalga kayıtlarındaki toplam dalga yüksekliğinin en büyük %3 ünün erişip aşabildiği dalga peryodudur.

$T_{1/3}$: Dalga kayıtlarındaki toplam dalgaların en büyük %3 ünün erişip aşabildiği dalga peryodudur.

$\bar{T}$: Kayıtlardaki tüm dalgaların ortalaması alınarak elde edilen dalga peryodudur.

Derin suda H° dalga yüksekliğinin bir H yüksekliğini aşma olasılığının aşağıdaki gibi bir kurala bağlı olduğu görülmüştür.

$$\text{Pr ob}(H^\circ \geq H) = e^{-\left(\frac{H}{b}\right)^2} \quad (3.6)$$

Onunla ilgili olasılık yoğunluğu aşağıdaki bağıntıda verilmiştir.

$$p(H) = \frac{2H}{b^2} e^{-\left(\frac{H}{b}\right)^2} \quad (3.7)$$

Rayleigh'nin istatistiksel dalga dağılımı olarak isimlendirilir b parametresi popülasyon olarak karakterize edilir. O, H_{rms} dalga yüksekliği ortak kare kök hatası ile şu şekilde ilişkilendirilebilir.

$$H_{rms}^2 = \int_0^\infty H^2 p(h) dH \quad (3.8)$$

Bu integral kolayca hesap edilebilir. Rayleigh'in kuralı sonuçta aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} \quad (3.9)$$

Aşağıdaki bağıntı dalga yüksekliği dağılım kuralı olarak verilir.

$$H_{1/10} = 1.27 H_{1/3} \quad (3.10)$$

$$H_{1/3} = 1.60 \bar{H} = 1.416 H_{rms} \quad (3.11)$$

Not : Bu sonuçlar $H_{1/n}$ yüksekliği hesaplanarak elde edilir.

$H^*, \text{Prob}(H^0 > H^*) = 1/n$ olarak ele alalım.

$$H^* = \sqrt{\ln(n)} H_{rms} \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{n} H_{1/n} = \int_{H^*}^{\infty} H p(H) dH \quad (3.13)$$

Bu integral H_{rms} 'nin fonksiyonu olarak ifade edilir.

Bu dağılım, dağılım yönteminin (birincil kırılma) etkisi altında sığ suda çok olumlu bir şekilde biraz değiştirilebilir.

3.1.2 Spektral Yaklaşım

İlk adım araştırılan yatay yüzey üzerinde zaman içindeki serbest yüzeyde formasyonun $\zeta(x,y,t)$ işaretidir. $\zeta(x,y,t)$ sinyali bir genelleştirilmiş Fourier dönüşümüne, serbest yüzey yüksekliğinin süresi ve uzay bağımlılığını birleştirdikten sonra ileterek Massel aşağıdaki denklemi elde etmiştir:

$$\zeta(x, y, t) = \zeta_0(x, y) + \lim_{F \rightarrow \infty} \frac{1}{F} \int_{f=-F}^{+F} \int_{\theta=0}^{2\pi} \tilde{A}_{x,y}(f, \theta) e^{i\tilde{\Psi}_{x,y}(f, \theta)} e^{i[2\pi f t - k(x \cos \theta + y \sin \theta)]} df d\theta \quad (3.14)$$

Burada k , daha sonra dispersiyon denklemi ile tanımlanacak f 'in bir fonksiyonudur.

θ , Ox eksenine ilgili olarak saat yelkovanının ters yönünde (sola doğru) pozitif yönü gösterir. $\tilde{A}_{x,y}^{(f,\theta)}$ ve $\tilde{\Psi}_{x,y}^{(f,\theta)}$ iki boyuta çevrilen üç boyutlu durum genel Fourier dönüşümü aracılığıyla elde edilir. Ek olarak $\tilde{A}_{x,y}^{(-f,\theta)}$, $\tilde{A}_{x,y}^{(f,\theta)}$ karmaşık türüdür. $\tilde{A}$ metre ile ifade edilir. $\zeta_0(x,y)$ araştırılan bölgenin her yerinde farzedilen sıfır değeri ile serbest yüzeyin ortalama düzeyidir.

Bölgenin her noktasında (x,y) dalga enerjisinin yön spektrumu $E(f,\theta)$ denklem (3.15)'de formül tarafından $\tilde{A}_{x,y}^{(f,\theta)}$ ile anlatılır.

$$E(f, \theta) df \cdot d\theta = \frac{1}{2} \rho g \tilde{A}'^2_{x,y}(f, \theta) \quad (3.15)$$

$$\tilde{A}'_{x,y}(f, \theta) = 2 \tilde{A}_{x,y}(f, \theta) \quad (3.16)$$

Dalga hareketinin yön spektrumu $S(f, \theta)$ genellikle aşağıdaki formüllerle ifade edilir.
Yön spektrumunun birimi $m^2 Hz^{-1}$ dir.

$$S(f, \theta) = E(f, \theta) / (\rho g) \quad (3.17)$$

Aşağıdaki spektral dalga parametreleri $S(f, \theta)$ dan kurulabilir:

m_n : Yön spektrumunun n inci momenti

$$m_n = \int_{f=0}^{+\infty} \int_{\theta=0}^{2\pi} f^n S(f, \theta) df \cdot d\theta \quad (3.18)$$

m_0 : $n = 0$ için, yüzeyin serbest yüzey farkının değışikliğı

H_{m0} : Spektral yükseklik değeri

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0} \quad (3.19)$$

H_e : Spektral enerji yüksekliğı

$$m_0 = \frac{1}{8} H_e^2 \quad (3.20)$$

$$H_e = \frac{H_{m0}}{\sqrt{2}} \quad (3.21)$$

T_p : Pik periyot

θ_m : Ortalama dalga yönü

$$\theta_m = \frac{\int_{f=0}^{+\infty} \int_{\theta=0}^{2\pi} \theta S(f, \theta) df \cdot d\theta}{\int_{f=0}^{+\infty} \int_{\theta=0}^{2\pi} S(f, \theta) df \cdot d\theta} \quad (3.22)$$

$T_{0,1}$: Ortalama spektrum periyodu

$$\frac{m_0}{m_1} \quad \text{ve} \quad \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$$

Diğer parametreler enerji spektrumundan hesaplanabilir. Eğer yükseklik dağılımı Rayleigh kuralına uyuyorsa, istatistiksel yaklaşım ve spektral yaklaşım birbirlerine benzeyebilir.

$$H_{m0} \approx H_{1/3}$$

$$H_e \approx H_{rms}$$

Bu iki yaklaşım sığ sularda her birine eşit olmaz.

3.2 Teorik Modelleme

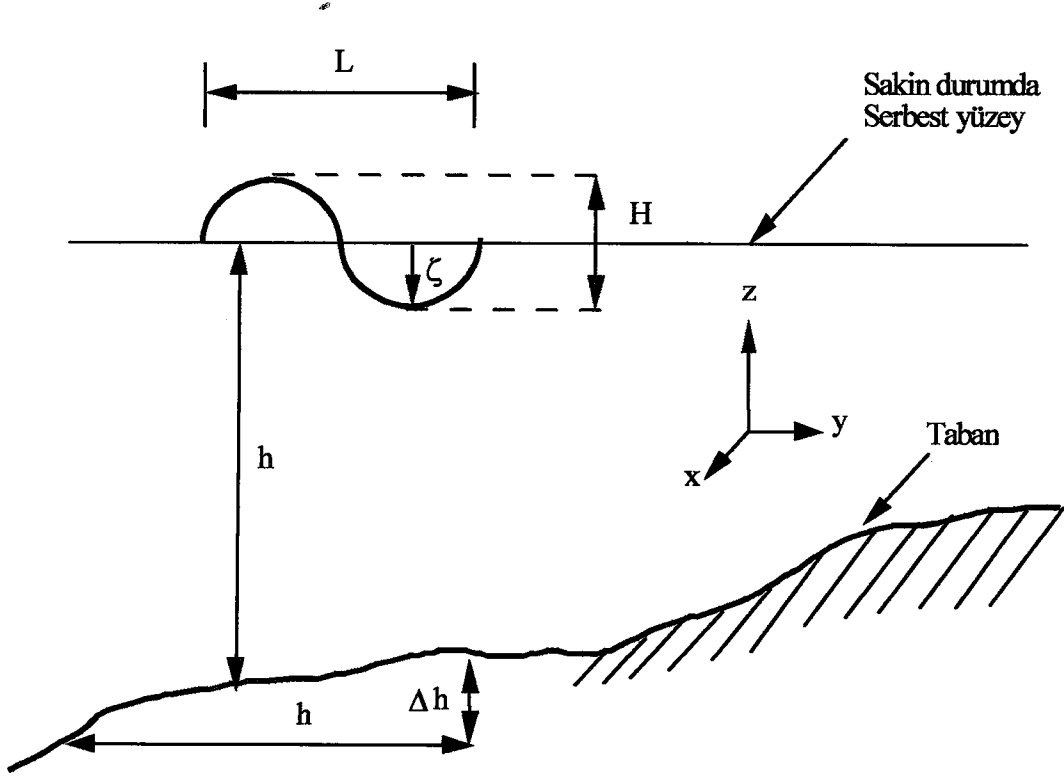
3.2.1 Ana Varsayımlar

Tüm dalga yayılım teorileri Navier-Stokes denklemi tarafından tarif edilen Newtonian akışkanlar dinamiği modeli ile açıklanır. Bu genel denklemler model hipotezin karmaşık boyutlarına göre daha az yada daha fazla basitleştirilebilir.

Hem yavaşça değişen taban hem de engeller ile monokromatik dalga kırılması ve difraksiyonunu tanımlayarak Berkoff'un modelinin (bir başka deyişle orta eğim denklemi) kurulmasından bahsedeceğiz. Akışkan hareketi 0xyz kartezyen koordinat sisteminde bulunur. Oz ekseninin orijini sakin durumda serbest yüzeyde alınır. Serbest yüzey yükseltisi ve taban derinliği sırasıyla ζ ve $-h$ olarak gösterilir. H dalga yüksekliği, L dalga boyudur. (Şekil 3.1)

Aşağıda genel modelin varsayımları yazılmıştır:

- Akışkan viskoz olmayan akışkan olarak kabul edilir.
- Akış çevrintisiz olarak kabul edilir. Φ :Potansiyel $\nabla\Phi = \vec{u}$, $\vec{u}$:Akışkan parçacığının hız vektörü.
- Akışkan sıkıştırılamayan olarak varsayılır.
- Taban zamanla değişmez.



Şekil 3.1 :Şematik akış bölgesi

3.2.2 Berkoff Denkleminin Oluşumu

3.2.2.1 Denklemin Oluşumu

Aşağıdaki varsayım ve tanımlamalar geçerlidir. Momentumun korunumu ve sürekliliği denklemi aşağıdaki gibi yalınlaştırılabilir.

$$\begin{cases} \nabla^2 \Phi = 0 & (3.23) \\ \nabla \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \Phi)^2 + \frac{p}{\rho} + gz \right) = 0 & (3.24) \end{cases}$$

Basınç için p , su yoğunluğu için ρ ve yerçekimi için g , geleneksel simgeleri kullanılır. Denklem(3.23) kütlenin korunumunu, denklem(3.24) momentumun korunumunu (Bernoulli denkleminin yazılan) ifade eder. P basıncı dalga hareketi nedeniyle hidrostatik değildir.

Bu iki denklem hem serbest yüzey ($z = \zeta$) hem de tabanda ($z = -h$) sınır koşulları ile ilişkilidir. Sınır koşulları yazılmıştır:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{z=\zeta(x,y,t)} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{z=-h(x,y)} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \end{array} \right. \quad (3.25)$$

Denklem(3.24) serbest yüzey geçirimsizliğini, Denklem(3.25) taban geçirimsizliğini ifade eder. Bu iki denklemin kurulumu basit formda olmasına rağmen lineer olmayan terimler içermesinden dolayı çözümü zordur.

$$(\nabla \Phi)^2 \quad (3.24) \text{ içinde, ve } \frac{\partial \Phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (3.25) \text{ içinde.}$$

Dalga ve taban karakteristikleri ile ilgili varsayımlar vasıtasıyla, bu denklemler linerilize edilerek daha kolay çözülebilir.

3.2.2.2 Linerizasyon

Linerizasyon aşağıdaki varsayımlar altında yapılır.

- Düşük diklik: $\varepsilon_1 = H/L \ll 1$
- Derinliğe karşı küçük dalga yüksekliği: $\varepsilon_2 = H/h \ll 1$

$\phi_0 = 0$ ve $\zeta_0 = 0$ probleme ayrıntılı çözümdür.

Aşağıdaki lineer sistem sadece ε_1 'in içindeki birinci mertebe terimini koruyarak, potansiyelin bir seri gelişimi sayesinde başaarılır.

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla^2 \Phi = 0 \end{array} \right. \quad (3.27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial t} + g \zeta = 0 \end{array} \right. \quad (3.28)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \end{array} \right. \quad (3.29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z = -h(x, y), \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \end{array} \right. \quad (3.30)$$

Denklem(3.28)'yı elde etmek için, yüzeyde Bernoulli denklemi (Denklem 3.24) yazıldı. Basınç açık hava basıncıdır ve sabittir. Eğimi geçersiz olduğu için denklemden atılır.

$$\nabla \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} + g\zeta \right) = 0 \quad \text{veya} \quad \frac{\partial \Phi}{\partial t} + g\zeta = \lambda(t) \quad (3.31)$$

λ fonksiyon sadece zamana bağımlıdır. Bu fonksiyon potansiyelin zamana göre türevi içinde sunulur. Çünkü buradaki fiziksel büyüklük hızdır ve değeri, potansiyele yalnızca zamana bağlı bir terim eklendiğinde değişmez.

Denklem (3.28) ve (3.29) arasında ζ silindiğinde sonuçta aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla^2 \Phi = 0 \end{array} \right. \quad (3.32)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z=0, \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \end{array} \right. \quad (3.33)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z=-h(x,y), \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \end{array} \right. \quad (3.34)$$

Lineer teori hem t ve z değerleri hem de x ve y değerleri ayrıştırılarak denklem (3.32), (3.33) ve (3.34)'den elde edilir.

Problemin çözümünü dikkate alarak z dikey elemanı muhtemelen x ve y elemanları gibi aynı bölümde rol almaz. Ayrıca denklemler lineer olduğunda, her potansiyel bir Fourier serisine ayrılabilir. Yalnızca $e^{-\omega t}$ 'deki kompleks potansiyel fonksiyonlar incelenebilir. ϕ aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Phi(x,y,z,t) = f(z,h) \cdot \phi(x,y,z) \cdot e^{-i\omega t} \quad (3.35)$$

Karmaşık simgeler bilinmeyen fonksiyonların hesabı için kullanılır. Fiziksel büyüklüklere dönüş, kompleks değişkenin gerçekte kısmını alarak gerçekleşir. h sabit olmadığında tıpkı ϕ gibi f , z 'ye, x 'e ve y 'ye h ile bağlanır.

3.2.2.3 Yatay Düz Taban Durumunda Çözüm

Sınırsız durumda, yatay düz taban f sadece z 'ye bağlı ve ϕ sadece x veya y 'ye bağlıdır. Problemin çözümü aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$\Phi(x,y,z,t) = -i \frac{gH}{2\omega} \cdot \frac{\text{ch}(k(z+h))}{\text{ch}(kh)} \cdot e^{i(k \cdot x - \omega t)} \quad (3.36)$$

Potansiyel monokromatik tek yönlü dalganın (birinci-derece stokes dalgası) yayılımını tanımlar. k , h , g ve w miktarları dağılım fonksiyonu ile birbirleriyle bağıntılıdır.

$$\frac{\omega^2}{gk} = th(kh) \quad (3.37)$$

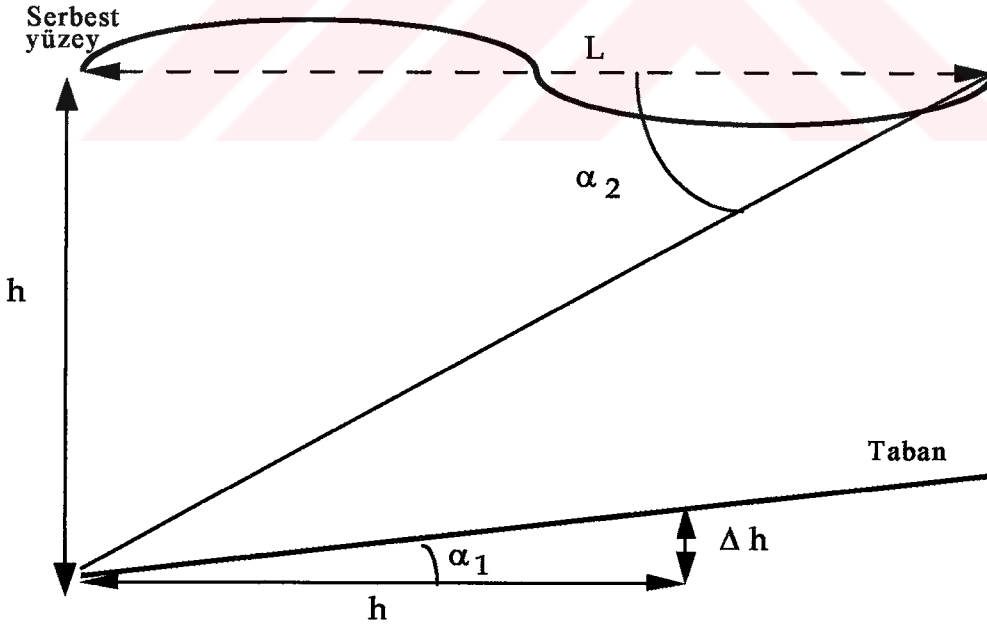
$$-\omega^2 = g p_n \tan(p_n h) \quad (3.38)$$

3.2.2.4 Az Değişen Taban Durumunda Çözüm (Orta Eğim Denklemi)

Değişken-aralıklı taban durumunda Denklem(3.32)'nin linerize edilmesinden Denklem(3.34)'e problem sonucunu çözmek için daha fazla varsayım yapılacaktır.

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta h/h}{h/L} \ll 1 \quad (3.39)$$

Δh , h gibi yatay mesafe üzerindeki taban derinlik farkını belirtir. Taban eğimi $\tan \alpha_1$, $h/L = \tan \alpha_2$ oranı olarak tanımlanan eğimden daha düşük kalması değişkenliğinden varsayılabilir.



Şekil 3.2: Az değişen taban durumu

Bu varsayımlara ilave olarak Berkoff denklemin çözümünü geliştirmiştir.

$$\Phi(x,y,z,t) = \frac{\text{ch}(k(z+h))}{\text{ch}(kh)} \cdot \phi(x,y) e^{-i\omega t} \quad (3.40)$$

Bu üç terimden üretilir. Birincisi f fonksiyonuyla bağlantılıdır. (Denklemler(3.36)'ya bakınız). Tabanın yavaşça değiştiği durumlara uygun olan yatay düz taban için elde edilen çözümle aynıdır. İkinci terim ϕ , ϵ_3 de z den birinci mertebeye kadar bağımsız olarak beklenir ve azalan potansiyel olarak isimlendirilir. Zaman periyodik çözümü anlamına gelen üçüncü terim araştırılmaktadır. Bilgisayar hesaplamalarında, Berkhoff azalan potansiyel ϕ ile doğrularak genel-amaç denklemini elde eder.

$$\nabla(C C_g \nabla \phi) + C C_g k^2 \phi = 0 \quad (3.41)$$

Buradaki C ve C_g faz ve grup hızını belirtir.

k dalga sayısını belirtir, $k = 2\pi/L$

Bilinmeyen ϕ , bir ön bilgi karmaşık sayıdır. Hız, yatay tabanın durumu için elde edilen teoriden ifade edilir.

$$C = \frac{\omega}{k} \quad (3.42)$$

$$C_g = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\text{sh}(2kh)} \right] C \quad (3.43)$$

Orta eğim denklemi batimetri ile kırılma etkilerini, hem su üzeri hemde su altı engelleriyle difraksiyon etkilerini hesaba katmayı mümkün kılan iki boyutlu modeldir. Toplam ve kısmi yansıma yöntemleri sınır koşullarının etkisini hesaba katar. Denklem(3.41)'de kaynak teoremi olmadığı için enerji, akış bölgesine sağlanmalıdır. Sınır koşulları dalga enerjisi gereksinimini karşılamayı mümkün kılar. Model sabit dalgaların üretilmesini temsil eder. Monokromatik dalganın orta eğim modeli rastgele dalgaların davranışlarının tarifi için kullanılabilir.

3.2.2.5 Fiziksel Niceliklere Bakış

Karmaşık azalan potansiyel $\phi(x,y) = \phi_r + i\phi_i$ Denklem(3.41)'den hesaplanır, bu toplam potansiyele $\Phi(x,y,z,t)$ geri dönmeyi ve bütün dalga karakteristiklerini elde etmeyi mümkün kılar.

Dalga yüksekliği:

Dalga yüksekliği, ϕ modülü ile orantılıdır.

$$H = \frac{2\omega}{g} |\phi| \quad (3.44)$$

Dalga fazı: Dalga fazı Ψ , Ψ^* değerinin hesabıyla ilk olarak elde edilir.

$$\psi^* = \text{Arctan} \left(\frac{\phi_i}{\phi_r} \right) \quad (3.45)$$

$$\left. \begin{matrix} \phi_i < 0 \\ \phi_r < 0 \end{matrix} \right\} \text{sonra } \psi = \psi^* - \pi$$

$$\left. \begin{matrix} \phi_i > 0 \\ \phi_r < 0 \end{matrix} \right\} \text{sonra } \psi = \psi^* + \pi$$

$$\psi = \psi^*$$

Serbest yüzey yükseltisi:

Serbest yüzey yükseltisi şu şekilde ifade edilir.

$$\zeta = -\frac{1}{g} \text{Re} \left(\frac{\partial (\phi e^{-i\omega t})}{\partial t} \right) = -\frac{\omega}{g} (\phi_i \cos \omega t - \phi_r \sin \omega t) \quad (3.46)$$

Yüzey hızı:

Yüzey hızı, potansiyel fonsiyonunun toplam eğimi olarak ifade edilir.

$$\vec{V} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \text{Re} \left(\nabla (\phi \cdot e^{-i\omega t}) \right) \quad (3.47)$$

sonra:

$$u = \frac{\partial \phi_r}{\partial x} \cos \omega t + \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \sin \omega t \quad (3.48)$$

$$v = \frac{\partial \phi_r}{\partial y} \cos \omega t + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \sin \omega t \quad (3.49)$$

$$w = \frac{\omega^2}{g} (\phi_r \cos \omega t + \phi_i \sin \omega t) \quad (3.50)$$

Gelen dalga :

Her bir noktadaki yatay yüzey hızının rüzgar hızı dağılımı merkezlenmiş elips formundadır. Ana eksen ile karşılaştırılırsa, küçük eksen (minor) çizgisel dağılım alanında önemsizdir. Diğer yandan, çapraz-dalgalar gözlenir gözlenmez, hiçbir ana dağılım yönü gerçekten ayırılmaz ve küçük eksen-ana eksen oranı sıfıra yakın değildir. Serbest yüzey yükseltisinin pozitif olduğu yönde elipsin ana ekseninin yönünden gelen dalgayı belirlemek için ARTEMIS'te karar verildi.

Basit transformasyon bir azalma elde etmek için yapılır:

$$u = A \cos(\omega t - \phi_1) \quad (3.51)$$

$$v = B \cos(\omega t - \phi_2) \quad (3.52)$$

Öyleyse iki farklı durum düşünülür:

- Eğer $|\phi_2 - \phi_1| = 0$ veya Π , sonra polarizasyon lineerdir: Elips hiçbirşeydir fakat 0x eksenine yön parçasının tanjantı B/A değeridir.
- Diğeryanda polarizasyon eliptiktir. $\phi = \phi_2 - \phi_1$ ve $t' = \omega t - \phi_1$ denklemleri kurularak zaman orijininde yapılan değişiklik formülde yazılabilir.

Ana eksenin yönü hız modülünün karesinin maksimum değeriyle sağlanır. Uç sınırı belirlemek için türevi hesaplandıktan sonra, t'_0 fazı doğrulamak için elde edilen minimum ve maksimum hız modülü $\bar{v}(t' = t'_0)$ bulunabilir.

$$\tan 2t'_0 = \frac{B^2 \sin 2\phi}{A^2 + B^2 \cos 2\phi} \quad (3.53)$$

Bu denklem ana eksen ve minör eksen çiftine karşılık olarak dört mümkün faz t'_0 tanımlar.

$$t'_0 = \frac{1}{2} \text{Arctan} \left(\frac{B^2 \sin 2\phi}{A^2 + B^2 \cos 2\phi} \right) + n \frac{\pi}{2} \quad n \in \{0,1\} \quad (3.54)$$

Bağıntı ile her eksene bir çözüm olur. Hız modülünün karesi maksimum hız değeri seçimiyle n ile ilgili kesin olmayan çözüm için t'_0 değerleri hesap edilir. Son olarak, gelen yönü t'_0 fazına karşılık t zamanında bir pozitif serbest yüzey yükseltisi yazılarak seçilir.

Dalga enerjisi:

Her birim yatay serbest yüzey için dalga enerjisi (3.55) formülüyle ifade edilir.

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \omega^2 |\phi|^2}{g} \quad (3.55)$$

Onun yarısı potansiyel enerjiden, diğer yarısında kinetik enerjiden meydana gelmektedir. Orta-eğimli model bir lineer modeldir çünkü eğer ϕ_0 , denklem(3.41)'in bir çözümü ise o zaman $A\phi_0$ da bir çözümdür, $\forall A \in \mathbb{R}$. Tabanın derinliği az olduğu zaman bu modelin sınırlarını gösteren önemli bir özelliktir.

Eğer taban yükselirse, sıklık artacak buna bağlı olarak değişen su derinliği ile değişen dalga yüksekliği de artacaktır. Alan geçerliliğini arttırmak ve ARTEMIS'in uygulama alanını genişletmek üzere, ilk orta eğim denklemini sığ suda geçerli dağılım yöntemini hesaba katmak için (batimetrik kırılma ve taban sürtünmesi) değiştirdik.

3.2.3 Orta Eğim Denkleminin Değişimi

Batimetrik kırılma ve taban sürtünmesinden meydana gelen sonuçları hesaba katmak için Booij ve De Girolama ilave edilen karmaşık terimi tanıtmak için orta eğim denklemini (denklem(3.41)'e bakınız) değiştirmeyi önerdi.

$$\nabla(C C_g \nabla \phi) + C C_g (k^2 + i k \mu) \phi = 0 \quad (3.56)$$

Eğer azalan potansiyel, $\phi = A e^{i\beta}$ biçiminde yazılırsa (A:Potansiyel genişlik, β :Potansiyel faz) önceki denklem,

$$(\nabla \beta)^2 = k^2 + \frac{\nabla \cdot (C C_g \nabla A)}{C C_g A} \quad (3.57)$$

enerji akım ve dağılımı arasındaki denge denklemini için gerçek ve hayali bölüm arasında farka yol açar.

$$\text{div} \left(A^2 C_g \frac{\nabla \beta}{|\nabla \beta|} \right) = -\mu C_g A^2 \quad (3.58)$$

$\mu g/2$ terimi içinde enerji akış denge denklemdir. μ katsayısı m^{-1} ile ifade edilen dağılım katsayısıdır. Enerji katsayısının D oranı denklem (3.59)'da ifade edilmiştir.

$$D = \frac{1}{2} \rho g A^2 \mu C_g \quad (3.59)$$

Dalga enerjisi kırılma ve taban sürtünmesi yüzünden dağılmasına bağlı olarak dağılım katsayısı μ 'nün hesap edilmesi için birkaç model sağlanır.

3.3 Dağılım Katsayısının Formülüzasyonu

3.3.1 Kırılma

3.3.1.1 Teorik Yaklaşım

Serbest yüzeyde dalga partikülleri hızı, dalga yayılım hızını aştığı zaman kırılma meydana gelir. Bu kriter, dalga yüksekliği H_m 'nin saptanmasında sonuç olabilir.

$$H_m = \frac{0.88}{k} \tanh\left(\frac{\gamma_s}{0.88} kh\right) \quad (3.60)$$

Kritik dalga yüksekliği H_m , her su derinliği h ile bağlantılıdır. γ_s katsayısı, taban eğimi m 'yi hesaba katar. Aşağıdaki bağıntı önerilebilir.

$$\gamma_s = \frac{b}{1 + a \frac{h}{gT^2}} \quad \begin{cases} a = 43.75(1 - e^{-19m}) \\ b = 1.56(1 + e^{-19.5m})^{-1} \end{cases} \quad (3.61)$$

γ_s katsayısı, ARTEMIS'de sürekli olarak varsayılır. (tipik değer $\gamma_s=0.8$)

Enerjinin dalga-kaynaklı dağılımını hesaplamak için iki teorik yaklaşım ARTEMIS'e önerilir ve dahil edilir.

İlk yaklaşım, eğimli kıyı boyunca kırılmadan ve düz yatay taban üzerindeki takip eden dalga dağılımından elde edilir. Dalga enerjisi akışının ayrılışının hesap edilmesi varsayımına dayanır.

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial(E.C_g)}{\partial x} = \frac{(E.C_g)_s - (E.C_g)}{l_s} \quad (3.62)$$

Buradaki x , enerji dağılım yönünü göstermektedir. Index s , kırılma alanının dışında l_s uzunluğunun sonunda stabil bölgenin benzeridir. Bu uzunluk bilinmeyen bir ön bilgidir. Daha önceki yazarlar şu şekilde yazmayı önerdiler.

$$l_s = \frac{h}{K} \quad (3.63)$$

Verilen su derinliği h için daha fazla eğim diptir, daha yüksek K dır ve böylece daha alçak l_s dir. Daha sonra yazarlar aşağıdaki tahminleri önerirler.

$$(C_g)_s \approx C_g$$

$$(H)_s \approx \Gamma \cdot h$$

O taktirde, dağılım D hesap edilebilir.

$$D = \frac{1}{8} \rho g C_g H^2 \frac{K}{h} \left[1 - \left(\frac{\Gamma h}{H} \right)^2 \right] \quad (3.64)$$

Ve son olarak dağılım katsayısı μ şöyle verilir.

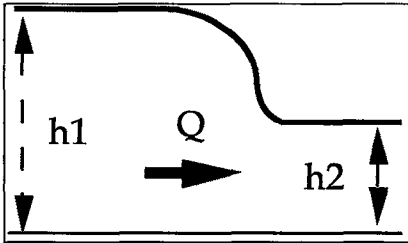
$$\mu = \frac{K}{h} \left[1 - \left(\frac{\Gamma h}{H} \right)^2 \right] \quad (3.65)$$

Taban eğimine göre K ve Γ değerleri Dally tarafından aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1: Taban eğimi, K , Γ

Taban eğimi	K	Γ
1/80	0.100	0.350
1/65	0.115	0.355
1/30	0.275	0.475

İkinci yaklaşım Battjes&Janssen tarafından önerilmiştir ve bu yaklaşım kırılma bölgesi ve hidrolik sıçrama arasındaki benzerlik üzerinedir.



Şekil 3.3: Hidrolik sıçrama.

Sıçrama ile ilgili yük kaybı:

$$\Delta h = \frac{(h_1 - h_2)^3}{4h_1h_2} \quad (3.66)$$

Güç dağılımı şöyledir:

$$\varepsilon = \rho g(\Delta h)Q \quad (3.67)$$

Buradaki $\Delta h = h_1 - h_2$

Q, kanalının her bir birim genişliği boyunca akış oranıdır.

$$Q = \sqrt{\frac{gh_1h_2(h_1 + h_2)}{2}} \quad (3.68)$$

$H = h_1 - h_2$ yazılarak sonuçta aşağıdaki sonuç yazılabilir.

$$\varepsilon \approx \frac{1}{4} \rho g H^3 \sqrt{\frac{g}{h}} \quad (3.69)$$

Bu sonuçlar uzunluk L, frekans f, yükseklik H ile dalgalara uygulanırsa, her birim alan için güç dağılımı aşağıda belirtilmiştir.

$$D = \frac{\varepsilon}{L} \approx \frac{1}{4} \rho g f \frac{H^3}{h} \quad (3.70)$$

$$\mu = 2f \frac{H}{hC_g} \quad (3.71)$$

Bu bölümde tanıtılan her iki model ARTEMIS yazılımına dahildir.

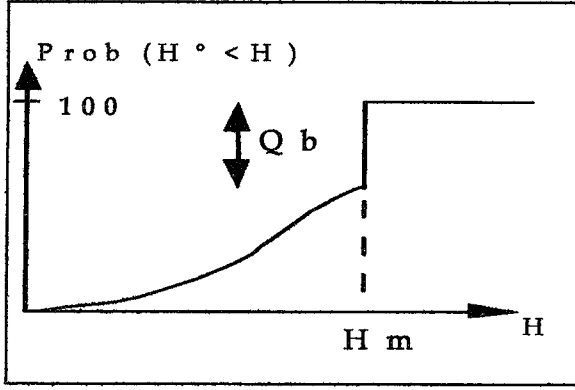
3.3.1.2 Sürekli Dalgalar / Rastgele Dalgalar

Sürekli dalgalar ARTEMIS’de kullanılırken, dağılım katsayısını ifade etmek için (denklem (3.56)’ya bakınız) formül seçilebilir. Bu katsayı orta eğim denklemine katılmak zorundadır.

Rastgele dalga durumunda sadece Battjes&Janssen’nın formülüne başvurulabilir. Kırılma nedeniyle, dalga yüksekliği dağılımı Rayleygh’in muhtemel dağılımı gibi artık izlenmez. Battjes&Janssen, Rayleygh dağılımının kritik H_m ’den kısaltılmasını önerirler. Dalga yüksekliğinin kritik dalga yüksekliği H_m ’ye eşit olduğu Q_b olasılığı bağıntıda verilmiştir.

$$\frac{1 - Q_b}{\ln Q_b} = - \left(\frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2 \quad (3.72)$$

$$H_{rms} \approx \frac{H_s}{\sqrt{2}} \quad (3.73)$$



Şekil 3.4: Dalga yüksekliğinin kritik dalga yüksekliği H_m 'ye eşit olduğu Q_b olasılığı.

Q_b kırılma oranı ARTEMIS'de hesaplanır. Pik frekansı f_b tipik spektrum frekansı olarak seçilir. Ek olarak, varsayılır ki $H_m \approx h$ kırılma noktasıdır. Dağılım aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$D = \frac{\alpha}{4} Q_b f_p \rho g H_m^2 \quad (3.74)$$

ve dağılım katsayısı şöyle ifade edilir.

$$\mu = \frac{2\alpha f_p Q_b}{C_g} \left(\frac{H_m}{H_{rms}} \right)^2 \quad (3.75)$$

3.3.2 Taban Sürtünmesi

3.3.2.1 Teorik Yaklaşım

Dalgalar taban üzerinde aşağıdaki karesel denklemle ifade edilen bir kayma gerilmesini ($\bar{\tau}_b$) uygulamaktadır:

$$\bar{\tau}_b = \frac{1}{2} f_w \rho |\bar{U}_b| \bar{U}_b \quad (3.76)$$

f_w tabanın yapısına bağlı olan sürtünme katsayısıdır. $\vec{U}_b$, taban sınır tabakası üzerinde orbital hızıdır. Dalga periyodu üzerinde ortalama enerji dağılımı aşağıdaki formülle bağlantılıdır.

$$D = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{\tau}_b \cdot \vec{U}_b dt \quad (3.77)$$

İlk formül; Kostense, dağılım katsayısı μ , su derinliği h ve yüzey orbital hızı $\vec{U}$ 'yu kullanarak integralin hesaplanması için taban sürtünmesinin ifadesini linerize etti.

$$\vec{\tau}_b = \rho \mu C_g h \vec{U} \quad (3.78)$$

$\vec{\tau}_b$ 'nin bu iki ifadesinden, sürtünme için dağılım katsayısının formülü türetili.

$$\mu = \frac{1}{2} \frac{f_w}{C_g h \cosh^2(kh)} U_e \quad (3.79)$$

U_e akışın hız etkisidir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$U_e = \frac{\int_0^T |\vec{U}|^3 dt}{\int_0^T |\vec{U}|^2 dt} \quad (3.80)$$

U_e 'nin değerini doğru bir şekilde hesaplamak ağır bir görevdir. ARTEMIS'de değerlerin yaklaşık, hızlı hesabını kapsayan formül aşağıda yazılmıştır.

$$U_e \approx 1.2 \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi_r}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi_r}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial y} \right)^2 \right]} \quad (3.81)$$

Yapılan tahminin hatası %15 i aşmaz.

İkinci formül; Putman&Johnson düz tabanda Stokes dalga sonuçlarıyla uygun bir şekilde tarif edilen tabana yakın orbital hızı U_b tahminiyle dağılımın hesabını basitleştirmiştir. İfade dağılım katsayısı μ için kolayca türetilmiştir.

$$\mu = \frac{2}{3\pi} \frac{f_w H \omega^3}{g C_g \sinh^3(kh)} \quad (3.82)$$

Denklem (3.79) ve (3.82) ARTEMIS'te tanımlıdır. Kullanıcı her iki formülden birini seçebilir. Sürtünme katsayısı f_w tespit edilir. Kumlu taban durumunda, pek çok sayıda yazar f_w nin hesabı için değerlendirme metodunu önerdi. ARTEMIS için Van Rijn'in yaklaşımı ele alınmıştır. Bu yaklaşım f_w 'i bir Reynolds sayısının fonksiyonu olarak belirlemektedir. Reynolds sayısı, tabandan akışkan parçacığının çıkarılmasını ve rölatif pürüzlülüğü ile hesaplanır. Taban kumlu değilse yada kullanıcı yukarıdaki prosedürlere başvurmak istemiyorsa hesaplanan alanda f_w 'nin değeri şayet sabit-aralık veya değişken-aralık seçilirse belirtilebilir.

F_w 'nin tipik değerleri: Prüzsüz beton taban için 10^{-3} veya daha fazla, çakıl taban için 10^{-2} , taş yada kaya için 10^{-1} .

Taban sürtünmesi sebebiyle oluşan dağılım kırılmanın neden olduğu dağılım ile karşılaştırıldığında düşüktür. Taban sürtünmesiyle oluşan dağılım uzun mesafelerde sarfedilir. Kırılma ile ilgili dağılım daha büyüktür fakat lokalize edilir. Hem kırılma hem de taban sürtünmesi için μ katsayısı yüksekliğe H ve potansiyele ϕ bağlıdır. Bu bağımlılık matris sistem ile tamamıyla çözülemez. Birkaç dağılım oluştuğunda potansiyelin çözümünü sağlamak için “ateşleme prosedürü” algoritması gibi yeni algoritma meydana getirilir.

3.4 Sınır Koşulları

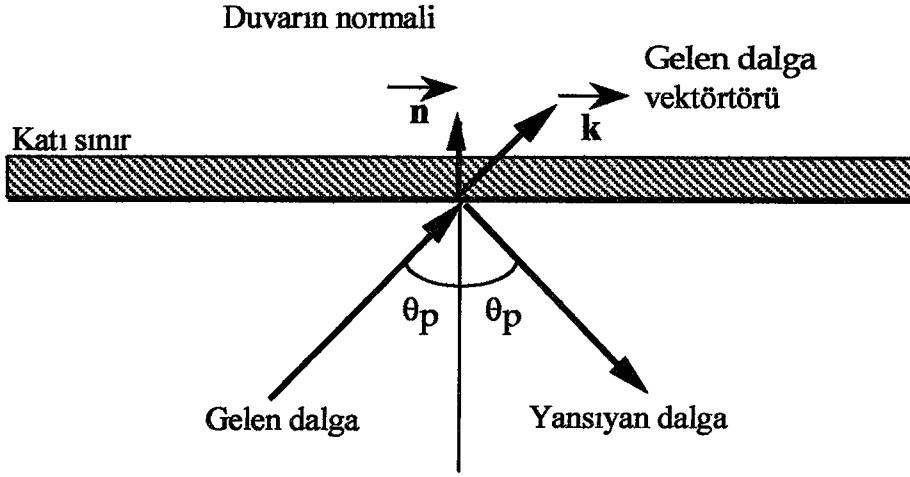
Matematiksel ve fiziksel olarak en iyi şekilde formülize edebilmek için araştırılan alanın sınırlarında tanımlanan koşullar problemi çözebilmek için hesaba katılır. Fiziksel olarak iki çeşit sınır vardır.

- Katı sınırlar
- Sıvı sınırlar

Sınır koşullarının bu çeşitleri matematiksel olarak bilinmeyen hesaplanmasında ifade edilir.

3.4.1 Katı Sınırlar

Duvarın normali ile θ_p açısı yapan dağılımın ana yönünde ve duvara karşı gelen dalga durumu düşünülür.



Şekil 3.5: Katı sınır koşulu.

Duvarın önündeki gelen ve yansıyan dalgalar potansiyel ϕ_{inc} ve ϕ_{ref} ye karşılık olarak birbirleri üzerinde superpoze edilir. Yansıma yöntemi potansiyel ϕ_{inc} ve ϕ_{ref} arasındaki ilişki ile modellenir. Duvar yansıma katsatısı, $Re^{i\alpha}$ olarak adlandırılır. Bu durumda o duvardan yansıma durumunda yalnızca bir genlik kaybını değil aynı zamanda bir duvardan başlayan bir zaman aralığı (α katsayısı) ifade etmektedir.

Serbest yüzey giriş ve çıkış dalgalarının hız ve yükseltisi duvarda aşağıdaki bağıntılarla ilişkilidir.

$$\begin{cases} \vec{u}_{ref} \cdot \vec{n} = -Re^{i\alpha} \vec{u}_{inc} \cdot \vec{n} \\ \zeta_{ref} = Re^{i\alpha} \zeta_{inc} \end{cases} \quad (3.83)$$

$$\zeta_{ref} = Re^{i\alpha} \zeta_{inc} \quad (3.84)$$

$e^{i(\vec{k}\vec{x}-\omega t)}$ şeklindeki hareket eden tek yönlü bir dalga giriş dalgası olarak alınır :

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \phi_{ref}}{\partial n} &= -Re^{i\alpha} e^{i(\vec{k}_{ref}-\vec{k}_{inc})} \frac{\partial \phi_{inc}}{\partial n} \quad (\text{car } \vec{k}_{inc} \cdot \vec{n} = -\vec{k}_{ref} \cdot \vec{n}) \end{aligned} \right. \quad (3.85)$$

$$\phi_{ref} = Re^{i\alpha} e^{i(\vec{k}_{ref}-\vec{k}_{inc})} \phi_{inc} \quad (3.86)$$

ϕ_{ref} , $\phi - \phi_{inc}$ ile yer değiştirilirse, sonuçta aşağıdaki durum meydana gelir.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} - i \frac{1 - Re^{i\alpha}}{1 + Re^{i\alpha}} k \cdot \cos \theta_p = 0 \quad (3.87)$$

θ_p açısı bir bilinmeyen ön bilgidir. Bazı basit durumlarda kullanıcı tarafından belirtilebilir. “Tahmin-düzeltilme” metoduna dayanan iteratif prosedürü θ_p ’nin daha fazla doğru tayin edilmesini sağlar. Bu seçenek, ARTEMIS’te bu tekniğin içerdiği

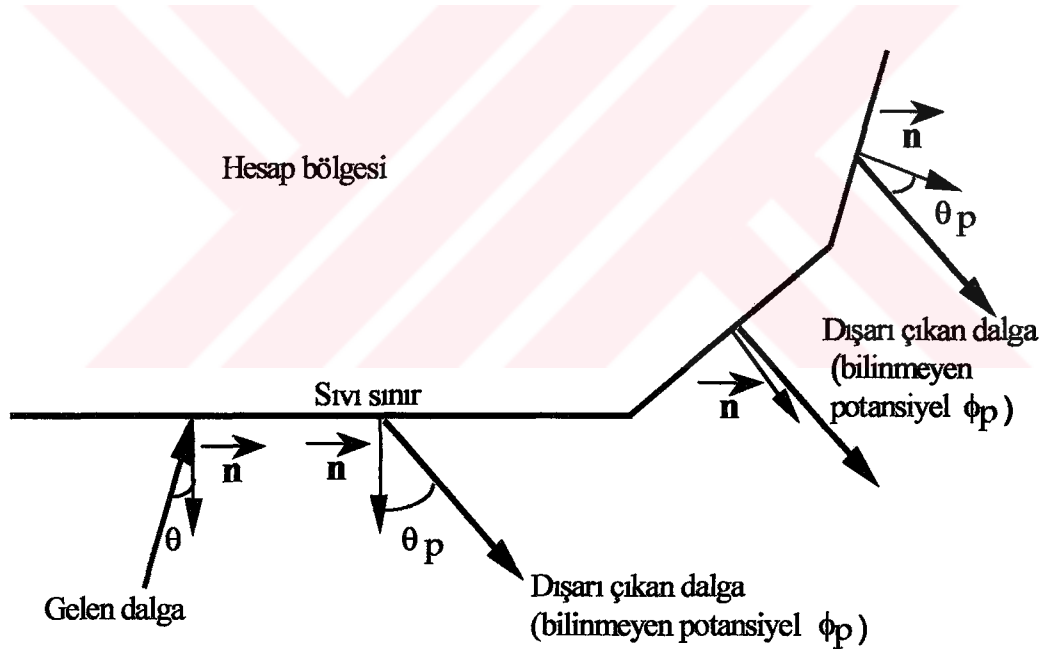
ağır hesaplama yükü yüzünden benimsenmemiştir. Böylece, kullanıcı ya geçerli uygun alt programda uygun olan en iyi yöntemle giriş açısını belirtmeye yada belirtilen θ_p değerini tanımlamak için kendi kendine iterasyon yapmaya sahiptir.

3.4.2 Sıvı Sınırlar

3.4.2.1 Gelen Dalgalar Durumları

Denize doğru bakan sınırlarda, limandan dalgaının çıkışı ve açık denizden dalgaının girişi serbestçe sağlanır. Böyle sınırlarda, potansiyel ϕ bilinmeyen ϕ_p (limandan gelen dalgaların neden olduğu) üzerinde bilinen potansiyel γ 'nın (Hesap alanının dışında kıyıya yansıyan dalgalar ve gelen dalgalarından elde edilen) süperpoze edilmesiyle sağlanır: $\phi = \gamma + \phi_p$.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} - ik \cos \theta_p \phi = \frac{\partial \gamma}{\partial n} - ik \cos \theta_p \gamma \quad (3.88)$$



Şekil 3.6 : Sıvı sınır durumunda gelen dalgası.

Potansiyel γ dağılımının yönü ve giriş dalgası yüksekliği vasıtasıyla BORH alt programında programlanır ve anahtar kelimeler vasıtasıyla kullanıcıya özgüdür. Rastgele dalgası hesaplanması halinde belirlenebilen giriş dalgası yüksekliği kayda değer yüksekliktir. Diğer yandan, ARTEMIS kullanarak sağlanan monokromatik dalgası yüksekliği değeri rastgele dalgası deneylerinden rms yüksekliği (H_{rms}) veya enerji yüksekliği (H_e) gibi veriler ile karşılaştırılır. θ_p açısı mümkün olduğu kadar

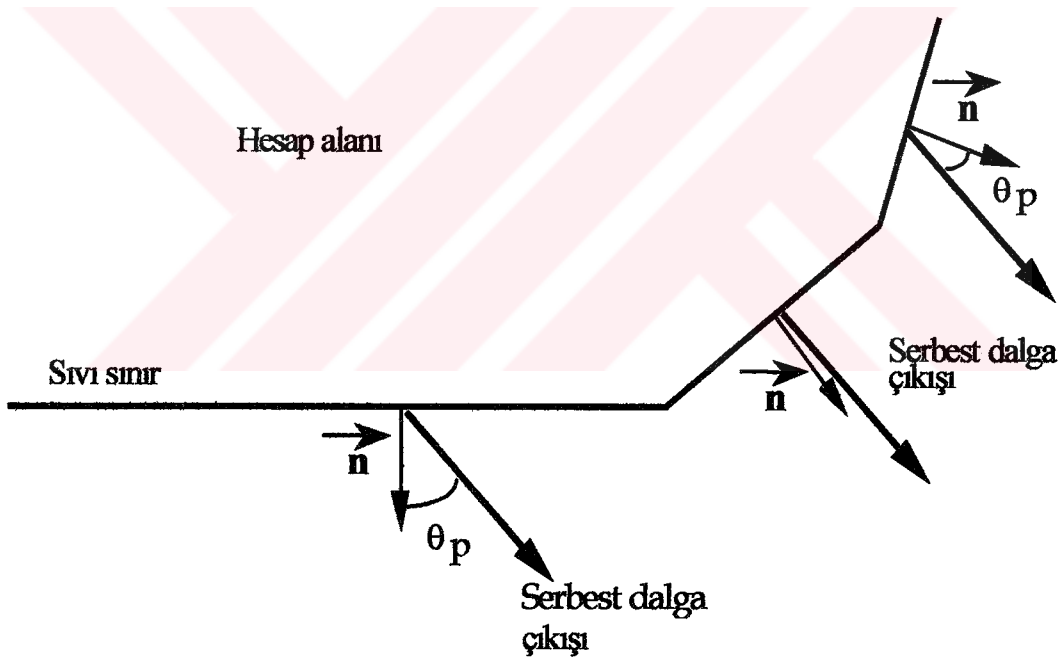
belirtilir. Çoğu durumda, θ_p bilinmeyen ön bilgidir. θ_p değeri ya $\theta_p = 0$ olarak alınması yada değerini hesaplamak için iterasyon yapılması tavsiye edilir. ϕ için çözüm ilk hesaplamada verildikten sonra, $\phi - \gamma$ farkının hesabını ve $\phi - \gamma$ 'nin farkına tekabül eden dalga çıkış açısını hesap etmek mümkündür.

3.4.2.2 Serbest Çıkış

Bu durumda, $\gamma = 0$ ve sınır koşulları aşağıda yazıldığı gibidir.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} - ik \cos \theta_p \phi = 0 \quad (3.89)$$

Dalga çıkış yönü bilinen bir ön bilgi ise, θ_p açısı mümkün olan en iyi şekilde belirtilir. Eğer uygun θ_p açısı belirtilmemişse, sınırdan itibaren hesap alanındaki yansımaları tahmin edilebilir bir şekilde belirtilir.



Şekil 3.7: Sıvı sınır durumunda serbest dalga çıkışı.

3.4.2.3 Önceden Belirlenmiş Dalga

Bu koşul nümerik olarak kolayca tarif edilebilir. $\phi = f$ denklemiyle orta eğim denklemini yenilenmesine dayanır. Potansiyel f dalga yüksekliği verisi ve yayılımın yönü tarafından belirtilir. Bu sınır koşulu kullanılarak önceki iki durumdan daha az etkili kalır. Yansımayan dalga bölgenin dışına akabileceği için sınırdan bu dalga

tavsiye edilmez. Tanıştığımız sınır koşulları alt program ve/veya anahtar kelimelerle belirtilebilir.

3.5 Rastgele Tek / Çok Yönlü Dalgaların Davranışı

Gerçek dalga ne tek dalga periyoduyla ne de yayılımın tek yönüyle saptanan enerjisiyle bir rastgele özelliği sergiler. Birbirleriyle bağlantı içinde ve farklı periyotlar ile birkaç tek yönlü dalgaların süperpozisyonu olarak yorumlanabilir. Gerçek bir dalganın enerjisi onu oluşturan tek yönlü dalga enerjilerinin toplam miktarıdır. f 'den $f+df$ 'ye kadar dalganın frekans alanı ve θ 'den $\theta+d\theta$ 'ye kadar dalganın yayılım alanının yönü, $S(f,\theta).df.d\theta$ 'ye kadar toplam enerjiye (ρg terimiyle) bağlıdır.

$S(f,\theta)$, değişikliğin spektral yoğunluğunu belirtmektedir. Dalga özelliklerine göre değişikliğin spektral yoğunluğunun ifadesi için çeşitli formüller vardır. En genel kullanılan formül JONSWAP tarafından geliştirilmiştir. Enerji spektrumu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$S(f,\theta) = J(f).G(\theta) \quad (3.90)$$

Frekans bağımlılığı $J(f)$ aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$J(f) = \delta H_s^2 f_p^4 f^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{f_p}{f} \right)^4 \right] \gamma \exp \left[-0.5 \left(\frac{f/f_p - 1}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3.91)$$

H_s önemli dalga yüksekliğidir.

f_p pik frekansı spektral maksimumun benzeridir.

σ boyutsuz bir ifadedir, aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{cases} f \leq f_p & \sigma = 0.07 \\ f > f_p & \sigma = 0.09 \end{cases} \quad (3.92)$$

γ 1'den 7'ye kadar sıralanan gerçek sayıdır. Değeri 1 olduğu zaman spektrum Pierson-Moskowitz spektrumu diye isimlendirilir. Diğer yandan JONSWAP spektrumu olarak isimlendirilir. Bu parametre spektral frekans yayılmasını saptar. δ , γ 'ya bağlı olan ağırlık katsayısıdır.

$$\delta = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - \frac{0.185}{1.9 + \gamma}} \quad (3.93)$$

$J(f)$ 'nin f / f_p 'ye karşı eğilimi γ 'nın çeşitli değerleri için denklem (3.91)'de verilmiştir.

Doğrultusal dağılım $G(\theta)$ genellikle aşağıdaki şekilde seçilir.

$$G = G_0 \cos^{2s} [(\theta - \theta_0) / 2] \quad (3.94)$$

θ , dalga dağılım yönünü gösteren açıdır.

θ_0 dalga yayılımının ana yönünü belirtir. “s” ne kadar artarsa, yön spektrumunun yayılımı o kadar az olur.

G_0 , G fonksiyonunun normalize edilmesiyle saptanan sabittir.

$$\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} G d\theta = 1 \quad (3.95)$$

$\theta_{\min}$ ve $\theta_{\max}$, çalıştığımız dalgaların sınır dağılım yönünü gösterir.

“s” katsayısının çeşitli değerleri için G fonksiyonu eğilimi denklem(3.94)'de verilmiştir.

ARTEMIS için rastgele tek / çok yönlü dalga hesabı yönler için θ_j ve frekans için f_i değerlerinin sıralanışı içinde gelen dalga enerji spektrumunun eksen diskritizasyonuna bağlıdır. Daha sonra sınır koşulları ile ilişkili olan orta eğim denklemi çözülerek bunların her biri için sabit dalga hesaplamaları yapılır ve en sonunda rastgele dalga özelliklerini sağlamak için sonuçlar yeniden birleştirilir. Spektrumun her birini eşit enerji bantlarına bölen spektrumun frekans ve yön diskritizasyonu benimsenir. Böylece $J(f_i)\Delta f_i$ ve $G(\theta_j)\Delta \theta_j$ her hangi bir i ve j için sabittir. i ve j 'nin maksimum değerleri ($i_{\max}$ ve $j_{\max}$) anahtar kelimelerle kullanıcı tarafından tespit edilir. Çeşitli sabit dalga hesaplamaları aynı gelen enerji ile yapılır. J ve $G(G_0, H_s, \dots)$ 'nin ifade edilmesinde kullanılan sabitler f_i ve θ_j hesaplamaları için anlamsızdır. f_i frekansı, $J(f)$ spektrumunda i bantıyla belirtilir. f_i aynı alan için çift bant içindeki i bantına bölünür.

Aynı alan için $i_{\max}$ bantlarındaki spektrum azaltmak istendiği zaman, sistematik olarak bu bantların limitlerinde frekanslar kaydedilirken gerçekte $2i_{\max}$ bantları

azaltılır. f_i değerleri ikinci, dördüncü,... frekans kayıtlarını alarak elde edilir. Aynı prosedür yönsel spektrumu $G(\theta)$ için tatbik edilir.

Her (f_i, θ_j) çifti için model, ağın her düğümünde bir önemli dalga yüksekliği $H_{m0,k}$ ($1=k=i_{\max}j_{\max}$) sağlar.

Ağın bir düğümü için (f_i, θ_j) ile tanımlanan dalga toplam enerjiye $1/8\rho g H_{e,k}^2 = 1/4\rho g H_{m0,k}^2$ kadar katkı yapmaktadır.

Buradaki $H_{e,k}$ ve $H_{m0,k}$, spektral enerjiyi ve önemli yüksekliği belirtmektedir.

Toplam gelen enerji $1/8\rho g H_{e,inc}^2$ dir. Buradaki $H_{e,inc}$, gelen dalgaların enerji yüksekliğidir. Her hesaplama aynı enerji ile (spektrum ekseni kesilen bantlar aynı değerleri belirtir) yapıldığına göre $H_{e,inc}$ tüm hesaplamalar için aynıdır.

$$\frac{1}{8} \rho g \frac{1}{i_{\max} \cdot j_{\max}} \sum_k H_{e,k}^2 \quad (3.96)$$

Enerji yüksekliği H_e sonucu ağın her düğümünde elde edilir.

$$H_e = \sqrt{\frac{1}{i_{\max} \cdot j_{\max}} \sum_k H_{e,k}^2} \quad (3.97)$$

Önemli dalga yüksekliği H_{m0} , enerji yüksekliği H_e 'den elde edilir.

$$H_{m0} = \sqrt{2} H_e \quad (3.98)$$

Bu nicelik, rastgele dalga halinde ARTEMIS tarafından yeniden düzeltilir. Dalga yüksekliğinin dağılımı, Rayleigh'in kuralını izlediği varsayılarak spektral ve istatistiksel katsayılar bir taraftan H_{m0} ; H_e , diğer taraftan $H_{1/3} - H_{rms}$ bir diğerine eşittir.

3.6 Sonlu Eleman Metoduyla Sayısal Çözüm

3.6.1 Denklem Sisteminin Çözümü

Difransiyel sistemin çözülmesi, hem hesap alanının her bir sınırında sınır koşulları ifadesinin denklemleri hem de değiştirilen orta eğim denkleminde oluşmaktadır. ϕ , x ve y 'ye bağlı karmaşık bir fonksiyondur. Bu fonksiyon denklem (3.99)'da yazılmıştır.

$$\phi(x, y) = \phi_r(x, y) + i\phi_i(x, y) \quad (3.99)$$

x ve y'ye bağlı ϕ_r ve ϕ_i gerçek fonksiyonları ϕ 'nin gerçek ve imgesel parçalarıdır. ϕ fonksiyonu bundan sonra potansiye olarak tanımlacaktır ancak toplam potansiyeli elde etmek için onu $f(z)e^{-i\omega t}$ ile çarpmak gerekmektedir.

Diferansiyel sistemin çözümü aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + CC_g (k^2 + ik\mu) \phi = 0 \end{array} \right. \quad (3.100)$$

ise :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \phi}{\partial n} - i \frac{1 - \text{Re}^{i\omega}}{1 + \text{Re}^{i\omega}} k \cos \theta_p \phi = 0 \end{array} \right. \quad (3.101)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \phi}{\partial n} - ik \cos \theta_p \phi = \frac{\partial \gamma}{\partial n} - ik \cos \theta_p \gamma \end{array} \right. \quad (3.102)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \phi}{\partial n} - ik \cos \theta_p \phi = 0 \end{array} \right. \quad (3.103)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi = f \end{array} \right. \quad (3.104)$$

3.6.2 Problemin Değişken Formülasyonu

Orta eğim denklemi eliptiktir ve sadece sonlu eleman metoduyla çözülebilir. Diferansiyel sistemin (denklem 3.100) çözümü, problemin değişimi formülü sayesinde değiştirilir.

Ω hesap alanı ise, Γ onun sınırı ve Ψ , Ω 'un üzerindeki C_1 'in ana fonksiyonunu belirtirse orta eğim denkleminin değişim formülü şöyle ifade edilir.

$$\forall \Psi \in C_1(\Omega), \int_{\Omega} \Psi \left[\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + CC_g (k^2 + ik\mu) \phi \right] d\Omega = 0 \quad (3.105)$$

Ψ 'nin özelliğinden dolayı, bölümlerde integrasyon mümkündür.

$$\int_{\Gamma} \Psi CC_g \frac{\partial \phi}{\partial n} d\Gamma - \int_{\Omega} CC_g \nabla \Psi \cdot \nabla \phi d\Omega + \int_{\Omega} CC_g (k^2 + ik\mu) \Psi \phi d\Omega = 0 \quad (3.106)$$

Alanın Γ sınırındaki potansiyelin normal türevi çıkar. Sınır koşulları tarafından verilen ifadesiyle yenilenebilir. Bu denklem (3.107)'de belirtilmiştir.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = (A \phi_i + B \phi_r) + i(-A \phi_r + B \phi_i) - E - iF \quad (3.107)$$

Γ 'nın tüm bölümlerinde belirtilen sınır koşullarının çeşitleri tarafından tespit edilen gerçekteki sayılar A,B,E ve F dir.

Aşağıdaki sistem gerçekte ve simgesel bölümlere ayrılarak elde edilebilir.

$$\left\{ \begin{aligned} \int_{\Gamma} \Psi CC_g (B \phi_r + A \phi_i) d\Gamma - \int_{\Omega} CC_g \nabla \Psi \cdot \nabla \phi_r d\Omega \\ + \int_{\Omega} CC_g \Psi (k^2 \phi_r - k\mu \phi_i) d\Omega = \int_{\Gamma} \Psi CC_g E d\Gamma \end{aligned} \right. \quad (3.108)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \int_{\Gamma} \Psi CC_g (-A \phi_r + B \phi_i) d\Gamma - \int_{\Omega} CC_g \nabla \Psi \cdot \nabla \phi_i d\Omega \\ + \int_{\Omega} CC_g \Psi (k^2 \phi_i + k\mu \phi_r) d\Omega = \int_{\Gamma} \Psi CC_g F d\Gamma \end{aligned} \right. \quad (3.109)$$

3.6.3 Sayısal Çözüm Algoritması

3.6.3.1 Matris Formuna Getiriliş

Lineer ana fonksiyonlar üçgen elementler üzerinde seçilmiştir. Bu fonksiyonlar C_1 'in gerçekteki Ψ fonksiyonlarıdır. ϕ_r ve ϕ_i , ana fonksiyon Ψ 'de çözülür.

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_r = \sum_{j=1}^{NPOIN} \phi_r^j \Psi_j^e \end{aligned} \right. \quad (3.110)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_i = \sum_{j=1}^{NPOIN} \phi_i^j \Psi_j^e \end{aligned} \right. \quad (3.111)$$

NPOIN ağıdaki noktaların toplam sayısıdır. Ψ_j^e fonksiyonları e indeksi ile her elementte lineerdir ve başka bir yerde geçersizdir. Bu ifadeleri öncelikle denklemlerin kurulma tanımına katarak, matris sistem aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{pmatrix} AM & BM \\ -BM & AM \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \phi_r \\ \phi_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CV1 \\ CV2 \end{pmatrix} \quad (3.112)$$

AM boyunca pozitif diyagonalı elde etmek için, önceki denklem çifti -1 ile çarpılır. AM, NPOIN x NPOIN boyutları ile sağlanan bir matristir. Genel denklem (3.113)'de belirtilmiştir.

$$AM_{jk} = - \int_{\Gamma} \Psi_j \Psi_k CC_g B d\Gamma + \int_{\Omega} CC_g \nabla \Psi_j \cdot \nabla \Psi_k d\Omega - \int_{\Omega} CC_g k^2 \Psi_j \Psi_k d\Omega \quad (3.113)$$

BM de NPOIN x NPOIN boyutundaki bir matristir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$BM_{jk} = - \int_{\Gamma} \Psi_j \Psi_k CC_g A d\Gamma + \int_{\Omega} \Psi_j \Psi_k CC_g k \mu d\Omega \quad (3.114)$$

ϕ_r ve ϕ_i , ϕ_r^j et ϕ_i^j elemanlarından oluşan NPOIN boyutlu vektör çiftidir.

NPTFR boyutlu kenar vektörleri aşağıda gösterilmiştir.

$$CV1_j = - \int_{\Gamma} \Psi_k CC_g E d\Gamma \quad (3.115)$$

$$CV2_j = - \int_{\Gamma} \Psi_k CC_g F d\Gamma \quad (3.116)$$

Eğer AM matrisindeki diyagonal terim pozitifse, uygun ön koşul sisteme tatbik edilir. Sınır terimine bakmıyarak, AM_{jk} yaklaşık olarak $1 / (\Delta x)^2 - k^2$ (Δx ağın ortalama boyutunu ifade etmektedir) işaretidir. $1 / (\Delta x) > k$ koşuluyla diyagonal terim pozitif kalır. Bu durumdan dolayı seçilen ağ boyutu $L / 7$ 'den daha küçük olabilir. Her dalga uzunluğuna en azından 7 grid düğümü gerektiği görülür. Basitçe örneklersek, her dalga boyu başına dört düğümünden daha az yapılırsa çözüm hatalı olacaktır.

3.6.3.2 Matrisin Çözümü

Hem AM ve BM matrisleri hem de CV1 ve CV2 üyeleri sonlu element kütüphanesi BIEF'in alt programları tarafından hesap edilir. Bu matrisler bir element için hesap edilir. Sadece diyogonellerle birlikte konulur. Hesaplamalara yardım için üçgenlerin her birinde P1 diskritizasyon ile CC_g ürünü alırız. A, B, E ve F katsayıları kenar parçalarının her birinde sabit olarak alınır. C ve C_g , Airy'nin dağılım bağıntısı sayesinde elde edilerek k dalga sayısından hesap edilir.

$$\frac{\omega^2}{gk} = th(kh) \quad (3.117)$$

$x = kh$ ve $y = w^2 h / g$ alınarak dağılım bağıntısı $y = xth(x)$ olur.

$$x = \sqrt{y} \left(y + \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^5 p_j y^j} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{buradaki} \quad \begin{cases} p_1 = 0.6522 \\ p_2 = 0.4622 \\ p_3 = 0. \\ p_4 = 0.0864 \\ p_5 = 0.0675 \end{cases} \quad (3.118)$$

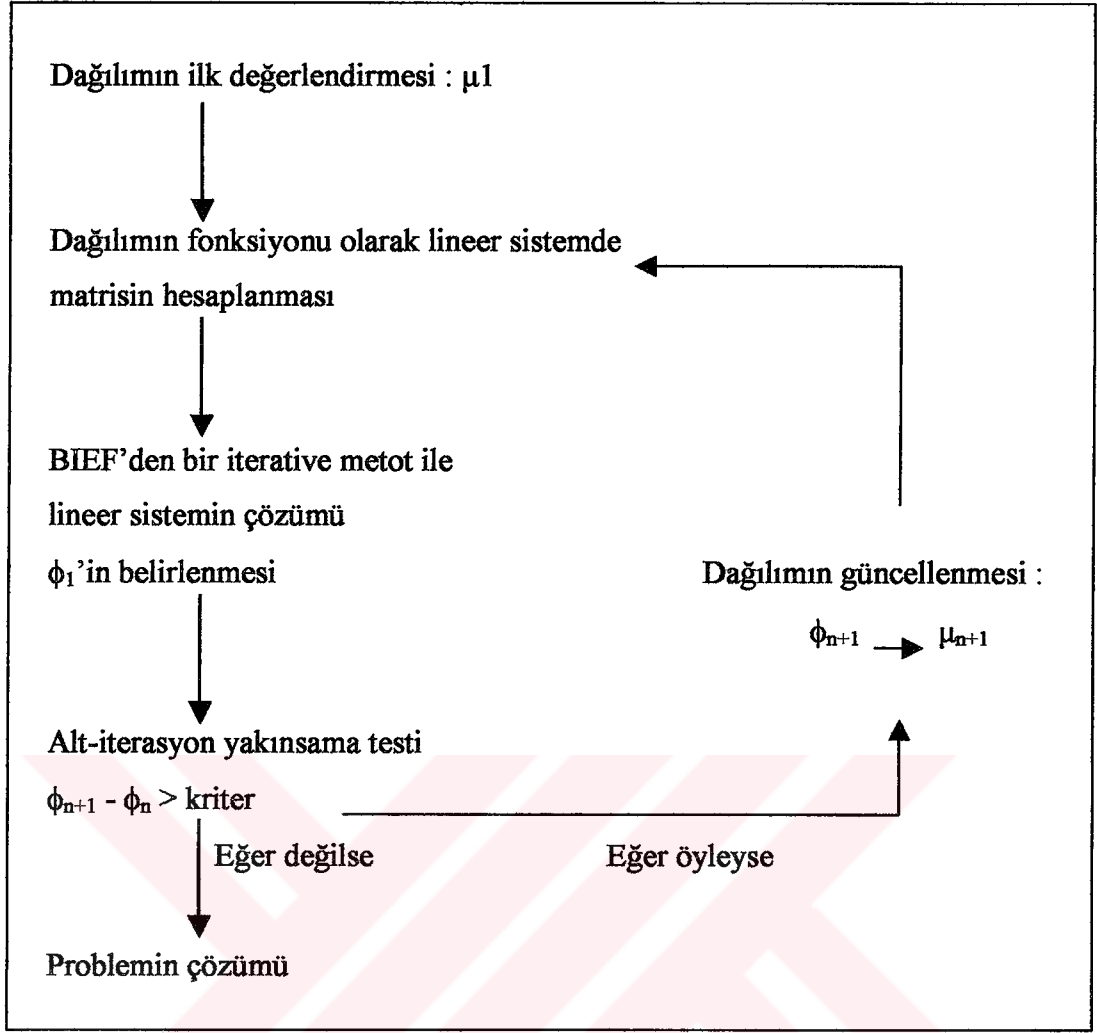
3.6.3.3 Lineer Sistemin Çözümü

ARTEMIS Versiyon 2.0'den büyük farkı dağılım yöntemini hesaba katmaktadır. Görüldüğü gibi yeni özellik BM matrisinde yeni bir terim ile sonuçlanır. Bu terim dağılım katsayısı μ ile bağlantılıdır. Bu terimin kırılma ve taban sürtünmesine bağlı olduğu düşünülür. Bu güçlük her zaman H 'a bağlı olan μ 'yü yalanlar. Böylece lineer sistem doğrudan doğruya çözümlenemez. Benimsenen çözüm tahmin-düzeltilme şemasıdır. μ katsayısının ilk değerlendirmesi hesap alanı boyunca yapılır. Lineer sistem, TELEMATAC sisteminin BIEF kütüphanesinde önerilen iteratif metodlardan biriyle çözülür. İlk çözüm ϕ_1 elde edilir. Dağılımının ikinci değerlendirmesi μ_2 hesaplamayı mümkün kılar. Bu ikinci değerlendirme lineer sistemi tekrar çözmek için ve ϕ_2 çözümü elde edilmesinde kullanılır.

Kullanıcı ard arda iki çözüm arasındaki farkın yeterli olduğunu düşünürse yada kullanıcı tarafından kurulan sınır değeri tekrar edilen alt iterasyon sayısına ulaştığı zaman yöntem yarıda kesilir. Metodun yakınsamasına yardım etmek için o işlem için önceden bir alt-ayarlama katsayısı tanımlanmıştır. Ayarlama katsayısı kullanıcı tarafından belirtilir. Şekil3.8'de kapsamlı çözüm algoritması gösterilmiştir.

Görülür ki, lineer sistem için düşünülen en uygun iteratif çözücü normal denklemi kapsayan eşlenik gradyan algoritmasıdır. Matris öncelikle köşegensel olarak ön kabul olabilir. Kullanıcı BIEF'deki anahtar kelimeleri kullanarak diğer ön kabulü ve diğer çözücüü özgürce seçebilir.

Rastgele dalgalarına gelince, önceden tarif edilen algoritma enerji spektrumu diskritizasyonu (yani $i_{\max} * j_{\max}$ zamanı) yüzünden gerekli olduğu kadar izlenir. (f_{i+1}, ϕ_j) , (f_i, ϕ_{j+1}) çiftlerini ve (f_{i+1}, ϕ_{j+1}) çiftlerine karşılık olan dalga hesaplama zamanını geliştirmek için, öncelikle (f_i, ϕ_j) çifti hesaplanan bu değerler dağılım katsayısı ve bilinmeyenleri başlangıç için kullanılır.



Şekil 3.8: Çözüm algoritması.

Pratik olarak, yakınsamayı içeren iterasyon sayısı, NPOIN ağda düğüm sayısı ile önemli bir şekilde aynı gibi görünür. İterasyon için gereken zaman (vektörler ile matrisin üretimine bağlı olarak) düğümlerin sayısı ile orantılı olduğuna göre zamanı ARTEMIS'de hesaplamak düğüm sayısının karesiyle global olarak orantılıdır. Orantılı olarak katsayı hesap alan sınırlarının başına, batimetriye ve hesap mekanizmasına bağlıdır. Ne kadar çok sıvı sınır varsa o kadar küçük olur. Derinlik ne kadar büyükse o kadar büyük olur. Şu demektir ki, bir difüzyon matrisi bir kütle matrisinden daha zor kendine çevrilir. Derinlik ne kadar büyük olursa faz ve grup hızları o kadar yüksek olur. Difüzyon matrisi kütle matrisiyle bağlantılı olarak gittikçe yaygınlaşır.

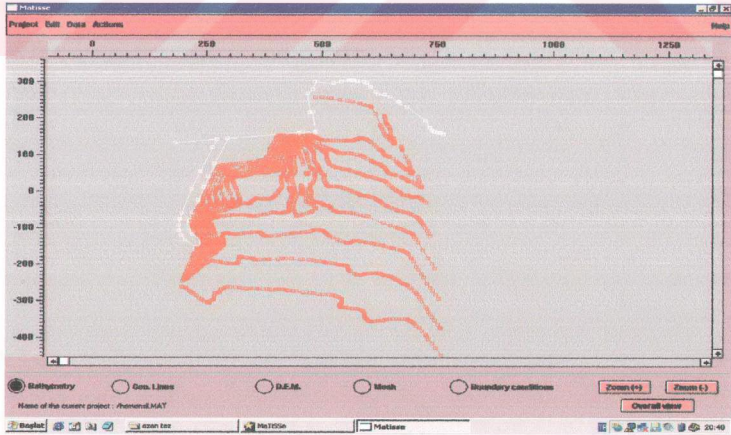
Dağılım terimlerinin hesaplanmasının yakınsamasını sağlamak için talep edilen alt-iterasyon sayısı genellikle 4 veya 5'dir.

3.7 Artemis ile Modelleme

TELEMAC model sistemindeki ARTEMIS yazılımı kullanılarak tuzla bölgesindeki “Tuzla Limanı” modellenmiştir. AutoCAD programında “dwg” uzantılı dosyayı “dxf” uzantısına çevrildi. “dxf” uzantılı dosyayı “xyz” uzantısına çeviren bir çevirici program kullanıldı. Ardından “sinusx” formatına getirilen batimetri MATISSE programına aktarıldı. MATISSE programına “dxf, seraphin, sinusx ve xyz” formatındaki batimetrimlerin girilmesi mümkündür. MATISSE programı veri girilmesi, TELEMAC geometri ve sınır koşulları dosyalarının oluşturulmasında kullanılır. MATISSE programının kullanımı beş adımdan oluşmaktadır. Bunlar aşağıda yazılmıştır:

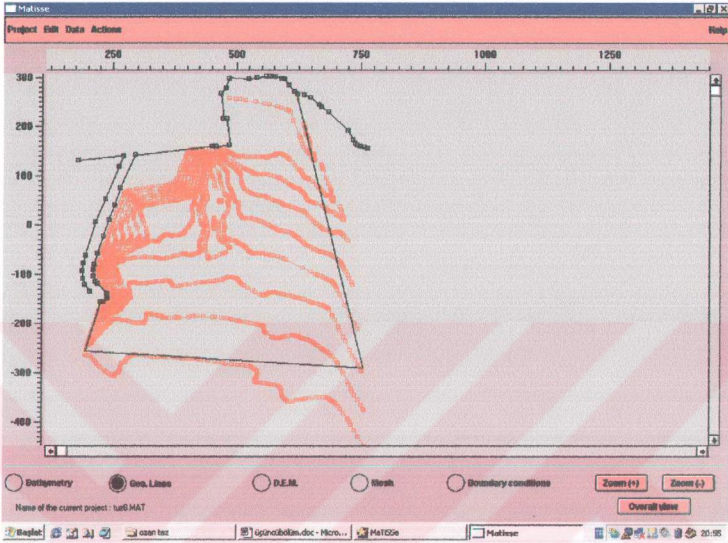
- Batimetri
- Geometri çizgisi
- Dijital arazi modeli (D.E.M.)
- Ağ
- Sınır koşulları

Batimetri adımıyla kullanacağımız bölgenin dijital batimetrisini girebilir, üzerinde düzeltmeler yapabiliriz. Bu adımda tuzla bölgesinin batimetrisi programa girilmiştir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.9) MATISSE programında girmiş olduğumuz tuzla limanı batimetrisi görülmektedir.



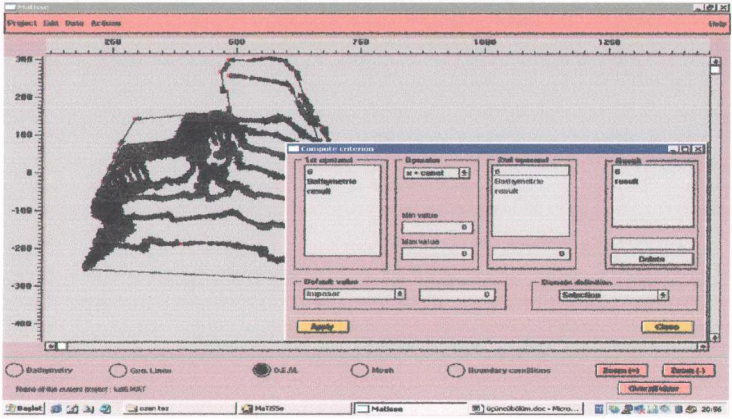
Şekil 3.9: Tuzla adlı simülasyonunun batimetri adımı.

Geometri çizgisi adımında model bölgesinin sınırları belirlenir. Tuzla limanında kullanmak istediğimiz bölgenin sınırları bu adımda belirlendi. Şekil 3.10'da tuzla limanındaki hesap alanı sınırları görülmektedir.



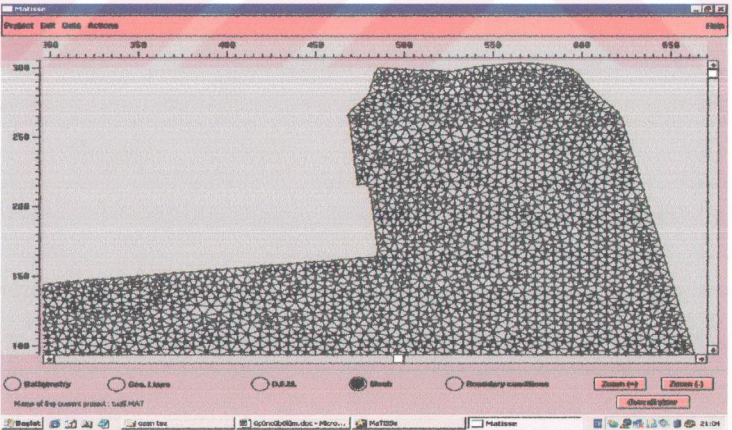
Şekil 3.10: Tuzla6 adlı simülasyonun geometri çizgisi adımı.

D.E.M. (dijital arazi modeli) adımıyla oluşturulacak ağın ebatları tanımlanır. Oluşturmak istediğimiz ağın sıklığı ve kriterleri belirlenir. Tuzla limanı modellenmesinde kıyı ve dalgakıran çevresinde daha sık ağ oluşturulmuştur. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi ağ oluturacağımız bölgede kriterler bu adımda girilir. Kriterler verilerek hesap alanındaki ağın istediğimiz sıklıkla oluşturulması sağlanır. ARTEMIS'de dalga modellenirken program başlangıç olarak verilen dalga için dalga boyuna yedi-sekiz düğüm düşmesini istemektedir. Eğer bu kriter sağlanmazsa ARTEMIS çalıştırılırken program hata verecek ve hesaplama sona erecektir. Bunu önlemek için tuzla limanı modellenmesinde kullanılan dalga periyodu ve dalga yüksekliğinden dalga boyu hesaplanarak dalga boyuna yedi-sekiz düğüm düşecek şekilde ağ oluşturulmuştur. Dalgalarla ilgili bilgileri içeren birinci bölümde ilgili denklemler ve tanımlar yapılmıştır.



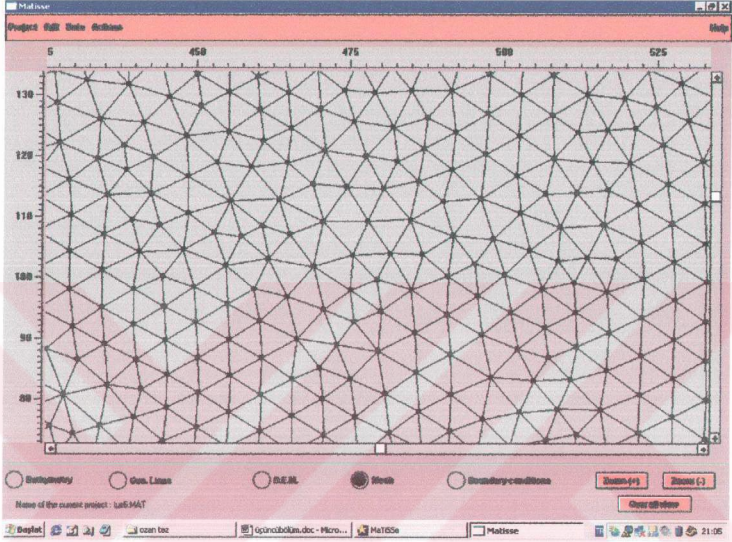
Şekil 3.11: Tuzla6 adlı simülasyonun D.E.M. adımı.

Ağ adımımda ağ yaratılır, batimetri interpolate edilir ve TELEMAC geometri dosyası kaydedilir. Ağ üzerinde değişiklikler yapma imkanı sunulmuştur. Tuzla limanı için ağ oluşturularak daha sonra ARTEMIS yazılımında kullanılmak üzere TELEMAC geometri dosyası oluşturuldu. Şekil 3.12'de tuzla limanında oluşturulan ağ görülmektedir. Ağ dalgakıran ve kıyı çevresinde sıklaştırılmıştır. Ağ denize açılan sınırlarda altı metre aralıklarla, dalgakıran ve kıyı çevresinde ise beş metre aralıklarla oluşturulmuştur.



Şekil 3.12: Tuzla6 adlı simülasyonun ağ adımı.

Oluşturulan ağda düğüm sayısı 7463 ve eleman sayısı 14553 olduğu görülmüştür. Şekilde oluşturulan ağ daha ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Şekil 3.13). Düğümler birbirleriyle birleştirilirken üçgen şeklinde ağ oluşmuştur. Yapılan hesaplamalar ağda görülen her bir düğüm için yapılır.



Şekil 3.13: Tuzla6 adlı simülasyonda oluşturulan ağ.

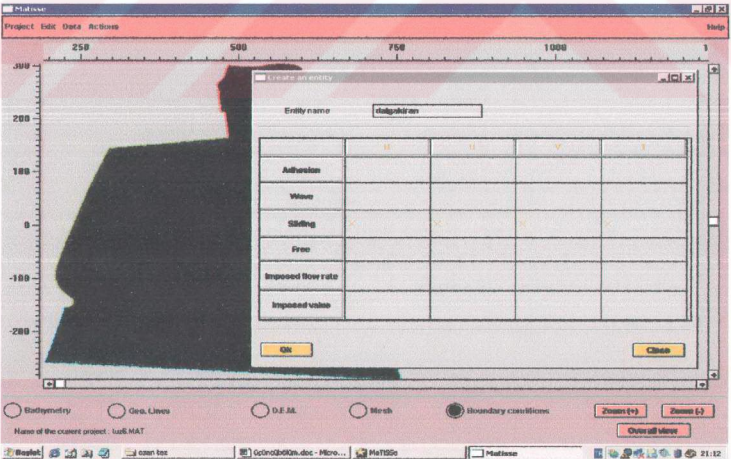
Şekil 3.14’de Tuzla6 adlı simülasyonun sınır koşulları görülmektedir. Sınır koşulları adımında bölgede istenilen sınır koşulları girilir. Bu koşullar için gerekli gruplar meydana getirilir ve TELEMAT sınır dosyası kaydedilir. Tuzla limanının modellenmesinde üç adet grup oluşturulmuştur. Bunlar dalgakıran, kıyı ve deniz gruplarıdır.

Bu adımda sınır koşulları belirlenerek daha sonra ARTEMİS yazılımında kullanılmak üzere TELEMAT sınır koşulları dosyası kaydedildi. Şekil 3.14’de tuzla limanında oluşturulan gruplar gösterilmiştir. Şekilde mavi renkle gösterilen sınır denizi, kırmızı renkle gösterilen sınır kıyıyı, sarı renkle gösterilen sınır da dalgakıranı ifade etmektedir.



Şekil 3.14: Tuzla6 adlı simülasyonun sınır koşulu adımı.

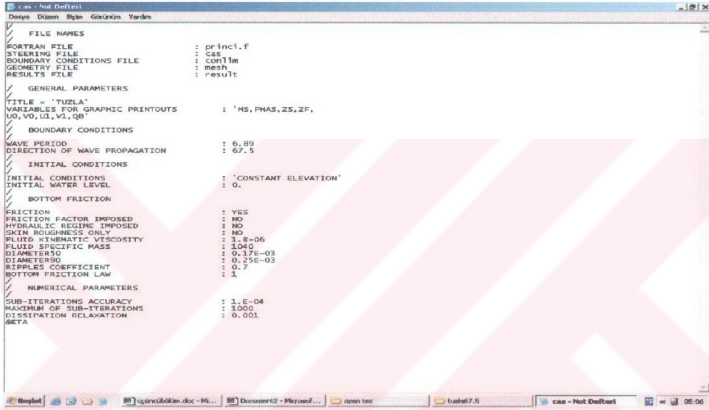
Sınır koşulları MATISSE programına girilirken oluşturulan her grup için ayrı ayrı özellikleri tanımlanmaktadır. Şekil 3.15’de dalgakıran grubu için tanımlanan sınır tipi görülmektedir. Dalga kıran için katı duvar özellikleri girilmiştir. Sınır tiplerinin seçiminde MATISSE kullanıcı kılavuzundaki (Quiquempoix, Boulet ve Hervouet, 1998) veriler kullanılmıştır.



Şekil 3.15: Tuzla6 adlı simülasyonda grup özelliklerinin belirlenmesi.

ARTEMIS programını kullanabilmek için yönetici dosya, fortran dosyası, telemac geometri dosyası, telemac sınır koşulları dosyası ve sonuç dosyalarının bulunması gerekmektedir.

Yönetici dosyanın içinde dosya isimleri, genel parametreler, sınır koşulları, başlangıç koşulları, taban sürtünmesi, nümerik parametreler ve kırılma ile ilgili bilgiler bulunur. Şekil 3.16'da tuzla limanı modellenmesinde kullanılan yönetici dosya örneği görülmektedir.



Şekil 3.16: Tuzla limanı modellenmesinde kullanılan yönetici dosya örneği.

Buradaki kullanılan terimler ve kısaltmalar aşağıda açıklanmıştır.

HS : Dalga yükseliği

PHAS : Dalga fazı

ZS : Sakin durumda serbest yüzey

ZF : Taban

U0 : Sakin durumdaki serbest yüzeydeki U hızı ($t = 0$)

V0 : Sakin durumdaki serbest yüzeydeki V hızı ($t = 0$)

U1 : Sakin durumdaki serbest yüzeydeki U hızı ($t = T/4$)

V1 : Sakin durumdaki serbest yüzeydeki V hızı ($t = T/4$)

QB : Kırılma oranı

Dalga yayılma yönü, x-y koordinat ekseninde x eksenini sıfır derecesini göstermek koşuluyla saat yönünün tersi istikametinde artan derece ile ifade edilir.

Başlangıç koşulu dört farklı şekilde girilebilir.

- Sıfır yükselti
- Sabit yükselti
- Sabit derinlik
- Ayrıntılı

Ayrıntılı koşul kullanıldığında CONDIH alt programı kullanılarak değişiklik yapılması gereklidir.

Akışkanın özgül ağırlığı 1040 kg/m^3 alınmıştır. Bu parametre sürtünme hesaba katıldığında kullanılır.

Çap 50 : Taneciklerin %50'sinin en büyük çapının değeri olarak verilir.

- $0.66*10^{-3}$ çok kaba kum
- $0.33*10^{-3}$ kaba kum
- $0.17*10^{-3}$ orta kum
- $0.083*10^{-3}$ ince kum
- $0.04*10^{-3}$ çok ince kum

Çap 90 : Taneciklerin %90'ının en büyük çapının değeri olarak verilir.

- 10^{-3} çok kaba kum
- $0.5*10^{-3}$ kaba kum
- $0.25*10^{-3}$ orta kum
- $0.125*10^{-3}$ ince kum
- $0.062*10^{-3}$ çok ince kum

Taban sürtünmesi kuralı, iki kural seçenek olarak verilmiştir. Kullanıcı istediği taban sürtünmesi kuralını seçmekte özgürdür.

- Dingemans kuralı, yönetici dosyada bu kural “1” sayısıyla ifade edilir.
- Putman & Johnson kuralı, yönetici dosyada bu kural “2” sayısıyla ifade edilir.

Taban sürtünmesi boyunca dağılım hesaba katılmak istenirse dağılım katsayısı W iki formülden belirlenir.

Kostense, Meijer ve Dingemans tarafından etkili hız U_e düşüncesi ileri sürülerek aşağıdaki formül elde edildi.

$$W = \frac{1}{2} f_w \frac{1}{h (\cosh kh)^2} U_e \quad (3.119)$$

f_w : Sürtünme faktörü

U_c : Yüzeydeki etkili dalga hızı

Putman & Johnson'nın formülü dalganın yörüngesel hızının tahminine dayanır.

Dağılım fonksiyonu aşağıdaki formülle elde edilir.

$$W = \frac{1}{2} f_w H \frac{4}{3\pi} W^3 \frac{1}{g \sinh^3 kh} \quad (3.120)$$

Alt iterasyon doğruluğu ve en fazla iterasyon sayısı kullanıcı tarafından belirlenen değerlerdir. Fortran dosyası ARTEMIS yazılımının kullanımı için gerekli dosyalardan biridir. Fortran dosyası iki adet alt programdan meydana gelmektedir.

Bu alt programlar şunlardır.

- BORH
- CORFON

Bu alt programlar kullanıcı tarafından modellenmek istenen bölgenin verileri girilerek düzeltmeler yapılması için olanak sağlar. Tuzla limanı modellenirken kullanılan fortran dosyası "princi.f" ekler arasında bulunmaktadır.

BORH alt programı, MATISSE programındaki sınır değerlerini girerek bunlar hakkında programa ayrıntılı bilgi girilmesine yardımcı olur. Katı ve sıvı sınır koşulları belirtilir. Bunlar için fortran dosyasında bazı parametreler kullanılır.

LIHBOR, sınır tipleri için bir koddur.

KINC, sıvı sınır koşulunda gelen dalgayı ifade eder.

KSORT, sıvı sınır koşulunda çıkan serbest dalgayı ifade eder.

KLOG, katı sınırı ifade etmekte kullanılır.

RP, 0 ile 1 arasındaki yansıma katsayısıdır.

TETAP, gelen dalganın katı cisimden yansıması olayında yüzeyin normaliyle arasındaki açıdır. Bu değer 0 ile $\pi/2$ arasındadır.

HB, dalga yüksekliğidir.

TETAB, x-y koordinatlarında x ekseninden saat yönünün tersinin pozitif olduğu açıdır. X eksenini sıfır derecedir.

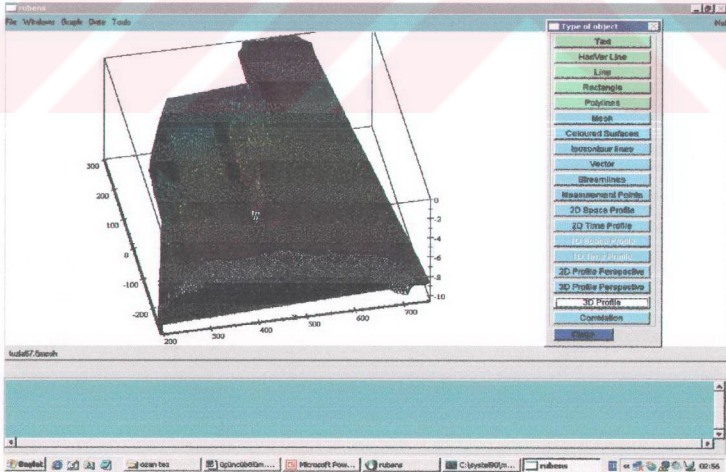
CORFON alt programı kullanıcıya deniz tabanında değişiklik yapabilme imkanı sağlar. ARTEMIS programı hesaplamalar sırasında oluşan kuru alan durumunda hata vererek çalışmaz. Bu durumu ortadan kaldırmak için fortran dosyasında CORFON alt programı bulunmaktadır. CORFON alt programıyla topoğrafya

üzerinde değişiklik yapılır. Tuzla limanı modellenirken CORFON alt programında değişiklikler yapılmıştır.

ZF, tabanı ifade eder.

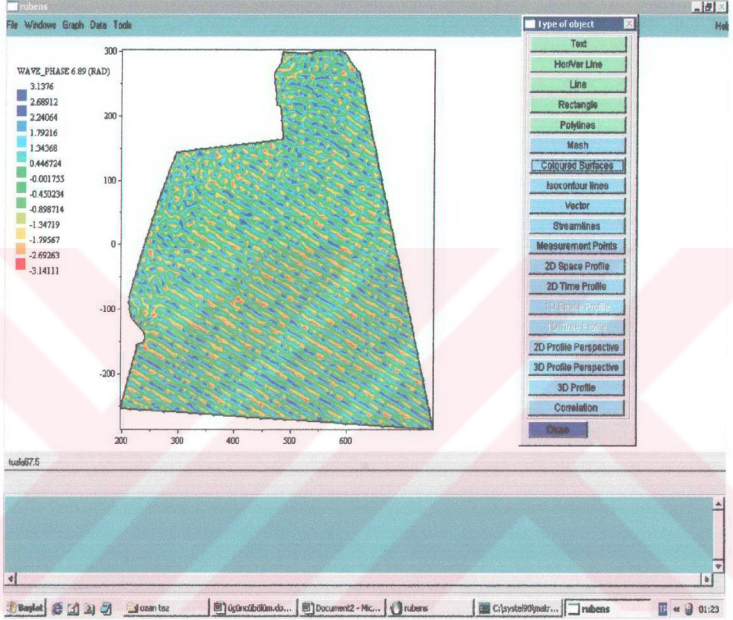
Bief kütüphanesi sonlu eleman metedunun çalışması hakkında tüm hesap modüllerini içerir.

ARTEMIS çalıştırılmadan önce yönetici dosya, geometri dosyası, sınır koşulları dosyası ve fortran dosyası bir klasörde toplanır ve dos ortamında ARTEMIS çalıştırılır. Tuzla limanının modellenmesinde tüm bu işlemler yapıldıktan sonra ARTEMIS doğru şekilde çalışarak sonuç dosyasını meydana getirdi. Ayrıca “txt” uzantılı başka bir dosyaya hesap sırasındaki verileri yazarak kontrol etmemize olanak sağladı. Tuzla limanı modelleme sonuçlarında bu dosyaları görmek mümkündür. Sonuçların görülmesi için RUBENS programı kullanılır. ARTEMIS sonuçları da elde edildikten sonra RUBENS’de oluşturulan yeni dosya “rub” uzantılıdır. Tuzla limanı modellenmesinde sonuçların elde edilmesi ile RUBENS’den çıktılar alındı. RUBENS’deki renk yüzeyi, 2D profili, 3D profili ve ölçüm noktası adımlarından görsel olarak taban, serbest yüzey, dalga kırılması, dalga yüksekliği, dalga fazı, u ve v hızlarını inceleyebilmekteyiz. Ayrıca bu verilerin sayısal olarak çıktılarını almak mümkündür.



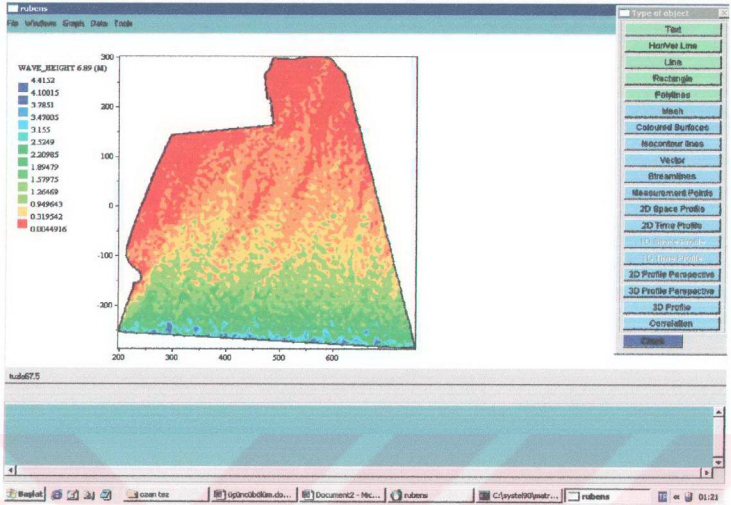
Şekil 3.17: Tuzla67.5 adlı simülasyonun üç boyutlu batimetrisi.

Şekil 3.17’de Tuzla67.5 adlı simülasyonun RUBENS programından alınan üç boyutlu batimetrisini görmekteyiz. Şekil 3.17’den de görüleceği üzere dalganın gönderildiği yerdeki kot -11m. ’den kıyıya doğru 1’er metre aralıklarla 0 kotuna ulaşmaktadır. Batimetride ani değişen kodlar nedeniyle Tuzla limanının TELEMAT model sistemiyle modellenmesinde sorunlarla karşılaşmıştır.



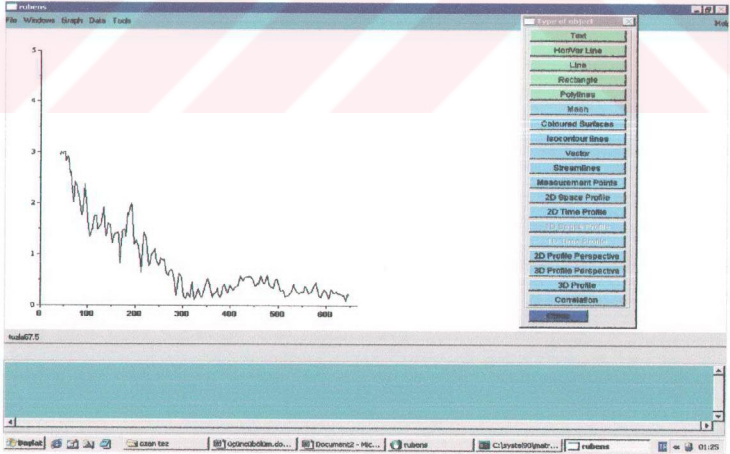
Şekil 3.18: Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga fazı.

Şekil 3.18’de Tuzla67.5 adlı simülasyonun RUBENS programından alınan dalga fazı görülmektedir. Dalgaların tepe ve çukurları rahatlıkla görülebiliyor. RUBENS programından dalga fazının üç boyutlu şeklini görmek mümkündür. Ayrıca grafik yada sayısal veriler olarak çıktı alınabilir. Kullanıcıya birçok alternatif sunulmuştur. TELEMAT model sistemindeki diğer yazılımları simülasyon sonuçları yine RUBENS’den alınmaktadır (Quiquempoix, 1997).



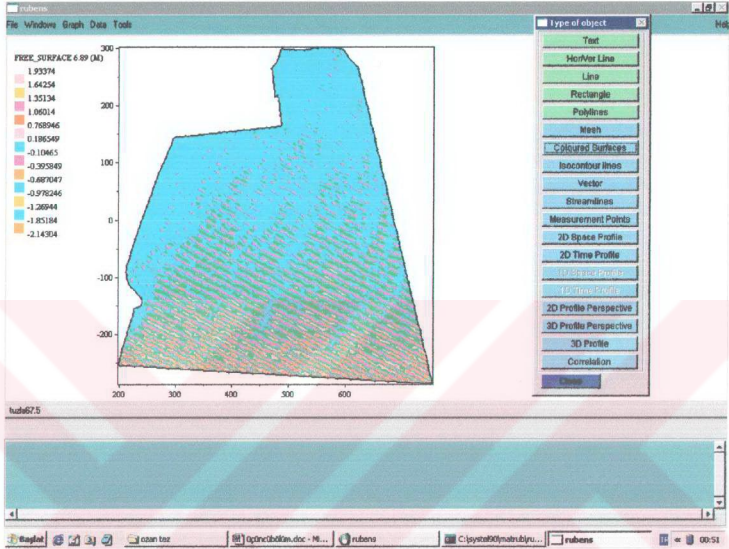
Şekil 3.19: Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği.

Şekil 3.19’de Tuzla67.5 adlı simülasyonun RUBENS programından alınan dalga yüksekliği görülmektedir. Veriler dalganın kıyı ve dalgakırandan yansıdıktan sonraki dalga yüksekliği verileridir.



Şekil 3.20: Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği grafiği.

Şekil 3.20’de Tuzla67.5 adlı simülasyonun RUBENS programından alınan dalga yüksekliği grafiği görülmektedir. Bu grafikteki veriler RUBENS’den alınarak MATLAB programında yapay sinir ağlarında eğitim setinde kullanılmıştır.



Şekil 3.21: Tuzla67.5 adlı simülasyonun serbest yüzey şekli.

Şekil 3.21’de Tuzla67.5 adlı simülasyonun RUBENS programından alınan serbest yüzey şekli görülmektedir. RUBENS programından istediğimiz birçok şekil, grafik ve veri almak mümkündür.

4.YAPAY SİNİR AĞLARI

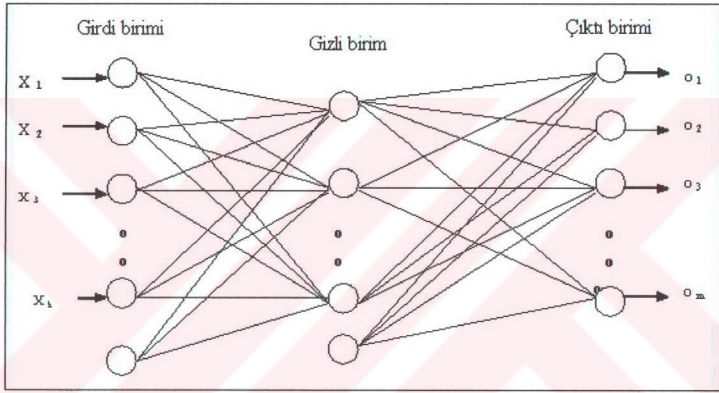
Yapay sinir ağı, insan beyninin çalışma prensiplerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde uygulanması fikri ile ortaya çıkmış ve ilk çalışmalar beyni oluşturan biyolojik hücrelerin, ya da literatürdeki ismiyle nöronların matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır (Efe ve Kaynak, 2000). Bilgi işleme süreçleri olarak niteleyebileceğimiz yapay sinir ağı, biyolojik sistemin bazı üstünlüklerini yakalamak isteyen basit işlem elemanlarının yoğun bir paralel dizisi olarak tanımlanabilir. Bilgileri seri bir şekilde işleyebilmesi ve donanımının kolay kurulabilmesi yapay sinir ağlarına geniş bir kullanım alanı sunmuştur.

Lineer olmayan sistem davranışının modellenmesindeki başarısından dolayı, yapay sinir ağlarının hidroloji ve hidrolik konularında uygulamaları son zamanlarda artmıştır. Yapay sinir ağlarının su kaynaklarında sıkça karşılaşılan değişik problemlere uygulanması ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. YSA uygulamalarının en yoğun olduğu alan nehir akımlarının tahminidir (Cığızoğlu, 2003a; Cığızoğlu, 2003b; Cığızoğlu, 2003c; Cığızoğlu ve Kişi, 2005). Lineer olmayan yapay sinir ağı yaklaşımının yağış-akış ilişkisini iyi temsil ettiği gösterilmiştir (Fernando ve Jayawardena, 1998; Cığızoğlu ve Alp, 2004). Yapay sinir ağı teknolojisi günlük akımların; günlük yağış, sıcaklık ve kar erimesi verilerinin fonksiyonu olarak kestiriminde kullanılmıştır. (Tokar ve Johnson, 1999) Yapay sinir ağı, aynı zamanda değişik yeraltı suyu problemlerinde kullanılmıştır.(Rogers ve Dowla, 1994) Yapay sinir ağı ayrıca birim hidrograf elde edilmesinde (Lange 1998), bölgesel taşkın frekans analizinde (Hall ve Minns, 1998) ve kanalizasyon akımlarının tahmininde (Djebbar ve Alila, 1998) olumlu sonuçlar vermiştir. Askı maddesi konsantrasyonu kestirimi ve tahmini de yapay sinir ağı uygulamalarına dahil olmuştur (Cığızoğlu, 2002; Cığızoğlu, 2004).

4.1 İleri Beslemeli Geriye Yayılım Sinir Ağları

İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağında girdi, gizli ve çıktı birimleri olmak üzere üç farklı birim bulunmaktadır (Şekil 4.1). Her birim bir çok hücreden oluşmakta

olup birimler aralarında ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadır. Bağlanma şekli ve her kısımdaki hücre sayısı değişebilmektedir. Aynı kısımdaki hücreler arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Hücreler girdiyi ya başlangıç girdilerinden ya da ara bağlantılardan alırlar. Geriye doğru hata yayılması iki etaptan oluşmaktadır: çıktı birimindeki çıktı bilgi sinyalini hesaplamak için girdi hücrelerindeki dış girdi bilgisini ileriye doğru ileten bir ileriye doğru besleme etabı ile çıktı birimindeki hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme etabı (Eberhart ve Dobbins, 1990).



Şekil 4.1: İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağlarında girdi, gizli ve çıktı birimleri.

Bir eğitim sürecinin başında, bağlantı kuvvetleri rastgele değerler olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması her iterasyonda eğitim başarı ile tamamlanana kadar kuvveti değiştirmektedir. İterasyon süreci bir sonuca vardığında bağlantı kuvvetleri, eğitim sürecinde kullanılan örneklerdeki mevcut bilgiyi elde eder ve saklar.

Yeni bir girdi grubu sunulduğunda, ileriye doğru besleme ile yapay sinir ağının bağlantı kuvvetlerindeki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilir. Kullanılan yapay sinir ağı bir girdi, bir gizli ve bir çıktı biriminden oluşan üç birimli bir öğrenme ağıdır.

Her birinin girdi hücrelerinde x_i , $i=1, \dots, k$ girdi değerleri, çıktı hücrelerinde de T_n , $n=1, \dots, m$ çıktı değerleri kümesi bulunan toplam N adet girdi grubu bulunmaktadır.

Girdi değerleri gizli hücrelerdeki ilk ara bağlantı ağırlıkları, w_{ij} , $j=1, \dots, h$, ile çarpılmakta ve sonuçlar i indeksi boyunca toplanmakta ve gizli birimlerin girdileri olmaktadırlar, örneğin:

$$H_j = \sum_{i=1}^k w_{ij} x_i \quad j=1, \dots, h \quad (4.1)$$

burada H_j j gizli hücresinin girdisi, w_{ij} ise i hücresinden j hücresine doğru olan bağlantı ağırlığıdır. Her gizli hücre bir sigmoid fonksiyonu yardımı ile bir gizli hücre çıktısı HO_j oluşturmaktadır. HO_j şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$HO_j = f(H_j) = \frac{1}{1 + \exp[-(H_j + \theta_j)]} \quad (4.2)$$

burada H_j hücresinin girdisi, $f(H_j)$ hücre çıktısı ve θ_j başlangıç veya taraflılık değeridir. Başlangıç değeri θ_j , ağırlıklarla aynı şekilde öğrenilecektir. HO_j çıktısı bir sonraki birimin girdisi olmakta ve bu işlem çıktı birimine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. m adet çıktı hücrelerine ulaşan girdi şu şekilde bulunmaktadır:

$$IO_n = \sum_{j=1}^h w_{jn} HO_j \quad n=1, \dots, m \quad (4.3)$$

Bu girdi değerleri daha önce tanımlanan sigmoid fonksiyonu tarafından işlenerek sinir ağı çıktı değerleri O_n elde edilmektedir. Daha sonraki ağırlık düzenlemesi ya da öğrenme süreci geriye doğru ilerleme algoritması ile sağlanmaktadır. Çıktı birimindeki O_n , hedef değeri T_n ile aynı olmayacaktır. Her girdi grubu için hata karelerinin toplamı e_p , p . girdi grubu için şu şekilde bulunmaktadır:

$$e_p = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m (T_n - O_n)^2 \quad (4.4)$$

Ortalama sistem hatası ya da ortalama kare hatası (OKH), E bütün girdi grupları için şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{p=1}^N \sum_{n=1}^m (T_{pn} - O_{pn})^2 \quad (4.5)$$

burada T_{pn} , p. grup için T_n hedef değeri, O_{pn} ise p. grup için O_n çıktı değeridir. Geriye doğru ilerleme algoritmasının amacı ortalama kare hatasının iterasyonla en aza indirilmesidir. Bu önce çıktı birimindeki her hücre için δ_n gradyanının hesaplanması ile gerçekleştirilir:

$$\delta_n = O_n (1 - O_n) (T_n - O_n) \quad (4.6)$$

Hata gradyanı δ_j daha sonra gizli birimler için bir önceki birimdeki hataların ağırlıklı toplamının hesaplanması ile bulunmaktadır:

$$\delta_j = HO_j(1 - HO_j) \sum_{n=1}^m \delta_n w_{jn} \quad (4.7)$$

Hata gradyanları daha sonra ağ ağırlıklarını güncellemek için kullanılmaktadır:

$$\Delta w_{ji}(r) = \eta \delta_j x_i \quad (4.8)$$

$$w_{ji}(r+1) = w_{ji}(r) + \Delta w_{ji}(r) \quad (4.9)$$

n. veri sunumundan sonraki ağırlık değişimi şu şekildedir:

$$\Delta w_{ji}(r) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(r-1) \quad (4.10)$$

burada α sonuca hızlı ulaşılmasını sağlayan momentum oran terimi, η etap boyutunu ayarlayan öğrenme oranı, r ise iterasyon numarasıdır. (Raman ve Sunilkumar, 1995)

Yapay sinir ağlarında giriş ve çıkış verileri arasındaki tasvir, aktivasyon fonksiyonu ile sağlanmaktadır. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal, sigmoid ve tanjant hiperbolik fonksiyonlarıdır. (Hines, 1997)

İleri beslemeli geriye yayılım metodunun eğitim aşamasında sonuca daha çabuk yakınsadığı için Levenberg-Marquardt geriye yayılım algoritması (Hagan ve Menhaj, 1994) kullanılmıştır.

Karşılaştırma kriteri olarak belirlilik katsayısı R^2 ile birlikte denklem (4.11)'de verilen ortalama kare hatası (OKH) esas alınmıştır.

$$OKH = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{i \text{ gözlenen}} - Y_{i \text{ tahmin}})^2}{N} \quad (4.11)$$

Burada N kullanılan veri sayısıdır.

Akım tahminlerinde yapay sinir ağları ile elde edilen sonuçları mukayese edebilmek için regresyon analizinden faydalanılmıştır. Regresyon analizinin amacı gözönüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmektir.

4.2 Radyal Tabanlı Fonksiyonlara Dayalı Yapay Sinir Ağları

Radyal tabanlı fonksiyonlar kavramı yapay sinir ağları literatürüne Broomhead ve Lowe tarafından 1988 yılında sokuldu. Radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları modeli insan sinir sistemindeki nöronlarda görülen yerel etki-tepki davranışlarından esinlenilerek oluşturulmuştur (Poggio ve Girosi, 1990). Yerel tepki karakteristiği, sinir sisteminin bazı yerlerinde mesela görme sinirlerinin davranışlarında gözlemlenebilir. Bu sinirler görüş alanında bulunan değişik boyutlardaki görüntülere karşı duyarlıdır. Bu nöronlar yerel olarak tepki vermeye ayarlanmıştır. Bunlar girdi uzayının sınırlı küçük bir bölümüne tepki verebilmektedirler.

Radyal tabanlı fonksiyonların teorisi çok değişkenli fonksiyonların enterpolasyonuna dayanmaktadır. Burada amaç $(x^s, y^s)_{s=1}^N$ ifadelerinin enterpolasyonunu yapmaktır. Bu durumda $x^s \in R^d$ olmalıdır.

Bu denklemde F lineer uzayda bir fonksiyon olduğundan yani doğrusal bir fonksiyon olduğundan radyal tabanlı fonksiyonlar yaklaşımında F enterpolasyon fonksiyonu temel bazı fonksiyonların lineer bir kombinasyonudur.

$$F(x) = \sum_{s=1}^N w_s \phi(\|x - x^s\|) + p(x) \quad (4.12)$$

Bu denklemde $\|\cdot\|$ öklid normu, $w_1, \dots, w_N$ reel sayılar, ϕ gerçekte değişkenli bir fonksiyon, $p \in \prod_n^d$ ise en fazla n. derecede olabilen d sayıda değişkeni olan bir polinomdur. Bu enterpolasyon probleminde amaç $w_1, \dots, w_N$ değişkenlerini bulmak

ve $p = \sum_{i=1}^D a_i p_j$ polinom terimini elde etmektir. Bu polinomda $\prod_n^d$ a standart temel ve $a_1, \dots, a_D$ sayıları da reel katsayılardır. Enterpolasyon şartları şunlardır:

$$F(x^s) = y^s, \quad s = 1, \dots, N \quad (4.13)$$

$$\sum_{s=1}^N w_s p_j(x^s) = 0, \quad j = 1, \dots, D \quad (4.14)$$

Eğer veri noktalarından herhangi birisi için enterpolasyon problemi tek çözümlü ise ϕ fonksiyonu radyal tabanlı fonksiyon olarak tanımlanır. Bu durumlarda denklem (4.12)'deki polinomun terimleri ihmal edilebilir ve denklem (4.13)'deki terimler ile toplandığında aşağıdaki denklem (4.15) meydana gelir.

$$\phi w = y \quad (4.15)$$

Bu denklemde $w = (w_1, \dots, w_N)$, $y = (y^1, \dots, y^N)$, ve ϕ 'de $N \times N$ bir matristir. Bu matris şöyle tanımlanabilir:

$$\phi = \left(\phi(\|x^k - x^s\|) \right)_{k,s=1,\dots,N} \quad (4.16)$$

Eğer ϕ fonksiyonunun tersi mevcutsa enterpolasyon probleminin çözümü olan w değerleri kesin bir şekilde hesaplanabilir ve $w = \phi^{-1} y$ formunu alır.

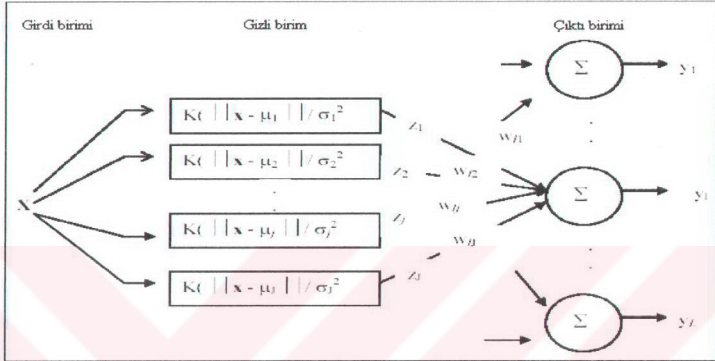
En popüler ve en çok kullanılan radyal tabanlı fonksiyonlar Gauss tabanlı fonksiyonlardır bunlar şöyle ifade edilir.

$$\phi(\|x - c\|) = e^{-\left(\|x - c\| / 2\sigma^2\right)} \quad (4.17)$$

Bu fonksiyonun $c \in \mathbb{R}^d$ merkezinde en yüksek değeri alır ve merkezden uzaklaştıkça değeri küçülür.

Radyal tabanlı fonksiyonların enterpolasyonunda kesin çözüm her (x_s, y_s) veri noktası için vardır. Normal şartlarda enterpolasyon probleminin kesin çözümü verilen noktalar arasında salınım yapan sıradan bir fonksiyondur. Kesin enterpolasyon prosedüründe karşılaşılan bir başka problem de şudur ki temel fonksiyonların sayısı veri noktalarının sayısına eşit olmakta ve bu nedenle ϕ , $N \times N$ matrisinin tersini hesaplamak pratikte çok zor olmaktadır.

Radyal tabanlı fonksiyonlar yöntemi üç tabakadan oluşan bir yapay sinir ağıdır (Şekil 4.2). Girdi tabakası şebekeye giren verilerin yer aldığı tabakadır. Gizli hücre tabakasında ise nöronlar yer alır. Burada temel fonksiyonların çıktıları hesaplanır. Çıktı tabakasında ise temel fonksiyonlar arasında lineer bir bağıntı veya kombinasyon bulunmaya çalışılır.



Şekil 4.2: Radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağlarında girdi, gizli ve çıktı birimleri.

4.3 Yapay Sinir Ağlarının Tuzla Limanı Modellenmesinde Kullanımı

Bu tezde yapay sinir ağları, TELEMAT sistemiyle dalgaların modellenmesinde kullanılmıştır. TELEMAT model sistemi içindeki ARTEMIS yazılımı ile tuzla limanında dalga modellenmesi çalışması yapıldıktan sonra RUBENS programından alınan sonuçlardan dalga yüksekliği verileri yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarıyla yaptığımız çalışmamızda radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı sinir ağları (RTFDSA) tercih edilmiştir. Bunun sebepleri; ileri beslemeli geriye yayılım sinir ağları (İBGYSA) her simülasyonda başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri nedeni ile farklı tahminler vermekte oysa radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı sinir ağları tek bir çözüm vermektedir. Ayrıca ileri beslemeli geriye yayılım sinir ağlarında yerel minimuma takılma sorunu bulunmaktadır. Son yıllarda Lavenberg Marquardt algoritması (Hagan ve Menhaj, 1994) gibi yaklaşımlarla İBGYSA'nın yerel minimum sorununun çözülmesine çalışılmıştır. Radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları kullanılırken iki kriter göz önüne alınmıştır. Birincisi, farklı açılarda dalgalar gönderilerek dalgakıran

ve kıyıdaki yansımaya katsayılarında değişiklik yapılmayan simülasyonlar, ikincisi ise dalgakıran ve kıyının yansımaya katsayılarının değiştirilerek aynı açı ile dalgaların gönderilmesiyle meydana getirilen simülasyonlardır. Şimdi bu simülasyon sonuçları ile radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları kullanılması farklı açılar sabit yansımaya ve sabit açı farklı yansımaya başlıkları altında ayrıntılı olarak anlatılacaktır. YSA ile yapılan tahminlerde kullanılan yayılma katsayısı için; kullanılan verilerin sayısının az olduğunda 1 sayısına daha yakın, kullanılan verilerin sayısının çok olduğunda ise 0 sayısına yakın seçilmesi önerilir.

4.3.1 Farklı Açılar Sabit Yansımaya

Dalgalar 60° , 62.5° , 67.5° , 70° , 72.5° , 77.5° ve 80° açılarında her simülasyon için 2.65 m. başlangıç dalga yüksekliği, 6.89 sn. dalga periyodu, dalgakıran yansımaya katsayısı 0.5, kıyı yansımaya katsayısı 0.05 alınarak TELEMATAC sisteminde ARTEMIS modülü çalıştırılarak elde edilen veriler radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağlarında kullanılmıştır. İki ana bölüm mevcuttur. Bunlar eğitim süreci ve test sürecidir. Tuzla80, Tuzla77.5, Tuzla 72.5, Tuzla70, Tuzla62.5 ve Tuzla60 adlı simülasyonların (Tablo 4.1) dalga yüksekliği verileri eğitim sürecinde kullanılarak, Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği verileri radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları tarafından tahmin edilmiştir. TELEMATAC sisteminde bulunan ARTEMIS modülü kullanılarak Tuzla67.5 adlı simülasyonun hesaplanmış olan dalga yüksekliği verileriyle radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağlarıyla tahmin ettiğimiz dalga yükseklikleri test sürecinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1: Yapılan simülasyon koşulları.

Simülasyon adı	Yön	BaşlangıçDalga yüksekliği(m)	Dalga periyodu(sn)	Dalgakıran yansımaya katsayısı	Kıyı yansımaya katsayısı
Tuzla 80	80°	2.65	6.89	0.5	0.05
Tuzla 77.5	77.5°	2.65	6.89	0.5	0.05
Tuzla 72.5	72.5°	2.65	6.89	0.5	0.05
Tuzla 70	70°	2.65	6.89	0.5	0.05
Tuzla 60	60°	2.65	6.89	0.5	0.05
Tuzla 62.5	62.5°	2.65	6.89	0.5	0.05
Tuzla 67.5	67.5°	2.65	6.89	0.5	0.05

MATLAB programında radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağılarını kullanmak için kod yazılmıştır. Bu kodda eğitim ve test setinde kullanılan veri sayısı belirtilmiştir:

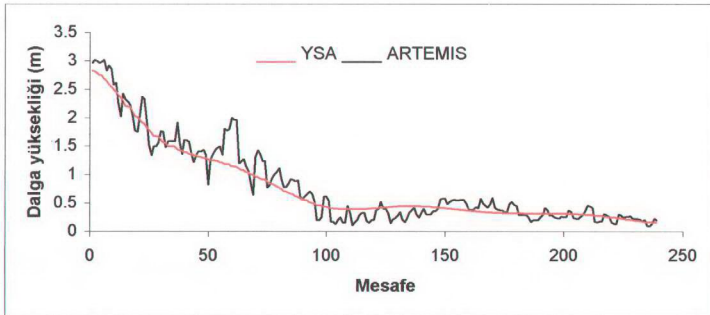
- Eğitim setinde 1434 adet veri kullanılmıştır.
- Test setinde 239 adet veri kullanılmıştır.

Kodda farklı yayılma değerleri için bulunan belirlilik katsayısı (R^2) ve ortalama kare hatası (OKH) değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yayılma katsayısı, R^2 ve OKH’nın değerleri.

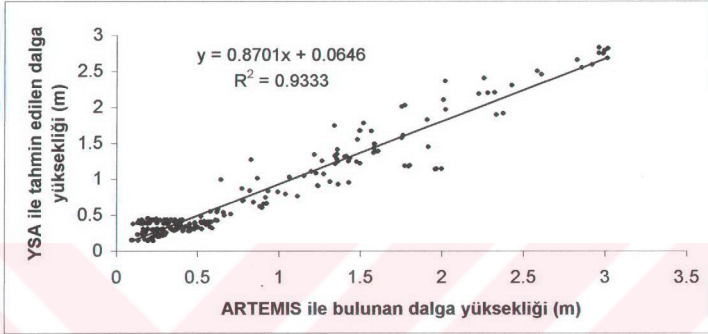
Yayılma katsayısı	R^2	OKH
0.15	0.9333	0.041258
0.2	0.926	0.044582
0.25	0.9251	0.045549
0.35	0.9272	0.0444
0.45	0.9247	0.047434
0.5	0.9215	0.053424
0.55	0.9256	0.045363
0.65	0.9257	0.045489
0.75	0.9211	0.047691
0.8	0.9195	0.050744
0.85	0.9188	0.052665

En iyi çözümün seçiminde kriter olarak belirlilik katsayısının 1 sayısına yakın çıkması, ortalama kare hatasının 0 sayısına yakın çıkması koşulu aranmıştır. Bu kriterlere en yakın iki sonuç yayılma katsayısının 0.15 ve 0.35 alındığı tahminler olduğu Tablo 4.2’den görülmektedir.



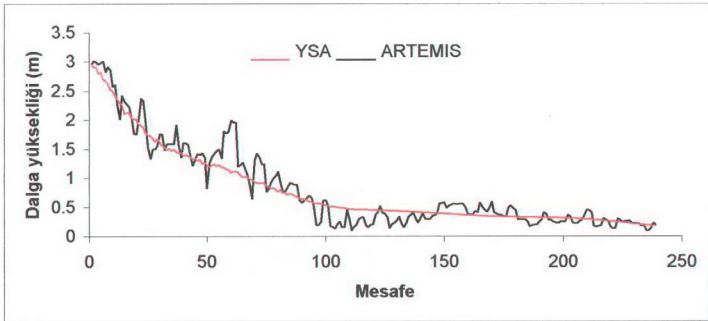
Şekil 4.3: Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.15 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.

Şekil 4.3'den de görüldüğü gibi ARTEMIS yazılımıyla elde edilen Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği verileriyle radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilen Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği verilerinin birbiriyle yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Yayılma katsayısı 0.15 alınmıştır.



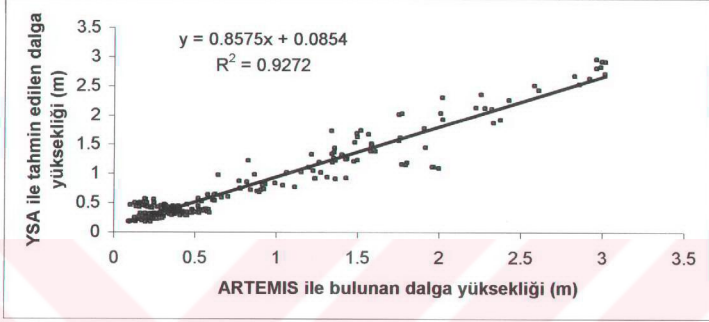
Şekil 4.4: Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.15 alındığında belirlilik katsayısı R^2 .

Şekil 4.4'de Tuzla67.5 adlı simülasyonu için YSA kullanılarak dalga yüksekliği tahmini ile TELEMAC sistemindeki ARTEMIS'in çalıştırılması sonucunda elde edilen dalga yüksekliği verileri arasındaki belirlilik katsayısının 0.9333 olduğu görülmektedir. Belirlilik katsayısının 1 değerine oldukça yakın çıkması istenir. Yayılma katsayısı 0.15 alınmıştır.



Şekil 4.5: Tuzla67.5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.

Yayımla katsayısı 0.35 alınmıştır.Şekil 4.5’de Şekil 4.3’deki gibi radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları ile tahmin edilen Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerleri TELEMAT sistemindeki ARTEMIS modülü ile hesaplanan Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerleri benzer sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.6: Tuzla67.5 simülasyonu için yayımla katsayısı 0.35 alındığında belirlilik katsayısı R^2 .

Yayımla katsayısı 0.35 alınmıştır.Şekil 4.6’da Şekil 4.4’deki gibi radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları ile tahmin edilen Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerleriyle ARTEMIS yazılımıyla hesaplanan Tuzla67.5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerleri arasındaki belirlilik katsayısı 0.9272 bulunmuştur ve bu değer 1 sayısına oldukça yakındır.

4.3.2 Sabit Açık Farklı Yansımalar

Dalgakıran ve kıyıdaki yansıma katsayıları sırasıyla (0.5/0.2), (0.5/0.5), (0.6/0.05), (0.6/0.2), (0.6/0.5), (0.5/0.05) değerleri verilerek her simülasyon için 67.5° dalga yönü, 2.65 m. Başlangıç dalga yüksekliği ve 6.89 dalga periyodu ile dalgalar gönderilerek TELEMAT sistemindeki ARTEMIS modülüyle elde edilen veriler RTFDYSA’nın eğitiminde kullanılmıştır. Dk, Dk1, Dk2, Dk3 ve Dk4 adlı simülasyonların (Tablo 4.3) dalga yüksekliği verileri eğitim sürecinde kullanılarak, Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği verileri RTFDYSA ile tahmin edilmiştir. TELEMAT sistemindeki ARTEMIS modülü ile Dk5 adlı simülasyonun hesaplanmış olan dalga yüksekliği verileriyle, RTFDYSA ile tahmin ettiğimiz dalga yükseklikleri test sürecinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.3: Yapılan simülasyon koşulları.

Simülasyon adı	Yön	Başlangıç Dalga yüksekliği(m)	Dalga peryodu(sn)	Dalgakıran yansım katsayısı	Kıyı yansım katsayısı
Dk	67.5°	2.65	6.89	0.5	0.2
Dk1	67.5°	2.65	6.89	0.5	0.5
Dk2	67.5°	2.65	6.89	0.6	0.05
Dk3	67.5°	2.65	6.89	0.6	0.2
Dk4	67.5°	2.65	6.89	0.6	0.5
Dk5	67.5°	2.65	6.89	0.5	0.05

MATLAB programında RTFDYSA'nı kullanmak için yazılan kodda girilen eğitim ve test setindeki veri sayısı aşağıda belirtilmiştir.

- Eğitim setinde 1195 adet veri kullanılmıştır.
- Test setinde 239 adet veri kullanılmıştır.

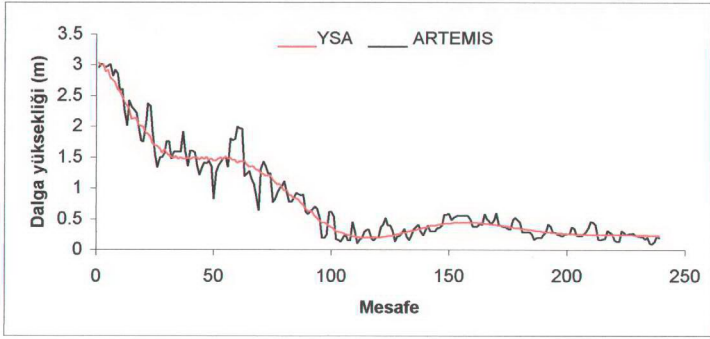
MATLAB kodunda 0.15, 0.35, 0.45, 0.80 yayılma katsayısı alınarak hesaplanan belirlilik katsayısı (R^2) ve ortalama kare hatası (OKH) değerleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4: Farklı yayılma katsayılarına karşılık R^2 ve OKH değerleri.

Yayılma katsayısı	R^2	OKH
0.15	0.9492	0.049421
0.35	0.9536	0.026095
0.45	0.9508	0.028309
0.8	0.9454	0.03077

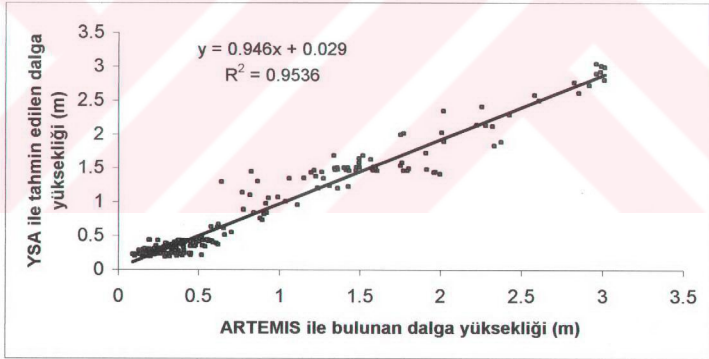
Tablo 4.4'den belirlilik katsayısının 1 sayısına yakın olduğu, ortalama kare hatasının 0 sayısına yakın olduğu iki çözüm olan 0.35 ve 0.45 yayılma katsayıları kullanılarak elde edilen tahminler seçilmiştir.

MATLAB programında yazılan kod ekler kısmında verilmiştir. Program radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağlarının kullanımı için yazılmıştır. Alınan sonuçlar excel programı kullanılarak grafikler halinde verilmiştir. Grafiklerde RTFDYSA kullanılarak tahmin edilen dalga yüksekliği verileriyle ARTEMIS yazılımı sonuçlarının dalga yüksekliği verileri karşılaştırılmıştır.



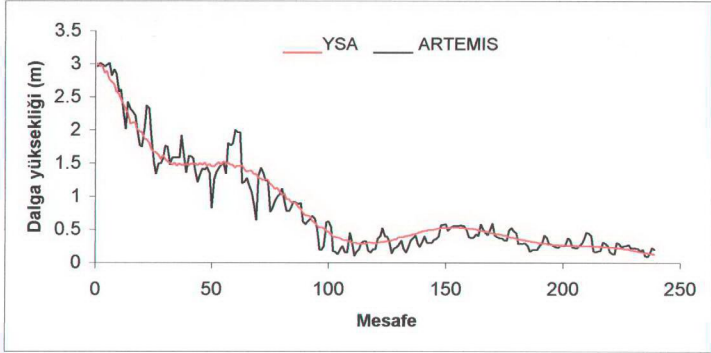
Şekil 4.7: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.

RTFDYSA kullanılarak tahmin edilen Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği verileri ile TELEMAC sistemiyle bulunan Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği Şekil 4.7'de görülmektedir. Yayılma katsayısı 0.35 alınmıştır.



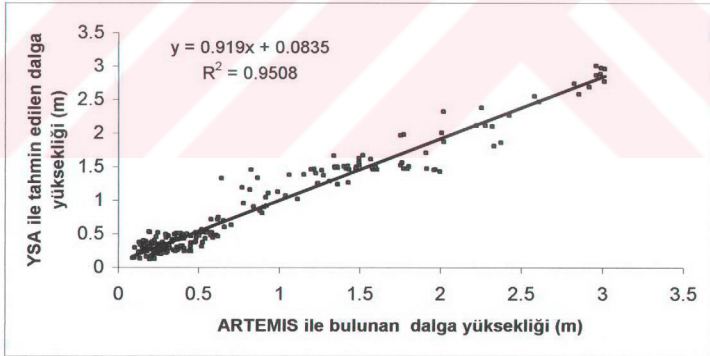
Şekil 4.8: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.35 alındığında belirlilik katsayısı R^2 .

Dk5 adlı simülasyon için TELEMAC sistemi sonucunda bulunan gözlenen dalga yüksekliği ile ifade edilen verilerle RTFDYSA kullanılarak tahmin edilen dalga yüksekliği verileri arasındaki belirlilik katsayısının 1 sayısına oldukça yakın çıktığı Şekil 4.8'den görülmektedir. Yayılma katsayısı 0.35 alınmıştır.



Şekil 4.9: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.45 alındığında YSA ve ARTEMIS ile bulunan dalga yüksekliklerinin mesafeyle değişimi.

Şekil 4.9'da Şekil 4.7'dekine yakın değerler bulunmuştur. Yayılım katsayısı 0.45 alınmıştır. TELEMATC sisteminde bulunan ARTEMIS modülünün çalıştırılması sonucu bulunan Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerleriyle RTFDYSA ile tahmin edilen Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.10: Dk5 simülasyonu için yayılma katsayısı 0.45 alındığında belirlilik katsayısı R^2 .

Şekil 4.10'da Şekil 4.8'dekine benzer değerler bulunmuştur. Yayılım katsayısı 0.45 alınmıştır. TELEMATC model sistemindeki ARTEMIS yazılımı kullanılarak bulunan Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği değerleri ile radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağları ile tahmin edilen Dk5 adlı simülasyonun dalga yüksekliği

değerleri arasındaki belirlilik katsayısının ($R^2=0.9508$) 1 sayısına yakın çıktığı görülmektedir.

Dk, Dk1, Dk2, Dk3, Dk4, Dk5, Tuzla 60, Tuzla 62.5, Tuzla67.5, Tuzla 70, Tuzla 72.5, Tuzla 77.5, Tuzla 80 olmak üzere Tuzla Limanında ARTEMIS yazılımı kullanılarak 13 adet simülasyon yapılmıştır. Yapay sinir ağlarını kullanırken MATLAB programında RTFDYSA için yazılan kod kullanılmıştır. Yazılan MATLAB kodu Ek-A kısmında verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Tuzla Limanında dalga modellenmesinde yapay sinir ağları TELEMAC nümerik program paketi içindeki ARTEMIS modülü ile birlikte kullanılmıştır. Örnek olarak alınan Tuzla bölgesinin batimetrisi girildikten sonra ARTEMIS programı ile bazı başlangıç değerleri (gelen dalga açısı, dalga periyodu, yansıma açısı, ilk dalga yüksekliği) atanarak kıyıdan ve dalgakırandan yansıyan dalgaların dalga yüksekliği, dalga kırılması, dalga fazı, dalga hızı gibi dalga parametrelerinin konuma göre değişimleri seri halinde grafik olarak ve nümerik değerler olarak elde edilebilmektedir. Farklı başlangıç değerleri için ARTEMIS simülasyonları yapılabilmektedir. Elde gözlenmiş dalga parametre değerleri olmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır ancak bu tip bir nümerik paketin ülkemizdeki bu tip bir dalga modellemesinde bilindiği kadarı ile ilk kez kullanılabilmesi, ileriki kıyı yapıları fiziksel modelleme çalışmalarına yardımcı olabileceği ve karşılaştırma imkanı sağlayabileceği düşünülmüştür.

ARTEMIS sistemi kullanarak hesaplanan dalga yüksekliği sonuçları radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı yapay sinir ağlarında eğitilerek yapılan tahminlerin birbirine çok yakın değerler verdiği görülmüştür. ARTEMIS sistemiyle yapılan çözümlerden yapay sinir ağları kullanılarak, bulunmak istenen diğer çözümler doğru bir şekilde hızlı ve pratik olarak bulunabilir.

Bilgileri seri bir şekilde işleyebilmesi ve donanımı kolay kurulabilmesi yapay sinir ağlarına geniş bir kullanım alanı sunmuştur.

Farklı başlangıç koşulları için (farklı hakim dalga yönü, yansıma katsayıları gibi) her seferinde ARTEMIS programını çalıştırmak yerine, elde edilen ARTEMIS simülasyon sonuçları ile yapay sinir ağlarını eğitip, ARTEMIS'in uygulanmadığı başlangıç koşulları için yapay sinir ağları kullanılabilir. Bu tip bir yaklaşım önemli bir zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Çalışma uluslararası literatür açısından, radyal tabanlı yapay sinir ağlarının ilk kez dalga modellemesi çalışmalarında kullanılması açısından önem taşımaktadır. Radyal

tabanlı yapay sinir ağıları bir simülasyonda YSA yapısı aynı kaldığı sürece tek ve değişmeyen bir tahmin vermekte ve bu özelliği ile ileriye beslemeli geriye yayılma algoritmasının başlangıçta atanan ağırlık değerlerine göre farklı sonuçlar verme sorununa bir çözüm getirebilmektedir. Yayılma parametresinin aldığı değerler veri setinin uzunluğuna göre değişmekte ancak bir kaç deneme ile uygun parametre değeri bulunabilmektedir.

İleride başka dalga parametresi değerlerinin de radyal tabanlı yapay sinir ağıları ya da diğer YSA algoritmaları ile modellemesinin yapılmasının nümerik model çalışmalarına eşlik edebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aelbrecht, D.**, 1997. ARTEMIS software-Version 3.0. Theoretical Note. EDF-LNG report HE-42/97/002/B.
- Aelbrecht, D., Sauvaget,P., Lang, P.**, 1997. ARTEMIS software-Version 3.0. User&Initiation Manual. EDF-LNG report HE-42/97/038/A.
- Aelbrecht, D., Sauvaget,P., Lang, P.**, 1997. ARTEMIS software-Version 3.0. Validation Document. EDF-LNG report HE-42/97/038/A.
- Cigizoglu, H.K.**, 2003a. Estimation, forecasting and extrapolation of flow data by artificial neural networks, Hydrological Sciences Journal, 48(3),pp.349-361.
- Cigizoglu, H.K.**, 2003b. Incorporation of ARMA models into flow forecasting by artificial neural networks, Environmetrics, 14,4, June, 417-427.
- Cigizoglu, H.K.**, 2003c. Generalized Regression Neural Networks in Intermittent Flow Forecasting and Estimation, J.Hydrol. Engng., ASCE (baskıda).
- Cigizoglu, H.K. and Alp, M.**, 2004. Rainfall-Runoff Modelling Using Three Neural Network Methods, Lecture Notes in Artificial Intelligence, (baskıda).
- Cigizoglu, H.K. and Kisi, O.**, 2005. Flow Prediction by two Back Propagation Techniques Using k-fold Partitioning of Neural Network Training Data, Nordic Hydrology, (baskıda).
- Cigizoglu, H.K.**, 2004. Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multi layer perceptrons, Advances in Water Resources, 27,185-195.
- Cigizoglu, H.K.**, 2002. Suspended sediment estimation and forecasting using artificial neural networks, Turkish Journal of Engineering Environmental Science,26,15-25
- Djebbar, Y. and Atilla, Y.**, 1998. Neural Network estimation of sanitary flows, Hydroinformatics Conference, poster presantation, Copenhagen.

- Eberhart, R.C. and Dobbins, R.W.**, 1990. Neural Network PC Tolls: A Partical Guide, Academic Press, San Diego.
- Efe, Ö.M., Kaynak, O.**, 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.
- Fernando, D.A.K. and Jayawardena, A.W.**, 1998. Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm, Journal of Hydrologic Engineering., 3,3, 203-209.
- Hagan M.T. and Menhaj M.B.**, 1994. Training feed forward networks with the Marquardt algorithm. IEEE Trans Neural Networks; 6:861-7.
- Hervouet, J.M. and Bates, P.**, 2000. The TELEMAT Modelling System.
- Hines, J.W.**, 1997. Matlab Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering 3,3,203-209.
- Janin, J.M., David, E., Denot, T.**, 1997. TELEMAT-3D and POSTEL-3D User's Manuel. EDF-LNG report HE-42/97/051/B.
- Kabdaşlı S.**, 1992. Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Olsen, N.R.B.**, 1999. Computational Fluid Dynamics in Hydraulic and Sedimentation Engineering, Department of Hydraulic and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology.
- Poggio, T. and Girosi, F.**, 1990. Regularization algorithms for learning that are equivalent to multilayer networks, Science 2247, 978-982.
- Quiquempoix, O.**, 1997. Rubens User's Guide. EDF-LNG report HE-5/97/009/A.
- Quiquempoix, O., Boulet, T., Hervouet, J.M.**, 1997. Matisse User's Guide. EDF-LNG report HE-42/98/004/A.
- Raman, H. and Sunilkumar, N.**, 1995. Multivariate modelling of water resource time series using artificial neural networks, Hydrological Science Journal, 40,2,145-163.
- Rogers, L.L. and Dowl, F.U.**, 1994. Optimization of groundwater remediation with parallel solute transport modeling, Water Resources Research, 30,2,457-481.

- Tokar, A.S. and Johnson, P.A.,** 1999. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks, *Journal of Hydrologic Engineering.*, 4,3, 232-239.
- Warshi, Z.U.A.,** 1998. Ruminations on Applied Tensor Analysis. Mississippi State University Engineering and Industrial Research Station Department of Aerospace Engineering.
- Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y.,** 1998. Kıyı ve Liman Mühendisliği. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi.

EKLER



EK – A

**RADYAL TABANLI FONKSİYONLARA DAYALI YAPAY SİNİR AĞLARI
ÇALIŞMASINDA KULLANILAN MATLAB PROGRAMI KODU**



Ek A: MATLAB Kodu

```
clear
clc

load 'angle.dat' -ascii

P = angle(1:1195,1:4);
T = angle(1:1195,5);

%training

net = newrb(P,T,.0001,0.45,20,1);

% here .05 stands for the SSE (sum squared error) goal to be reached
% here .5 stands for SPREAD parameter
% here 10 number of neurons (iterations)
% eğitim sonuç gösterme aralığı (1 iterasyon)
Y = sim(net,P);

figure(2)
plot(T,'b.')
hold on
plot(Y,'r.')

grid
hold off

figure(3)
p6=angle(1196:1434,1:4);
t6=angle(1196:1434,5);
x = sim(net,p6);

%testing, P6-->simulasyon için hazırlanan vektör, T6 --> bulunması gereken çıkış
değerleri

plot(t6,'b')
hold on
plot(x,'r-')
hold off
t6=t6';
tz=x';
save tz -ascii tz
save t6 -ascii t6

% RBF network bellek yoğun çalışan bir ağıdır.
% training için kullanılan dizi çok uzun olursa bellek problemi yaşanabilir.
% input dizisini kısaltmak ya da belleği arttırmak gerekebilir.
```

EK –B

**TUZLA LİMANI MODELLENMESİNDE ARTEMIS YAZILIMI GİRDİ VE
SONUÇ DOSYALARI**



Ek B-1: Yönetici Dosya Örneği

```
/
/ FILE NAMES
/
FORTRAN FILE           : princi.f
STEERING FILE          : cas
BOUNDARY CONDITIONS FILE : conlim
GEOMETRY FILE          : mesh
RESULTS FILE           : result

/ GENERAL PARAMETERS
/
TITLE = 'TUZLA'
VARIABLES FOR GRAPHIC PRINTOUTS : 'HS,PHAS,ZS,ZF,
U0,V0,U1,V1,QB'
/
/ BOUNDARY CONDITIONS
/
WAVE PERIOD            : 6.89
DIRECTION OF WAVE PROPAGATION : 67.5
/
/ INITIAL CONDITIONS
/
INITIAL CONDITIONS      : 'CONSTANT ELEVATION'
INITIAL WATER LEVEL     : 0.
/
/ BOTTOM FRICTION
/
FRICTION                : YES
FRICTION FACTOR IMPOSED : NO
HYDRAULIC REGIME IMPOSED : NO
SKIN ROUGHNESS ONLY     : NO
FLUID KINEMATIC VISCOSITY : 1.E-06
FLUID SPECIFIC MASS      : 1040
DIAMETER50              : 0.17E-03
DIAMETER90              : 0.25E-03
RIPPLES COEFFICIENT     : 0.7
BOTTOM FRICTION LAW      : 1
/
/ NUMERICAL PARAMETERS
/
SUB-ITERATIONS ACCURACY : 1.E-04
MAXIMUM OF SUB-ITERATIONS : 1000
DISSIPATION RELAXATION  : 0.001
&ETA
```


Ek B-2: Fortran Programında Yazılan Altprogramlar

C

SUBROUTINE CORFON

C

C*****

C PROGICIEL : TELEMAT 5.0 01/03/90 J-M HERVOUET

C*****

C USER SUBROUTINE CORFON

C FUNCTION : MODIFICATION OF THE BOTTOM TOPOGRAPHY

C*****

USE BIEF

USE DECLARATIONS_ARTEMIS

IMPLICIT NONE

INTEGER LNG,LU

COMMON/INFO/LNG,LU

INTEGER I

LOGICAL MAS

C

C LISSAGES EVENTUELS DU FOND

IF(LISFON.GT.0) THEN

MAS=.TRUE.

CALL FILTER(ZF,MAS,T1,T2,AM1,'MATMAS',

* 1.D0,T1,T1,T1,T1,T1,MESH,MSK,MASKEL,LISFON)

ENDIF

C

DO 20 I = 1,NPOIN

ZF%R(I) = -0.3D0

20 CONTINUE

C

RETURN

END

C

SUBROUTINE BORH

C

C*****

C ARTEMIS VERSION 3.2 02/06/99 D. AELBRECHT (LNH) 01 30 87 74 12

C LINKED TO BIEF VERS. 5.0 J-M HERVOUET (LNH) 01 30 87 80 18

C*****

USE BIEF

USE DECLARATIONS_TELEMAT

USE DECLARATIONS_ARTEMIS

IMPLICIT NONE

INTEGER LNG,LU

COMMON/INFO/LNG,LU

INTEGER I

DOUBLE PRECISION PI,BID

PARAMETER(PI = 3.1415926535897932384626433D0)

INTRINSIC COS,SIN

C

```

CALL OS('X=C ', TETAB, SBID, SBID, TETAH )
CALL OS('X=C ', TETAP, SBID, SBID, 0.D0 )
CALL OS('X=C ', ALFAP, SBID, SBID, 0.D0 )
CALL OS('X=C ', RP, SBID, SBID, 0.D0 )
CALL OS('X=C ', HB, SBID, SBID, 1.D0 )
C-----
DO 10 I = 189,248
LIHBOR%I(I) = KLOG
RP%R(I) = 0.05D0
TETAP%R(I) = 90.D0
ALFAP%R(I) = 0.D0
10 CONTINUE
DO 20 I = 249,353
LIHBOR%I(I) = KLOG
RP%R(I) = 0.5D0
TETAP%R(I) = 90.D0
ALFAP%R(I) = 0.D0
20 CONTINUE
C PAROIS AUX FRONTIERES OUVERTES
DO 30 I = 95,188
LIHBOR%I(I) = KSORT
TETAP%R(I) = 0.D0
30 CONTINUE
DO 40 I = 354,371
LIHBOR%I(I) = KSORT
TETAP%R(I) = 0.D0
40 CONTINUE
C FRONTIERE ONDE INCIDENTE
DO 50 I = 1,94
LIHBOR%I(I) = KINC
HB%R(I) = 2.65D0
C TETAB%R(I) = 67.5D0
TETAP%R(I) = 0.D0
50 CONTINUE
C-----
RETURN
END

```

Ek B-3: ARTEMIS Programı Sonuç Dosyası

LISTING OF ARTEMIS

AAA	RRRR	TTTT	EEEE	M	M	IIII	SSSS
A A	R R	T	E	MM	MM	I S	
AAAAA	RRRR	T	EEEE	M	M	M I	SSS
A A	R R	T	E	M	M	I	S
A A	R R	T	EEEE	M	M	IIII	SSSS

VERSION 3.2 (BIEF 5.0) FORTRAN 90

VALUES OF THE KEY-WORDS:

GRAPHIC PRINTOUT PERIOD

MOTINT(5)= 1

LISTING PRINTOUT PERIOD

MOTINT(6)= 1

MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS FOR SOLVER

MOTINT(7)= 60000

PRECONDITIONING

MOTINT(10)= 2

DISCRETIZATION IN SPACE

MOTINT(15)= 1

GEOMETRY FILE STANDARD

MOTINT(13)= 3

RESULTS FILE STANDARD

MOTINT(14)= 3

SOLVER

MOTINT(11)= 3

BOTTOM TOPOGRAPHY SMOOTHING

MOTINT(9)= 0

NUMBER OF PERIODS

MOTINT(8)= 5

NUMBER OF DIRECTIONS

MOTINT(16)= 5

BREAKING LAW

MOTINT(17)= 1

MAXIMUM OF SUB-ITERATIONS

MOTINT(18)= 1000

HYDRAULIC REGIME TYPE

MOTINT(19)= 0

BOTTOM FRICTION LAW

MOTINT(20)= 1

SOLVER OPTION

MOTINT(12)= 3

VECTOR LENGTH

MOTINT(1)= 128

LAW OF BOTTOM FRICTION

MOTINT(2)= 0

MATRIX STORAGE

MOTINT(3)= 1
 MATRIX-VECTOR PRODUCT
 MOTINT(4)= 1
 WAVE PERIOD
 MOTREA(7)= 6.890000
 DIRECTION OF WAVE PROPAGATION
 MOTREA(10)= 67.50000
 GRAVITY ACCELERATION
 MOTREA(8)= 9.810000
 ZERO
 MOTREA(11)= 0.1000000E-11
 SOLVER ACCURACY
 MOTREA(4)= 0.1000000E-03
 MINIMUM VALUE FOR H
 MOTREA(5)= 0.1000000E-06
 INITIAL WATER LEVEL
 MOTREA(1)= 0.000000
 PEAK PERIOD
 MOTREA(2)= 10.00000
 GAMMA
 MOTREA(3)= 3.300000
 MINIMUM ANGLE OF PROPAGATION
 MOTREA(15)= -180.0000
 MAXIMUM ANGLE OF PROPAGATION
 MOTREA(16)= 180.0000
 S EXPONENT
 MOTREA(17)= 20.00000
 RELAXATION COEFFICIENT
 MOTREA(9)= 1.400000
 SUB-ITERATIONS ACCURACY
 MOTREA(18)= 0.1000000E-03
 DISSIPATION RELAXATION
 MOTREA(20)= 0.1000000E-02
 ALPHA
 MOTREA(21)= 1.000000
 GAMMAS
 MOTREA(22)= 0.8800000
 KDALLY
 MOTREA(19)= 0.1000000
 GDALLY
 MOTREA(23)= 0.4000000
 FLUID KINEMATIC VISCOSITY
 MOTREA(24)= 0.1000000E-05
 DIAMETER90
 MOTREA(25)= 0.2500000E-03
 DIAMETER50
 MOTREA(26)= 0.1700000E-03
 SEDIMENT SPECIFIC WEIGHT
 MOTREA(27)= 2650.000
 FLUID SPECIFIC MASS

MOTREA(28)= 1040.000
 MINIMUM SPECTRAL PERIOD
 MOTREA(32)= 0.2000000E-01
 MAXIMUM SPECTRAL PERIOD
 MOTREA(33)= 200.0000
 LISTING PRINTOUT
 MOTLOG(4)= T
 INFORMATIONS ABOUT SOLVER
 MOTLOG(5)= T
 FRICTION
 MOTLOG(7)= T
 TITLE
 MOTCAR(3)= TUZLA
 VARIABLES FOR GRAPHIC PRINTOUTS
 MOTCAR(6)= HS,PHAS,ZS,ZF,U0,V0,U1,V1,QB
 VARIABLES TO BE PRINTED
 MOTCAR(7)= USER CRAY
 MOTCAR(4)= PASSWORD
 MOTCAR(13)= GEOMETRY FILE
 MOTCAR(1)= mesh
 FORTRAN FILE
 MOTCAR(8)= princi.f
 STEERING FILE
 MOTCAR(9)= cas
 BOUNDARY CONDITIONS FILE
 MOTCAR(10)= conlim
 RESULTS FILE
 MOTCAR(11)= result
 RELEASE
 MOTCAR(12)= V5P0,V5P0,V5P0,V5P0,V5P0,V5P0
 LIBRARIES
 MOTCAR(14)= artemis,telemac,util,damo,bief,hp
 CPU TIME
 MOTCAR(15)= 10
 MEMORY SPACE
 MOTCAR(16)= 1500000W
 BOTTOM TOPOGRAPHY FILE
 MOTCAR(17)= BINARY DATA FILE 1
 MOTCAR(18)= BINARY DATA FILE 2
 MOTCAR(19)= FORMATTED DATA FILE 1
 MOTCAR(20)= FORMATTED DATA FILE 2
 MOTCAR(21)= BINARY RESULTS FILE
 MOTCAR(22)= FORMATTED RESULTS FILE
 MOTCAR(23)= PRIORITY
 MOTCAR(24)= JOUR
 BIDON STRING
 MOTCAR(25)= INITIAL CONDITIONS
 MOTCAR(5)= CONSTANT ELEVATION
 GEOMETRY FILE BINARY
 MOTCAR(26)= STD

RESULTS FILE BINARY

MOTCAR(2)= STD

ACCOUNT NUMBER

MOTCAR(27) = acct;opt;void;newacct ;

REFERENCE FILE

MOTCAR(28) = out;opt;*.bin;FORT.22 ;

```
*****
*          LECDON:          *
*    AFTER CALLING DAMOCLES    *
*    CHECKING OF DATA  READ    *
*    IN THE STEERING FILE      *
*****
```

NAME OF THE STUDY : TUZLA

OPENING FILES FOR ARTEMIS

```
*****
*    MEMORY ORGANIZATION *
*****
```

READGEO1: TITLE= C:\tuz6\tuz6.MAT

NUMBER OF ELEMENTS: 14553

NUMBER OF POINTS: 7463

MXPTL (BIEF):MAXIMUM NUMBER OF ELEMENTS AROUND A POINT:8

MAXIMUM NUMBER OF POINTS AROUND A POINT: 8

MESH: MESH ALLOCATED

```
*****
*    END OF MEMORY ORGANIZATION: *
*****
```

CORRXY (BIEF):NO MODIFICATION OF COORDINATES

INBIEF (BIEF): VECTOR MACHINE

WITH VECTOR LENGTH : 128 (ACCORDING TO YOUR DATA OR IN THE
DICTIONNARY OF KEY-WORDS)

STRCHE (BIEF):NO MODIFICATION OF FRICTION

PERIOD 1/1 : 6.8900 SECONDS

SUB-ITERATION NUMBER : 1

PRECONDITIONNING AFTER CONTROL : 1

LINEAR SYSTEM SOLVING (SOLVE)

EQUOR (BIEF) : 3440 ITERATIONS, RELATIVE PRECISION:
0.9985017E-04

-> DIFF. BETWEEN TWO SUB-ITERATIONS : 100000.000 %

SUB-ITERATION NUMBER : 2

PRECONDITIONNING AFTER CONTROL : 1

LINEAR SYSTEM SOLVING (SOLVE)

EQUOR (BIEF) : 1111 ITERATIONS, RELATIVE PRECISION:
0.9948110E-04

-> DIFF. BETWEEN TWO SUB-ITERATIONS : 102.662 %

SUB-ITERATION NUMBER : 3
PRECONDITIONNING AFTER CONTROL : 1
LINEAR SYSTEM SOLVING (SOLVE)
EQUNOR (BIEF) : 657 ITERATIONS, RELATIVE PRECISION:
0.9965668E-04
-> DIFF. BETWEEN TWO SUB-ITERATIONS : 17.247 %

SUB-ITERATION NUMBER : 42
PRECONDITIONNING AFTER CONTROL : 1
LINEAR SYSTEM SOLVING (SOLVE)
EQUNOR (BIEF) : 16 ITERATIONS, RELATIVE PRECISION: 0.9970337E-
04
-> DIFF. BETWEEN TWO SUB-ITERATIONS : 0.011 %

SUB-ITERATION NUMBER : 43
PRECONDITIONNING AFTER CONTROL : 1
LINEAR SYSTEM SOLVING (SOLVE)
EQUNOR (BIEF) : 13 ITERATIONS, RELATIVE PRECISION: 0.9972819E-
04
-> DIFF. BETWEEN TWO SUB-ITERATIONS : 0.008 %

NUMBER OF SUB-ITERATIONS FOR DISSIPATION: 43

CORRECT END OF RUN

COMPUTER TIME: 212 SECONDS
Duration of job : 212 seconds (0:3:32) (system=0.03 sec)

ÖZGEÇMİŞ

Tolga Ozan YILMAZ 1979 yılında Eskişehir’de doğdu. İlköğrenimini Mustafa Kemal İlköğretim okulunda 1990 yılında, orta eğitimini Atatürk Ortaokulunda 1993 yılında, lise eğitimini 1997 yılında Ahmet Yesevi Süper Lisesinde tamamlamıştır. 2002 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalında Hidrolik ve Su Kaynakları Programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.