İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZUN DALGALARIN KIYIDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. V. Ş. Özgür KIRCA

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : SU MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZUN DALGALARIN KIYIDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. V. Ş. Özgür KIRCA
(501001452)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Ocak 2003

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Necati AĞIRALİOĞLU (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Esin ÇEVİK (Y.T.Ü.)

OCAK 2003

ÖNSÖZ

Geçmişten beri uzun dalgalar gerek yol açtıkları çarpıcı etkiler gerekse karmaşık tabiatları itibarı ile tüm insanların ve özellikle de bilim adamlarının ilgisini çekmiştir. Bu çalışmada bilim dünyasında çeşitli değişik görüşlere yol açan bu davranışlar incelenmeye çalışılmıştır.

Öncelikle bu tez çalışmasını gerçekleştirmemi sağlayan ve çalışmanın her aşamasında değerli desteğini ve tavsiyelerini esirgemeyen danışmanım ve hocam Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI'ya en içten teşekkürlerimi sunuyorum.
Ayrıca çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Yük. Müh. Alpaslan AYDINGAKKO'ya; bana destek olan ve beni teşvik eden Araş. Gör. Dilek MERCAN, Araş. Gör. Oral YAĞCI ve Araş. Gör. Onur AKAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatımda olduğu gibi bu çalışmada da bana kayıtsız şartsız destek olan aileme de ayrıca müteşekkirim.

Aralık, 2002 V. Ş. Özgür KIRCA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	**ii**
İÇİNDEKİLER	**iii**
KISALTMALAR	**iv**
TABLO LİSTESİ	**v**
ŞEKİL LİSTESİ	**vi**
SEMBOL LİSTESİ	**vii**
TÜRKÇE ÖZET	**viii**
İNGİLİZCE ÖZET	**ix**
1.GİRİŞ	**1**
2.DEPREM DALGALARI (TSUNAMI)	**3**
2.1.Deprem Büyüklüğü ve Tsunami İlişkisi	6
2.2.Deprem Geometrisi ve Tsunami İlişkisi	7
2.2.1.Normal Faylanma	7
2.2.2.Ters Faylanma	8
2.2.3.Darbe Etkili Faylanma	8
2.2.4.Doğrultu Atımlı Faylar	8
2.3.Tsunami Dalgalarının Hidrodinamiği	9
3.YÖNTEM	**24**
3.1.SeaWorks - Jonsey	25
3.2.Seaworks - Outray	26
3.3.Seaworks - Portray	28
3.4.Seaworks - Wendis	29
3.5.Seaworks - Beachplan	31
3.6.Seaworks - Cosmos	32
4.KURULAN MATEMATİK MODELLER	**35**
4.1.Tuzla Bölgesi Rüzgar Dalgası Tahminleri	35
4.2.Tuzla Bölgesi Dalga Sapması Modeli	37
4.3.Tuzla Limanı Dalga Dönmesi Modeli	41
4.4.Tek Boyutlu Dalga Enerjisi Dağılımı Modeli	45
4.5.Dalga Etkisiyle Kıyı Çizgisi Değişimi Modeli	47
4.6.İki Boyutlu Dalga Analizi ve Yakın Kıyı Katı Madde Taşınımı Modelleri	50
5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA	**55**
KAYNAKLAR	**58**
EKLER	**60**
ÖZGEÇMİŞ	**99**

KISALTMALAR

İng. **:** İngilizcede terminolojik karşılığı
Bknz. **:** Bakınız
CERC **:** Coastal Engineering Reserach Labratory
JONSWAP **:** Joint North Sea Reserach Project

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1 Rüzgar dalgası tahmin modelinde kullanılan yönlü feç uzunlukları.....**(36)**
Tablo 4.2 Kuzey Marmara bölgesinde rüzgarların yıllık maksimum hızları..**(37)**
Tablo 4.3 Dalga dönmesi modeli sonucunda elde edilen liman içi çalkantı değerlerinin tablo şeklinde gösterimi.....**(44)**
Tablo 4.4 Tuzla'da çeşitli özelliklerde dalga analizi ve katı madde hareketi modellemesi çalışmasının sonuçları.....**(51)**
Tablo 4.5 Kadıköy'de çeşitli özelliklerde dalga analizi ve katı madde hareketi modellemesi çalışmasının sonuçları.....**(52)**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Deniz tabanındaki basamak düzensizliğinin şematik gösterimi.....**(17)**

Şekil 2.2 Basamak düzensizliğine eğik yaklaşan bir dalganın şematik plan gösterimi.....**(19)**

Şekil 2.3 Hata fonksiyonu şeklinde bir taban düzensizliğinin şematik görünümü.....**(21)**

Şekil 4.1 Tuzla bölgesi batimetrisi (Outray ve Portray'e girildiği şekliyle)..**(38)**

Şekil 4.2 Sırasıyla 10 saniye, 30 saniye ve 5 dakika periyotlu dalgaların 255^o-270^o sapma diagramları.....**(39)**

Şekil 4.3 Sırasıyla 0.5 saat, 1 saat ve 1.5 saat periyotlu dalgaların 255^o-270^o sapma diagramları.....**(40)**

Şekil 4.4 Sırasıyla 10 saniye, 30 saniye ve 5 dakika periyotlu dalgaların 200^o-300^o kombine sapma diagramları ile 0.5 saat, 1 saat ve 1.5 saatlik dalgaların 200^o-300^o kombine sapma diagramları.....**(40)**

Şekil 4.5 Tuzla limanı batimetrisi ve dalgakıran konumu (modele veri olarak girildiği şekliyle).....**(41)**

Şekil 4.6 2.7 m ve 4.65 saniyelik bir dalganın dalgakıran etkisiyle dönerek liman içinde yayılmasını gösteren diagramlar.....**(42)**

Şekil 4.7 2.7 m ve 20 saniyelik bir dalganın dalgakıran etkisiyle dönerek liman içinde yayılmasını gösteren diagramlar.....**(43)**

Şekil 4.8 0.5 m ve 1 saatlik bir dalganın dalgakıran etkisiyle dönerek liman içinde yayılmasını gösteren diagramlar.....**(43)**

Şekil 4.9 3.24 m yüksekliğinde ve 6 saniye periyotlu bir dalganın derinlik profili boyunca yükseklik değişimi.....**(46)**

Şekil 4.10 2.5 m yüksekliğinde ve 20 saniye periyotlu bir dalganın derinlik profili boyunca yükseklik değişimi.....**(46)**

Şekil 4.11 1 m yüksekliğinde ve 45 saniye periyotlu bir dalganın derinlik profili boyunca yükseklik değişimi.....**(47)**

Şekil 4.12 Tuzla limanı içinde Batı yönüne bakan kısmın orjinal kıyı çizgisi hali.....**(48)**

Şekil 4.13 120 hafta sonunda 6.89 s periyotlu ve 2.65 m belirgin dalga yüksekliğindeki dalgalara günde 3 defa maruz kalması sonucu kıyı çizgisinin değişimi.....**(48)**

Şekil 4.14 120 hafta sonunda 6.89 s periyotlu ve 2.65 m belirgin dalga yüksekliğindeki dalgalara günde 3 defa maruz kalması sonucu kıyı çizgisinin değişimi.....**(49)**

Şekil 4.15 2 adet mahbuz yerleştiri1miş halde 120 hafta sonunda 6.89 s periyotlu ve 2.65 m belirgin dalga yüksekliğindeki dalgalara günde 3 defa maruz kalması sonucu kıyı çizgisinin değişimi..... ..**(50)**

SEMBOL LİSTESİ

T	: Dalga Periyodu
f	: Dalga frekansı
L	: Dalga boyu
H	: Dalga yüksekliği
a	: Dalga genliği
A , B	: Kompleks genlik
h, H	: Su derinliği
g	: Yerçekimi ivmesi
c	: Münferit dalga hızı
c_g	: Dalga grup hızı
M_o , M_w	: Sismik deprem büyüklüğü ve Richter moment büyüklüğü
μ	: Elastik kayma modülü
u	: Deprem katmanı hareket miktarı
η , ξ	: Gelen ve yansıyan dalga su yüzeyi kotu
Q	: Akı yoğunluğu
^k , k K_s	: Dalga (sığlaşma) sayısı
ϕ	: Dalganın kıyı normaline geliş açısı
α	: Dalganın kıyı paraleline geliş açısı
E	: Dalga enerji yoğunluğu (dalga enerjisi ifadesi)
F	: Enerji akısı
$\mathbf{F}_I$, $\mathbf{F}_R$, $\mathbf{F}_T$	: Gelen yansıyan ve ilerleyen dalganın enerji akısı
ω	: Dalga açısal orbital hızı
R	: Su taşınımı
$\in$	: Boyutsuz derinlik parametresi
β , β_j	: İntegrasyon sabiti
S	: Spektral fonksiyon
γ	: Spektrum piki arttırma faktörü

ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, uzun periyotlu dalgaların kıyıya yaklaştıkça değişen özellikleri ve etkileri "SeaWorks" yazılımı kullanılarak oluşturulan matematiksel modellerle incelenmiştir. Başta deprem sonucu oluşan su dalgaları (tsunamiler) olmak üzere, bu dalgalar küçük genlikli dalga teorisi ve diğer dalga teorileriyle açıklanması güç davranışlar sergilemeleri itibarı ile önemlidir. Ayrıca bu dalgaların kıyıdaki karmaşık davranışlarını ve yol açtıkları tahribatı da açıklamak çok güçtür. Bu dalgalar, kıyıya yaklaştıkça sapmaları ve dönmeleri, kırılma sırasındaki davranışları ve kıyıya dik katı madde hareketi sonucu deniz dibi profilinin değişmesi özellikleriyle modellenmiştir.

Dalga sapması ve kıyıya dik değişen dalga enerjisi dağılımıyla dalga kırılmasını inceleyen modeller Tuzla bölgesinde, dalga dönmesini inceleyen model Tuzla limanında, iki boyutlu dalga analizi ve katı madde taşınımı modelleri hem Tuzla hem de Kadıköy bölgesinde kurulmuştur. Marmara Denizi'nin Kuzey kıyılarının benzer özelliklerde olması dolayısıyla bu modeller sözü geçen bölgedeki genel dalga davranışlarını yansıtabilmektedir.

Modeller uzun dalgalarla beraber modellerin kurulduğu bölgelerde görülen belirgin dalga yüksekliğindeki rüzgar dalgaları ile de çalıştırılmıştır. Bu sonuçlar uzun dalgalar için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Özellikle tsunamilerin ulaştıkları dalga yükseklikleri ve deniz dibi profilini değiştirmeleri ile ilgili genelde literatürdeki bilgileri doğrulayan önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bulunan bu sonuçlarla uzun dalgaların kıyıdaki davranışları genellenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu şekilde Marmara Denizi'nde meydana gelebilecek bir depremin tetikleyeceği uzun dalgaların özellikleri ve etkileri tahmin edilmiştir.

SUMMARY

In this master thesis study the behaviours of long waves at near shore regions are studied by means of mathematical models generated using the software "SeaWorks" of Wallingford Software. These waves, especially earthquake induced water waves (tsunamis), are important as they show behaviours which are hard to explain with small amplitude wave theory and other wave theories. In addition, it is also very hard to explain the chaotic behaviours and the damage they produce on the shore, as well. These water waves are modeled considering their refraction and diffraction as they approach to the shore, behaviours during breaking and sea bottom profile changes due to cross-shore sediment transport.

The models investigating wave refraction and wave breaking in terms of cross-shore wave energy dissipation are set on Tuzla region, wave diffraction on Tuzla port and two dimensional wave analysis and sediment transport on both Tuzla and Kadıköy regions. Considering the similar properties of North coasts of Marmara Sea these models can reflect the general wave behaviours in these regions

Except long waves, models are also run with wind waves that have the significant wave heights generally seen at the related regions. These results are compared with the ones found for the long waves. Important results which are generally fitting the ones in the literature are reached especially related with wave heights and sea bottom profile changing of tsunamis. With these results, it is tried to generalize the behaviours of long waves. Also by this way the behaviours and effects of tsunamis which may be induced by an earthquake that may occur in the Marmara Sea are estimated.

1. GİRİŞ

Su dalgalarının kaotik davranışlarını açıklayabilmek için bilim tarihi boyunca birçok teori ortaya atılmıştır [1]. Deneysel ve teorik olarak geliştirilen bu teorilerin açıklamakta güçlük çektiği dalga türleri arasında başta gelen uzun dalgalar (uzun periyotlu ya da uzun dalga boylu), bugün bile bu konuyla ilgilenen bilim adamları arasında çelişkili görüşlere yol açmaktadır.

Genel olarak uzun periyotlu dalgalar, rüzgar etkileri haricinde gel-git, deprem, büyük kütle hareketleri, vb. etkilerle oluşan, ve rüzgar dalgaları gibi saniye değil de dakika veya saat mertebesinde çok daha uzun periyotlara sahip dalgalardır [1].

Bu çalışmada gerek ülkemizde diğer uzun dalga türlerine göre çok daha sık görülmeleri, gerekse öngörülemeyen oluşum zamanları ve yıkıcı etkileri itibariyle önem arzeden deprem dalgaları üzerinde durulmuş ve bu dalgaların kıyı yakınlarındaki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır [2,3].

Matematiksel modelleme ile yürütülen bu çalışmada uzun periyotlu dalgaların sapması[1], kıyı yapıları etkisiyle dönmeleri[2], sığlaşma[3] ve dip sürtünmesi[4] etkisine maruz kalması, kırılması[5], yansıması[6], kıyı morfolojisi ve deniz tabanı profiline etkileri incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan modeller oluşturulurken, içerdiği alt yazılımlarla birlikte Wallingford Yazılım tarafından geliştirilen SeaWorks adlı yazılım kullanılmıştır [4]. Tüm dünyada kullanılan bu yazılımlar gerek kıyı ve liman yapıları tasarımı gibi mühendislik uygulamalarında, gerekse karmaşık kıyı olgularını incelemeye ve kıyı ile ilgili problemleri çözmeye yönelik araştırmalarda başarılı sonuçlar vermiştir [4-10]. Daha önce rüzgar dalgaları ve rüzgar dalgaları ile gel-git dalgalarının kombine etkilerini incelemek için kullanılan bu yazılımlar, deprem dalgalarının oluşum ve

[1] İng. "Wave Refraction"
[2] İng. "Wave Diffraction"
[3] İng. "Wave Shoaling"
[4] İng. "Bottom Friction"
[5] İng. "Wave Breaking"
[6] İng. "Wave Reflaction"

etkime şekli gözönünde bulundurularak kalibre edilmiştir. İlerleyen bölümlerde bu yazılım ve kurulan matematiksel model ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

Çalışma bölgesi olarak Tuzla limanı ile Tuzla ve Kadıköy kıyıları seçilmiş, modeller bu bölgelerde kurulmuştur. Tarih boyunca birçok depreme ve deprem dalgasına maruz kalan Marmara Denizi şüphesiz ki bu tür bir çalışmanın yapılması için uygun bir bölgedir [3]. Ayrıca "İstanbul kıyılarını etkileyecek bir deprem dalgasının nelere yol açabilir?" sorusuna da kısmen de olsa yanıt verilmeye çalışılmıştır.

Deprem dalgalarının oluşum ve etki mekanizmalarının incelendiği bir sonraki bölüm bu dalgalarla diğer uzun periyotlu dalgaların anlaşılmasında kullanılan temel teori ve analitik çözümleri içermektedir.

2. DEPREM DALGALARI (TSUNAMI[7])

Japonca'dan dünya literatürüne geçen bu terim literatürde "su yüzeyinde geniş ölçekli düzensizliklere yol açan kısa süreli etkilerin oluşturduğu uzun periyotlu dalgalar" için kullanılır.

Tsunamiler genel olarak, deniz tabanında meydana gelen Richter ölçeğine göre 6.5'ten daha büyük depremler sonucu oluşurlar. Bunun yanında deniz tabanındaki volkanik aktiviteler, taban çökmesi, toprak kayması veya su yüzeyine düşen bir göktaşı gibi şiddetli titreşim ya da kütle hareketine yol açan olaylar da tsunami oluşmasına neden olabilirler [2] (Bu çalışmada deprem kaynaklı tsunami dalgaları üzerinde durulacağı için, tsunami terimi deprem dalgasının karşılığı olarak kullanılmıştır).

Bu dalgaların ayırt edici özellikleri uzun periyotlarıdır; genellikle 20 dakika < T < 1.5 saat olmakla beraber değişebilirler. 1.5 saatten daha uzun periyotlu dalgalar genellikle Ay'ın Dünya üzerindeki çekim kuvvetinin uzun süreli etkisiyle meydana gelen gel-git dalgalarıdır [1], ve çoğu zaman periyodik bir su seviyesi değişimi şeklinde etkili olurlar.

Tabii ki deprem sonucu tsunami oluşumu yalnızca deprem şiddetine değil, depremin mekanizmasına da bağlıdır; örneğin deprem sonucu deniz tabanındaki düşey yer değiştirme tsunami oluşumu için önemli bir parametredir.

Yıkıcı etkileri açısından önemli bir olgu olan tsunamilerin oluşum mekanizmaları, oluşma zamanları ve yerlerinin önceden tespit edilememesi, kıyıdaki kaotik etkileri ve fiziksel modelleme imkanlarının sınırlılığı dolayısıyla tam olarak tanımlanamamıştır.

Tsunamiler uzun periyotları (dolayısıyla da uzun dalga boyları) nedeniyle oluştukları noktadan itibaren sığ su dalgası şeklinde hareket edeceklerdir. Genlikleri ise

[7] Türkçe'deki asıl karşılığı "Liman Dalgası"dır.

oluştukları noktada uzun periyotlarına nazaran ani etki altında oluştukları için düşüktür [2,3] (genellikle a < 1.0 m).

Küçük Genlikli Dalga Teorisine göre sığ sularda ($L >> h$) bir dalga katarının grup hızı:

$$c_g = \sqrt{(gh)} \tag{2.1}$$

şeklinde ifade edilir [1] (L dalga boyu, c_g grup yayılma hızı, g yerçekimi ivmesi, h derinlik). Bu ifadeye göre tsunami oluştuğu noktada, suya atılan bir taş sonucu oluşan dairesel halkalara benzetilebilir [2].

Dairesel olarak yayılmaya başlayan dalga halkalarının en dıştakinin ilerleme hızı da c_g olacaktır ve arkadaki dalgalar da merkeze doğru yavaşlayan bir şekilde hareket edeceklerdir. Herhangi bir anda dalga tepeleri arasındaki mesafe (dalga boyları) dıştan daha geniş ve içeriye doğru azalır nitelikte olacaktır. Yansımaya neden olacak herhangi bir sınır koşulu olmadığı takdirde bu sistemdeki münferit dalgalar şekillerini koruyacaklar, rüzgar dalgalarında olduğu gibi belirip yok olmayacaklardır.

Genellikle sistemdeki hiçbir dalga aynı büyüklükte olmadığı gibi dalgaların genlikleri de yere ve zamana bağlı olarak değişecektir. Dalga katarı ilerledikçe dalgalar arasındaki enerji dağılımı, derinlik ve dip sürtünmesi gibi etkenlerle değişecektir. Tıpkı suya atılan bir taşın yarattığı dalgalarda olduğu gibi, tsunami su yüzeyinde ilerledikçe münferit dalgaların genlikleri sönümlenecektir. Bunun nedeni ise dalga sisteminin sonlu bir enerjisi olması ve bu enerjinin zamanla azalmasıdır [2].

Tsunamiler oluştukları noktalarda gözlemlenip incelenememelerine rağmen, sığ su dalgaları olmaları itibarıyla Küçük Genlikli Dalga Teorisi kabullerine uygunlukları, okyanus üzerindeki çeşitli istasyonlardan elde edilen veriler, çeşitli laboratuar deneyleri ve nükleer bomba çalışmaları sonucu kazanılan deneyimler bilim dünyasına yukarıdaki görüşleri benimsetmiştir [2,3,11,12].

Tsunami, açıktayken gemi dalgası zannedilebilecek boyutlardadır ve yukarıda anlatılan dalga sisteminin ilk dalgası tek dalga şeklinde hissedilecektir. Ancak bir süre sonra sistemin diğer dalgaları da peş peşe gelecek ve tipik dalga katarı görüntüsünü alacaklardır.

Açık denizde durum böyledir. Fakat zamanla deniz tabanındaki düzensizliklerden dolayı ilk baştaki düzgün ve simetrik sistem bozulmaya başlayacak ve dalga sistemi kıyıya yaklaştıkça karmaşık ve yıkıcı bir karaktere bürünecektir.

Dalgalar yakın kıyıya doğru yaklaştıkça, enerjileri gittikçe daha küçük hacimlere yoğunlaştığı için tekil dalga genlikleri artmakta ve gitgide dalga genlikleri su derinliğinin önemli bir oranı mertebesine ulaşmaktadır. Sonuçta bir ağırlık dalgası olduğundan bu sığ su rejiminde dalga sistemi lineer olmayan bir genlik bozulmasına uğrayacaktır, çünkü serbest bir ağırlık dalgasının faz hızı genliğin fonksiyonudur. Sonuç olarak her bir dalganın ilerlemesi kıyı çizgisi tarafından kesilir ve dalga genliğinin derinliğe oranı kadar (*a/h*) bir dalga enerjisi (yaklaşık %40) geri denize saçılarak kıyı boyunca dağılır [2].

Kıyıda meydana gelen bu olayın tabiatı oldukça karışıktır. Burada olay açık denizde oluştuğu gibi değil, neredeyse tamamen bölgesel topografik özelliklerle ilgilidir. Henüz tam açıklanamayan bir mekanizmayla kıyı bölgesindeki su, dalganın etkidiği o bölgeye has bir ya da daha çok sabit frekansta kaotik salınmaya[8] (oscillation) geçer. Çoğunlukla su seviyesinde anormal bir yükselmenin ardından birkaç (3 ila 5 kadar) ana kaotik salınım meydana gelir. Bunun ardından genellikle bir azalma ve günler boyunca normal kıyı şartlarında bir değişim (dejenerasyon) görülür. Tsunamilerin kıyıda yol açtıkları tahribatın neredeyse tamamı kıyıya doğru, deniz seviyesinin bazen onlarca metre üzerine çıkabilen bu büyük kaotik salınımlar sırasındaki kısa zamanda oluşur.

Bu kadar yüksek salınmalar çok fazla yerde görülmese de, tsunami sonucunda kıyı boyunda deniz seviyesindeki periyodik değişimler rezonans yaratacak frekanslarda meydana geldiğinde hızlı akıntılara ve koy, liman gibi bölgelerde (içerideki su seviyesi kendisini dışarıdakine göre ayarlamaya çalışacağı için) anormal harmonik tepkilere yol açabilmektedir. Bu etkiler sonucu gemiler ve kıyı koruma yapılarında önemli hasarlar ortaya çıkabilmektedir [2,3].

[8] İng. “Oscillation”

2.1. Deprem Büyüklüğü ve Tsunami İlişkisi

Deprem kaynaklı tsunamiler deniz tabanında büyük miktarda malzemenin düşmesi ya da çığ halinde yıkılması sonucu oluşur [2,3]. Bu tür hareketlerin dalga üretiminde etkili olabilmeleri için büyük miktarda kütlenin ani olarak yer değiştirmesi gereklidir; nitekim yapılan model deneyleri sonucu optimum şartlarda bile düşen veya kayan nesnelerin ancak %2'si dalga enerjisine çevrilebilmektedir [3].

Deprem sırasında meydana gelen ani düşey yer değiştirmeler (geniş kırıklar oluşması) üzerindeki su kolonunun da düşey olarak yer değiştirmesine yol açar. Bu sırada oluşan dalga yatay olarak da ivme kazanır.

Deprem büyüklüğü birkaç değişik şekilde ifade edilebilir. Richter ölçeğine göre ifadede kullanılan büyüklük, deprem enerjisinin bir fonksiyonu olan "Moment Büyüklüğü"dür. Deprem enerjisi ise "Sismik Büyüklük" olarak ifade edilir:

$$M_o = \mu\, u\, A \tag{2.2}$$

Burada M_o sismik büyüklük, μ elastik kayma modülü, u hareket miktarı ve A da hareketin gerçekleştiği fay yüzeyinin alanıdır. Buna bağlı olarak moment büyüklüğü şöyle ifade edilir:

$$M_w = 2/3\ log_{10}\, M_o - 6.0 \tag{2.3}$$

Burada M_w moment büyüklüğü, (Richter büyüklüğü) ifadesidir. Depremin sismik momenti ile ürettiği tsunami arasında orantılı bir ilişki olması beklenir. Bununla beraber derinlik, geometri, taban malzemesi türü ve yapısı gibi etkenler de bu ilişkiye eklenmelidir. Yukarıda söylendiği gibi genel olarak $M_w > 6.5$ büyüklüklü depremler tsunami oluştursa da daha küçük depremler de tetikleyebilecekleri deniz tabanı heyelanları vasıtası ile tsunami oluşumuna neden olabilirler. $M_w > 8.5$ büyüklüğündeki depremler okyanus kıyılarında etkili ve yıkıcı tsunamiler oluşturabilirler. Derinlik ve geometri etkileriyle depremin gerçek zamanlı sismik kayıtları çok hızlı ölçüm yapıp kaydedebilen birden fazla sismometre kullanılarak ölçülebilmesine rağmen, depremin tsunami üretme potansiyelini ölçmek kolay değildir. Çünkü sismometreleri çoğu depremin yaydığı sismik enerjinin yüksek frekanslarını ölçer. Sismik enerjinin büyük kısmı ise 0.01 Hz ya da daha az frekanslı

titreşimlerle yayılır. Bunun yanında A ve u değerlerini de tam olarak ölçmek mümkün değildir. İstatistiki olarak yaklaşık her 10 deniz altı depreminden 1 tanesi beklenen aletsel tahminden 10 ila 100 kat büyük tsunami üretirler. Örneğin 1 Nisan 1946'da Alaska'da meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki bir deprem Hawaii'de Hilo bölgesinin büyük bir bölümünü harap eden bir tsunamiye neden olmuştur [3].

Genel olarak M_w = 9 – 9.5 olan depremler 100 000 km^2'lik bir fay kayma alanına ve 10 – 20 m'lik kayma mesafesine sahiptirler. Bu olay yer kabuğunun yapısı ve fay hattının uzunluğu ile sınırlıdır, dolayısıyla da bu değerlerden daha büyük depremler görülmez. Bu en şiddetli depremler "dalma batma" sonucu oluşurlar ve sismogenik katman (kayan katman) en kalın seviyededir. Dolayısıyla ortaya çıkan enerji ve tsunami oluşturma potansiyeli de maksimumdur.

Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz; deprem şiddetini bilerek oluşabilecek tsunaminin büyüklüğünü ve yıkıcılığını tahmin etmek zordur, fakat tsunami kayıtlarından yola çıkarak deprem büyüklükleri daha sağlıklı tahmin edilebilir.

2.2. Deprem Geometrisi ve Tsunami İlişkisi

Deniz altında meydana gelen bir depremde faydaki kayma miktarı ile deniz tabanındaki düşey yer değiştirme miktarı arasında basit bir ilişki yoktur. Düşey yer değiştirme oranı faydaki kayma miktarına bağlı olduğu gibi fayın tipine ve geometrisine göre de değişebilir. Ayrıca depremin kayma yönü de kendisini yaratan fayın tipi ile ilgilidir [3]. Her fay tipinin tsunami yaratmak konusunda kendi karakteristiği vardır. Kompozit tipler de bulunmakla beraber tsunamiye yol açan fay tiplerini şöyle sıralayabilirirz:

2.2.1. Normal Faylanma

Normal faylanmada hareketin yönünü belirleyen kayma vektörü, düşey ya da düşeye çok yakındır (düşeyle 85^o ila 90^o). Faydaki kayma neticesinde fay çevresindeki yüzeyin düşey hareketi, fay hattının iki parçası arasındaki toplam yer değiştirme ile aynı yönlü oluşur. Fay hattıyla geniş açı yapan parça diğerine göre düşeyde aşağı doğru yer değiştirir. Deprem sırasında alçalan deniz tabanının oluşturduğu boşluğa suyun akması ile tsunami oluşur. Bu tür fayların yarattığı depremler oldukça iyi tsunami üreticileridirler.

2.2.2. Ters Faylanma

Geometri olarak normal faylanmayla aynı özelliklere sahiptirler. Ancak bu tür faylarda iki fay parçası arasındaki bağıl hareket normal faylanmadakiyle ters yöndedir, yani fay hattıyla dar açı yapan parça diğerine göre düşeyde aşağı doğru yer değiştirir. Bu tip faylardan kaynaklanan depremler de doğrudan tsunami üretebilirler.

2.2.3. Darbe Etkili Faylanma

Ters faylanmanın özel bir tipidir ve yatay ivmesi yüksek depremlere yol açtığı için darbe etkili faylanma adıyla anılır. Kayma vektörü yüzey ile küçük (yataya yakın) bir açı yapar. Gene de tsunami üretmek açısından önemli tip depremlere sebep olabilirler. Çünkü en büyük depremler bu tip faylar üzerinde oluşurlar, ve deniz tabanında heyelan tipi yer değiştirmeleri kolaylıkla tetikleyebilirler. Ayrıca bu tip faylar üzerinde deniz tabanı eğimi genellikle 10^{o} ila 25^{o} kadardır ve dolayısıyla kayma vektörünün deniz tabanına dik bileşeni (deniz tabanına göre dikey yer değiştirme) fazladır. Bu düşey hareketin sonucu normal faylanmadakine benzer mekanizma ile tsunami oluşur.

2.2.4. Doğrultu Atımlı Faylar

Bu faylarda meydana gelen depremler neredeyse tamamen yatay hareketin sonucudurlar, dolayısıyla doğrudan tsunami üretmezler. Ancak deniz altı heyelenlarına sebep olmaları nedeniyle dolaylı olarak tsunami üretebilirler. 17 Ağustos 1999'da meydana gelen Marmara Depremi de bu çeşit bir depremdir ve dolaylı olarak tsunami meydana getirmiştir [3].

Fay hattında düşey hareket sonucu ortaya çıkan depremlerin yeryüzünde meydana getireceği düşey hareket miktarı, fayın kendi üzerinde meydana getireceği düşey hareket miktarından daha azdır. Çünkü fay kırılması etkisi yüzeye düzenli şekilde azalarak ulaşmaktadır. Düşey atımlı faylarda meydana gelen şiddetli depremlerde bile yüzeydeki düşey yer değiştirme maksimum yer değiştirmenin yaklaşık olarak yarısı kadar olacaktır.

Depremin meydana geldiği derinlik arttıkça depremin hissedildiği alan artmakta, fakat hissedilme şiddeti azalmaktadır. Dolayısıyla derinde meydana gelen depremler yüzeye yakın yerlerde meydana gelenler kadar etkili tsunami kaynakları değildirler.

2.3. Tsunami Dalgalarının Hidrodinamiği

Tsunami dalgalarının yıkıcı etkileri sığlaşan sularda ilerleyerek kıyı yakınlarına ulaştıklarında ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla tsunami dalgalarının kıyıya yaklaşırken gösterdikleri karakteristik davranışları analiz edebilmek için onları uzun periyotlu ağırlık dalgaları olarak düşünmek ve incelemek yerinde olacaktır.

Bu şekilde ortaya çıkacak bir analitik teori, uzun dalgaların idealize edilmiş deniz tabanı üzerinde açık denizde ilerlemelerini esas alacaktır [2]. Lineer olmayan etkenlerin, saçılmanın ve dip sürtünmesinin nispeten küçük etkileri de ihmal edildiğini düşünürsek şu ortaya çıkmaktadır ki; tsunami dalga sistemindeki saçılma miktarı, genellikle sistemin dairesel uzamasının tsunaminin dalga boyuna oranına veya sistemdeki içten dışa faz kaymasına bağlıdır. Bu bağıntıyı teoride verebilmek için her tsunaminin belirli bir frekansta oluştuğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla bu teori tsunami dalgası yayılmasının frekans analizi şeklinde düşünülebilir. Tabii ki odaklanılması yer kaynaktan uzak darbe noktaları olacaktır. Bu kadar uzak mesafelerde, gelen tsunami dalgaları dairesel özelliklerini kaybederek düzlem dalgası şeklinde etkiyeceklerdir.

Uzun dalgalar η yüzey kotunda ve (H su derinliği ve $\mathbf{u} = (u_x, u_y)$ yatay su hızı olmak üzere) $\mathbf{Q} = H\,\mathbf{u}$ dalga taşınımında lineer hareket denklemlerini sağlarlar:

$$\frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial t} = -\,g\,H\ \nabla \eta \tag{2.4}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\ \nabla \cdot \mathbf{Q} \tag{2.5}$$

Burada t zaman ve g de yarçekimi ivmesidir.

Sabit su derinliği için bu denklemlerin aşağıdaki şekilde düzlem dalga çözümleri vardır:

$$\begin{bmatrix} \eta \\ \mathbf{Q} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} 1 \\ c\,\hat{\mathbf{k}} \end{bmatrix} e^{\,i\,[\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} - \omega t]} \tag{2.6}$$

Burada A, kompleks genlik; $c = \sqrt{gH}$, uzun dalga hızı; $\hat{\mathbf{k}}$, $\mathbf{k} = (k_x, k_y)$ dalga sayısı ile aynı yönlü birim vector; $\mathbf{x} = (x, y)$, yatay uzaklık vektörü ve ω de açısal frekanstır.

Geliş açısı φ'yı x-eksenine göre tanımlayarak birim yön vektörü $\hat{\mathbf{k}}$ şu şekilde yazılabilir:

$$\hat{\mathbf{k}} = (\cos\phi,\ \sin\phi)\ . \tag{2.7}$$

Dalga yayılması problemine uygulanabilecek faydalı tekniklerden biri de enerji akısının korunumudur. Bu ilkede (enerji kaybı olmadan) bir bölgeye giren düzenli akının, aynı bölgeden çıkan eşit bir akıyla dengelenmesi esastır. Bu ilkeyi tsunami dalgalarının bir bölgede yayılması ve yansıması durumuna uygulayabilmek için, enerji akılarını "akı yoğunluğunun sınır yüzeyi üzerindeki integralleri" şeklinde yazmak yerinde olacaktır. İki boyutlu bir düzlem dalgası için (2.7 denklemi) derinlik boyunca integre edilmiş akı yoğunluğu, birim zamanda ve birim genişlikte ilerleyen enerji şeklinde tanımlanır:

$$\mathbf{F}\ =\ \rho\, g\, c\, \hat{\mathbf{k}}\, \frac{|A|^2}{2}\ . \tag{2.8}$$

Bu, dalga sayısı $\mathbf{k}$ ile aynı yönlü bir vektördür; ve su yoğunluğu ρ, yerçekimi ivmesi g, uzun dalga hızı c, ve genlik büyüklüğü $|A|$'nın karesiyle orantılıdır. Bu form (2.8 denklemi) derinlik boyunca integre edildiğinde, sınır yüzeyi etrafındaki her integral enerji akısı, yoğunluğun normal bileşeninin bir çizgisel integrali haline gelir.

Basamaklar, tepeler, hendekler gibi çizgisel topografik şekillerde dikdörtgensel bölgeler, eğer iki kenarı bu şekillere paralel olarak uzanmışsa, sınır yüzeylerindeki akı bileşenleri için basit ifadeler sağlar. Şöyle ki; gelen dalga düzlemsel ise, iletilen ve yansıyan dalga da düzlemsel olacaktır. Bu şekilde enerji akısının korunumu, akı yoğunlukları arasındaki basit bir denge ifadesine dönüşecektir. Vektörel olarak yazılırsa:

$$\mathbf{F}_I + \mathbf{F}_R = \mathbf{F}_T \tag{2.9}$$

Burada $\mathbf{F}_I$, $\mathbf{F}_R$, ve $\mathbf{F}_T$ sırasıyla; gelen dalganın enerji akısı, yansıyan dalganın enerji akısı ve iletilen dalganın enerji akısı yoğunluklarıdır.

Bağımsız dairesel bir şekilden yayılma durumunu incelerken de, bir deniz tepeciği üzerinde merkezlenmiş bir dairesel bölge, akılar için basit formüller verir. Örneğin

Lamb (1932) düzlemsel dalgaların dairesel adalarla etkileşimi sonucu yayılan dalga genliklerini belirlemek için böyle bir bölgeden çıkan enerji akısını kullanmıştır [2].

Gerçek bir deniz tabanı profilinin devamlılığını, basamaklı bir yapı (derinlikteki dikey değişmelerle ayrılmış sabit derinlikli parçalar) şeklinde ifade ederek basitleştirdiğimizde yukarıda bahsedilen ilkenin tsunamilerin ilerlemesine uyarlanması daha kolay olacaktır [2]. Bu şekilde bir taban profili için koordinat ekseni öyle bir noktaya yerleştirilecek ki, profil yalnızca x yönünde değişsin. Dalganın eşderinlik eğrilerine dik olarak hareket ettiğini düşünürsek, j. parça boyunca ($x_j < x < x_j + \delta x_j$) derinlik H_j sabit olacak ve faz hızı c_j ve x yönündeki dalganın sayısı k_j bileşeni sırasıyla:

$$c_j = \sqrt{gH_j} \tag{2.10a}$$

$$k_j = \frac{\omega}{c_j} \tag{2.10b}$$

şeklinde ifade edilebilir. Normal yönlü dalga için gelen dalga:

$$\begin{bmatrix} \eta_j \\ Q_j \end{bmatrix} = A_j \begin{bmatrix} 1 \\ c_j \end{bmatrix} e^{i\,[\theta_j(x)-\omega t]} \tag{2.11}$$

şeklinde olacaktır. Burada $\theta_j\,(x)$ ise şu şekilde verilir:

$$\theta_j(x) = \theta_0 + k_j(x - x_j) + \sum_{j'=1}^{j} k_{j'-1}(x_{j'} - x_{j'-1}) \tag{2.12}$$

Burada son terim, dalga her basamak boyunca j. basamağa doğru ilerledikçe faz üzerinde yapılan münferit değişikliklerin toplamıdır.

Yansıyan dalga durumunda, yüzey seviyesini ξ_j ile, su taşınımı R_j ile ve kompleks genlik de B_j ile gösterilmektedir. Bu dalga gelen dalganın tersi yönünde hareket ettiği için (ters x yönünde), taşınım hızı ve fazının işaretleri (2.12) denkleminde ters çevirilmelidir ($c_j \rightarrow$ - c_j ve $\theta_j \rightarrow$ - θ_j):

$$\begin{bmatrix} \xi_j \\ R_j \end{bmatrix} = B_j \begin{bmatrix} 1 \\ -c_j \end{bmatrix} e^{i\,[-\theta_j(x)-\omega t]} \tag{2.13}$$

Orijinin (*x=0*) yeri ile *A(0)* ve *B(0)* kompleks genliklerinin fazları karşılaşılan topografik şekle veya çözüm yoluna en uygun şekilde seçilir.

Lineer dalga teorisi su derinliğindeki ani (dik) bir değişiklikte iki değerin devamlı olmasını gerektirir: Toplam su yüzeyi seviyesi ve toplam su taşınımının derinlik değişimi doğrultusuna dik bileşeni. Yalnızca *x* yönünde değişen çizgisel topografyada (deniz dibi profilinde) dik gelen dalga durumunda $x = x_j$ 'deki derinlik değişimi:

$$\eta_{j-1} + \xi_{j-1} = \eta_j + \xi_j \tag{2.14}$$

$$Q_{j-1} + R_{j-1} = Q_j + R_j \tag{2.15}$$

şeklindedir. Normal taşınımı yüzey seviyesi cinsinden ifade edip 2.10 ifadesini kullanırsak:

$$c_{j-1}\left[\eta_{j-1} - \xi_{j-1}\right] = c_j\left[\eta_j - \xi_j\right] \tag{2.16}$$

veya

$$\eta_{j-1} - \xi_{j-1} = \epsilon_j\left[\eta_j - \xi_j\right] \tag{2.17}$$

elde edilir. Burada $\in_j$ şu şekilde yazılabilir:

$$\epsilon_j \equiv \left[\frac{H_j}{H_{j-1}}\right]^{\frac{1}{2}} . \tag{2.18}$$

Duruma uygun şartlar bölgedeki tüm değişimlere (iletimlere) uygulanırsa, sonuçta ortaya çıkan denklemler topografik şeklin tamamındaki dalga yayılımını ifade eden formüllerin elde edilmesini sağlayacaktır. *j* alt simgesi düşürüldüğü zaman, $\in$ derinlik parametresi bir taban şeklinin dalganın ilerlediği komşu bir taban şekline göre minimum derinliğine tekabül eder. İleride de göreceğimiz gibi $\in$ bu dalga yayılma sisteminde temel bir rol üstlenmiştir.

Yukarıda alınan parça uzunluklarının sıfıra yaklaştığını düşünerek ($\delta x_j \to 0$) sürekli değişen bir taban profili için yukarıdaki denklemleri (2.14-2.17) uygulayabiliriz. Yukarıdaki denklemler türetilirken dalganın normal geliş açısı ile yaklaştığı kabul edilmişti. Bu analizde dalga hızları c_j 'yi kullanmak yerinde olacaktır. (2.14-2.17) denklemlerini η_j ve ξ_j için çözdüğümüzde iki dalga için aşağıdaki simetrik denklemler elde edilecektir:

$$\eta_j - \eta_{j-1} = -\frac{\delta c_j}{2c_j}\left[\eta_{j-1} - \xi_{j-1}\right] \tag{2.19}$$

$$\xi_j - \xi_{j-1} = -\frac{\delta c_j}{2c_j}\left[\xi_{j-1} - \eta_{j-1}\right] \tag{2.20}$$

Burada $\delta c_j \equiv c_j - c_{j-1}$ 'dir.

$x = x_j$ için yüzey seviyeleri η_{j-1} ve ξ_{j-1} 'i aşağıdaki şekilde yazarak;

$$\eta_{j-1} = A_{j-1}\, e^{i\theta_j} \tag{2.21a}$$

$$\xi_{j-1} = B_{j-1}\, e^{-i\theta_j} \tag{2.21b}$$

ve aşağıdaki faz bağıntısını kullanarak

$$\theta_j = \theta_{j-1} + k_{j-1}\delta x_j \tag{2.22}$$

ki burada k_{j-1} ve δx_j sırasıyla

$$k_{j-1} = \frac{\omega}{c_{j-1}} \tag{2.23a}$$

$$\delta x_j = x_j - x_{j-1} \tag{2.23b}$$

olarak ifade edilebilir; şu dalga genlikleri farkı denklemleri elde edilebilir:

$$A_j - A_{j-1} = -\frac{\delta c_j}{2c_j}\left[A_{j-1} - B_{j-1}\, e^{-2i\theta_j}\right] \tag{2.24}$$

$$B_j - B_{j-1} = -\frac{\delta c_j}{2c_j}\left[B_{j-1} - A_{j-1}\, e^{2i\theta_j}\right] \ . \tag{2.25}$$

(2.24) ve (2.25) denklemleri δx_j ile bölünüp, $\delta x_j \to 0$ limit değeri kullanılırsa *A(x)* ve *B(x)*'in diferansiyel denklemleri şu şekilde ortaya çıkar:

$$\frac{dA}{dx} = -\beta A + \beta B\, e^{-2i\theta} \tag{2.26a}$$

$$\frac{dB}{dx} = -\beta B + \beta A\, e^{2i\theta} \tag{2.26b}$$

Burada β;

$$\beta \equiv \frac{1}{2c}\frac{dc}{dx} \tag{2.27}$$

şeklinde ve $\theta(x)$ de, dalga sayısının x üzerindeki integrali olarak verilir:

$$\theta(x) = \int_0^x k(x')\,dx' \,. \tag{2.28}$$

Gelen dalganın genliği A için verilen sınır koşulları, dalga söz konusu noktaya gelmeden önceki bir $x = 0$ noktası için bilinen bir A_o değeridir:

$$x = 0 \qquad \text{iken,} \qquad A = A_0 \tag{2.29}$$

B genliği için ise durum şöyledir ki, geri yansıyan dalga topografik şeklin uzak tarafında herhangi bir kaynakla karşılaşmayacaktır. Dolayısıyla,

$$x \to \infty \qquad \text{iken,} \qquad B \to 0 \tag{2.30}$$

(2.29) denklemi yeni genlikler A' ve B' ile, Green'in "4'te 1 kanunu" [11] kullanılarak geliştirilebilir:

$$A = \left[\frac{H}{H_0}\right]^{-\frac{1}{4}} A' \tag{2.31a}$$

$$B = \left[\frac{H}{H_0}\right]^{-\frac{1}{4}} B' \,. \tag{2.31b}$$

Bu şekilde (2.26a) ve (2.26b) denklemleri aşağıdaki şekli alacaktır:

$$\frac{dA'}{dx} = \beta B'\, e^{-2i\theta} \tag{2.32a}$$

$$\frac{dB'}{dx} = \beta A'\, e^{2i\theta} \tag{2.32b}$$

Bu denklemin integrasyonu sonucu da:

$$A' = A'_0 + \int_0^x \beta(x')\, B'\, e^{-2i\theta'}\, dx' \tag{2.33}$$

$$B' = B'_0 + \int_0^x \beta(x')\, A'\, e^{2i\theta'}\, dx' \tag{2.34}$$

olarak elde edilir. Burada θ' ise şu şekildedir:

$$\theta' = \int_0^{x'} k(x'')\, dx'' \tag{2.34a}$$

(2.33) ve (2.34) denklemlerindeki integral ifadelerinde yer alan faz terimlerinde, üslü ifadede yer alan 2 çarpanı toplam faz kaymasının iki terimin toplamı olmasından kaynaklanmaktadır: Gelen dalganın yayılmaya yol açan bir bölgeye doğru ilerlemesinden kaynaklanan faz kayması θ' ve yayılma bölgesinden dönen dalgaların ilerlemesi için diğer bir faz kayması θ'.

Devamlı olarak değişen dip profili üzerinden yansıma durumunda topografiden dolayı oluşan yansıma oldukça zayıftır, dolayısıyla (2.34) denklemindeki A' yerine A_0 konulabilir.

Boyuna sınırlı bir topografik şekil için ($|x|$ > bazı x_1 için; $\beta = 0$) B' şu şekilde yazılabilir:

$$B' \doteq B'_0 + \int_0^{x} \beta(x')\, A'_0\, e^{2i\theta'}\, dx' \tag{2.35}$$

veya

$$B' \doteq B'_0 + A'_0 \int_0^{x} \beta(x')\, e^{2i\theta'}\, dx' \,. \tag{2.36}$$

Denklem (2.30) denkleminde belirtilen B 'deki sınır koşullarını kullanarak yayılan dalga genliği için ilk yaklaşım yapılabilir:

$$0 \doteq B'_0 + A'_0 \int_0^{\infty} \beta(x')\, e^{2i\theta'}\, dx' \,. \tag{2.37}$$

Orijini topografik şekli ortalayacak şekilde değiştirip (2.37) denklemindeki integralin alt limitini $x \rightarrow -\infty$ yaparsak, B_0 genliği yaklaşık olarak şöyle verilir:

$$B_0 \doteq -A_0 \int_{-\infty}^{\infty} \beta(x')\, e^{2i\theta'}\, dx' \,. \tag{2.38}$$

Aynı mertebede bir yaklaştırmayla, gelen dalganın, genlikteki Green kanunu değişimleri ve $k_{x,0}$'dan itibaren toplam faz kaymasındakinden başka, küçük eğimli dip

profilinden etkilenmediğini söyleyebiliriz [11]. Daha kesin söylemek gerekirse $\beta / k_0 << 1$ olduğu dip profilinde su üstü kotu ve faz kayması:

$$\eta(x) \doteq A_0 \left[\frac{H}{H_0}\right]^{-\frac{1}{4}} e^{i\theta} \tag{2.39a}$$

$$\theta = \theta_0 + \int_{x_0}^{x} k(x')\, dx' \,. \tag{2.39b}$$

şeklinde ifade edilebilir.

İletilen dalganın genliğine ilk düzeltme dalga yayılması dolayısıyla enerji akısı korunumu kullanılarak yapılır (bknz. 2.8,2.9 denklemleri).

Bu teorinin dalganın devamlı değişen dip profilinde ilerlerken karşılaştığı farklı topografik şekiller için uygulanması mümkündür. Örneğin en basit durum, tsunami eşderinlik eğrilerine dik yaklaşırken ($\phi = 0^o$) bir "basamakla" değişime uğraması olacaktır (Şekil 2.1). Böyle bir durum için dalganın davranışı yalnızca derinlik parametresi $\epsilon = \sqrt{(H_1/H_0)}$ 'a bağlı olacak ve dalganın frekansından (periyottan) bağımsız olacaktır (H_0 gelen dalgaya göre deniz tabanındaki basamağın önündeki derinlik, H_1 de arkasındaki derinliktir). Eğer dalganın ilerleme yönü eşderinlik eğrilerine dik değilse durum farklılaşmayacak, yalnızca daha sığ taraftan basamağa yaklaşmış olacaktır. Bundan sonra $\phi > \phi_{kritik}$ için dalgaların tamamen yansıyacağını söyleyebiliriz ki, bu ϕ_{kritik} de periyoda bağlı olacaktır. (2.13-2.17) eşleştirme denklemlerini kullanarak aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

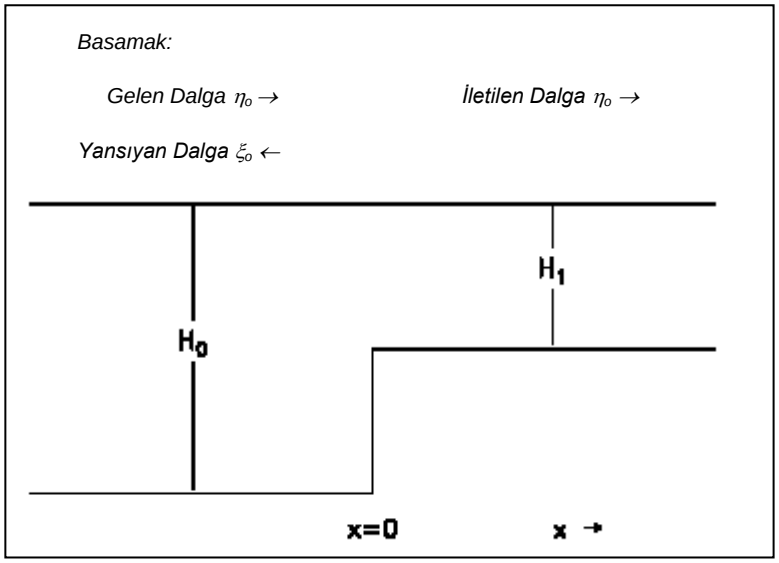
$$A_I + B_R = A_T \tag{2.40}$$

$$A_I - B_R = \epsilon A_T \tag{2.41}$$

Burada A_I gelen dalganın genliği, B_R yansıyan dalganın genliği, A_T de iletilen dalganın genliğidir. Ayrıca basamağın tam üstünde x = 0 'dır. Buradaki derinlik parametresi aslında $\epsilon \equiv \epsilon_1$ 'dir, fakat buradan "*1*" alt simgesi düşürülmüştür.

Biraz önce de söylendiği gibi, (2.40) ve (2.41) eşleştirme denklemleri frekanstan (ω) bağımsızdır. Dolayısıyla tsunamiler basamak şeklinde bir dip düzensizliğine eş

derinlik eğrilerine dik açıyla yaklaştıkları zaman da ($\phi = 0^o$), sonuçlar frekanstan bağımsızdır.



Şekil 2.1 Deniz tabanındaki basamak düzensizliğinin şematik gösterimi.

(2.40) ve (2.41) denklemlerini genlik oranları $R_T = A_T / A_I$ ve $R_R = B_R / A_I$ için çözersek:

$$R_T = \frac{2}{1+\epsilon} \tag{2.42a}$$

$$R_R = \frac{1-\epsilon}{1+\epsilon}\,. \tag{2.42b}$$

olarak elde edilir. Gelen dalga basamağın derin tarafından yaklaştığında ($\epsilon < 1$ durumunda), A_T A_I 'dan büyük ve B_R de positif olacaktır. Derinlik parametresi ϵ küçüldükçe, basamaklar arasındaki derinlik çelişkisi büyüdükçe $A_T \rightarrow 2$ x A_I ve $B_R \rightarrow A_I$ yaklaşmalarına yol açacaktır.

Tersine bir durumda negatif yansıma olacak ($B_R < 0$) ve derinlik çelişkisi büyüdükçe $A_T \rightarrow 0$ ve $B_R \rightarrow -1$ olacaktır. Dolayısıyla basamaktaki büyük derinlik farkları ($|\epsilon| >> 1$) dalganın derinden ya da sığdan gelmesinden bağımsız olarak büyük yansımalar ($|R_R| \rightarrow 1$) yaratırlar.

Kritik durumun $\epsilon = 1$ değeri olduğunu düşünürsek bu durumda tamamen iletim ve sıfır yansıma olacaktır ($R_T = 1$ ve $R_R = 0$). (2.42a) denklemindeki iletim oranının 1.9 ≥

$R_T \geq 0.1$ aralığında değiştiğini düşünürsek ϵ da $1/19 < \epsilon < 19$ aralığında değişir. O zaman R_T ve R_R'nin maksimum değişim oranı $\epsilon = 1$ iken olacaktır. Bu oranlar da:

$$\max\left[\frac{dR_T}{d\epsilon}\right] = \max\left[\frac{dR_R}{d\epsilon}\right] = -2\,. \tag{2.43}$$

şeklindedir. (2.8) denklemini kullanırsak iletilen ve yansıyan enerji akıları (F_T ve F_R) şu şekilde yazılabilir:

$$F_T = \frac{4\epsilon}{(1+\epsilon)^2}\,F_I \tag{2.44a}$$

$$F_R = -\frac{(1-\epsilon)^2}{(1+\epsilon)^2}\,F_I\,. \tag{2.44b}$$

İletilen enerji akısı F_T, $\epsilon = 1$ durumunda maksimum olacak ve ϵ değeri azalıp basamaktaki yükseklik farkı arttıkça sıfıra yaklaşacaktır. Bu şekilde basamağın gelen dalganın zıt yönündeki derinliği çok sığ değerlere ulaştıkça $A_T \rightarrow 2 \times A_I$ durumu ortaya çıkacaktır. Yansıyan enerji akısı F_R de $\epsilon = 1$ durmu için sıfır olacak, derinlik farkı arttıkça da F_R değeri artacaktır.

Basamak şeklinde bir dip düzensizliğine doğru ilerleyen tsunami dalgasının eş derinlik eğrilerine dik değil de belli bir açıyla geldiğini ($\phi \neq 0^o$) düşünürsek; gelen, iletilen ve yansıyan dalgalar aşağıdaki dalganın farklı ortamda yayılması denklemini sağlayacaklardır:

$$k_{x,j} = k_j \cos\phi_j \tag{2.45a}$$

$$k_{y,j} = k_j \sin\phi_j \tag{2.45b}$$

Buradaki k_j ise;

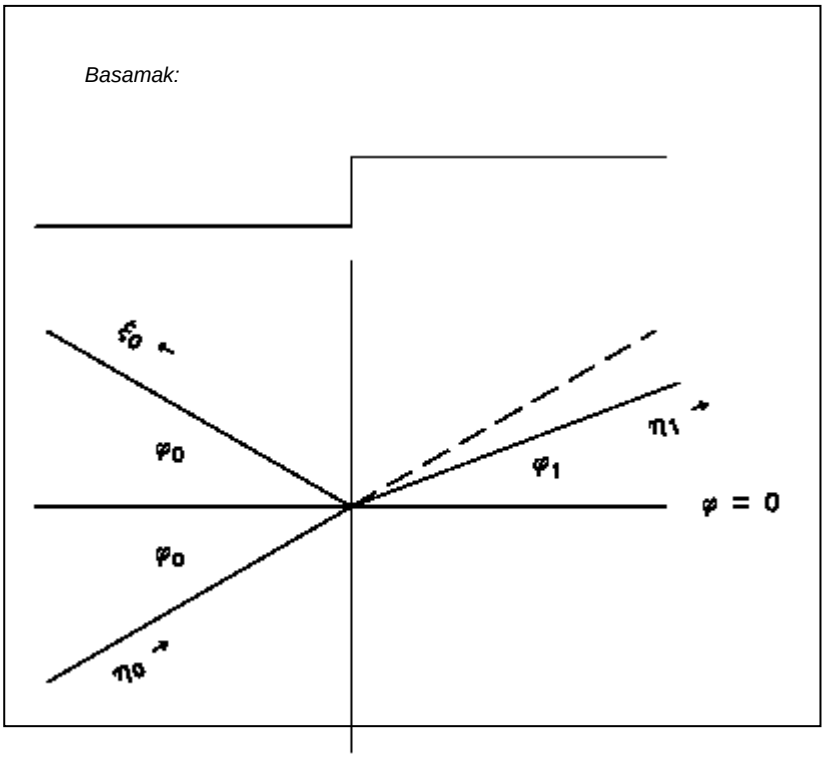
$$k_j \equiv \frac{\omega}{c_j}\,. \tag{2.45c}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Basamaklı yapı için Snell Kırınım Kanununa göre iletilen dalganın ortam sınır normaliyle yaptığı açı (ϕ_1) geliş açısı (ϕ_0) ve derinlik parametresi (ϵ) cinsinden:

$$\phi_1 = \arcsin(\epsilon \sin \phi_0) \, . \tag{2.46}$$

şeklindedir [1]. Buradan ortaya çıkacağı gibi, dalga basamağın derin tarafından yaklaşıyorsa ($\epsilon < 1$) basamaktan geçtikten sonra normale daha yakın bir açıyla ($\phi_1 < \phi_0$) yoluna devam edecektir (Şekil 2.2). Zaten dalga sapması olayında da dalgalar kıyıya her zaman dik ya da dike yakın ulaşırlar [1].



Şekil 2.2 Basamak düzensizliğine eğik yaklaşan bir dalganın şematik plan gösterimi.

Öyle bir kritik geliş açısı ($[\phi_0]_{kritik}$) vardır ki, bunun üzerindeki bir geliş açısında iletilen dalga neredeyse sıfırdır ($k_{x,1}$ hayalidir). Dalganın farklılaşan ortamda yayılması denkleminden bu kritik açı için şöyle bir formül çıkarabiliriz:

$$(k_{x,j})^2 = \frac{\omega^2}{c_j^2} - (k_{y,j})^2 \tag{2.47}$$

Ayrıca $k_{y,0} = k_{y,1}$ ve $k_{x,1} = 0$ değerlerini eklersek:

$$0 = \frac{\omega^2}{c_1^2} - k_{y,0}^2 \, . \tag{2.48}$$

olur. (2.45a-2.45c) denklemlerini kullanılarak:

$$[\phi_0]_{crit} = \arcsin\left(\epsilon^{-1}\right) \quad , \qquad \epsilon \geq 1 \, . \tag{2.49}$$

olarak elde edilir.

Bu yaklaşıma göre çok sığ bir noktadan çok derin bir noktaya geçilen keskin bir taban düzensizliği varsa $[\phi_0]_{kritik}$ değeri düşecektir. Tersi bir durumda ise bu değer yükselecektir.

İletilme ve yansıma formülleri (2.40) ve (2.41) eşleştirme denklemlerinin eğik gelen dalgalara göre değiştirilmesiyle bu durum için de elde edilebilir. Yüzey seviyesi için verilen eşleştirme denklemleri aynı kalırken su taşınımı için verilen denklemler şu hali alacaktır:

$$A_I + B_R = A_T \tag{2.50}$$

$$\cos\phi_0 \; [A_I - B_R] = \epsilon \cos\phi_1 \, A_T \, . \tag{2.51}$$

Burada derinlik parametresinin gelişmiş bir formunu tanımlayarak:

$$\epsilon' = \epsilon \, \frac{cos\phi_1}{cos\phi_0} \tag{2.52}$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki ϕ_1 değeri de (2.46) denkleminde verilmektedir.

(2.51) denklemi $cos\phi_0$ ile bölünüp (2.52) denklemini kullanılırsa, (2.50) ve (2.51) eşleştirme denklemleri (2.42) denkleminin formunu alacak, yalnızca ϵ yerin ϵ' gelecektir. Dolayısıyla eğik gelen dalgalar için genlik oranları denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

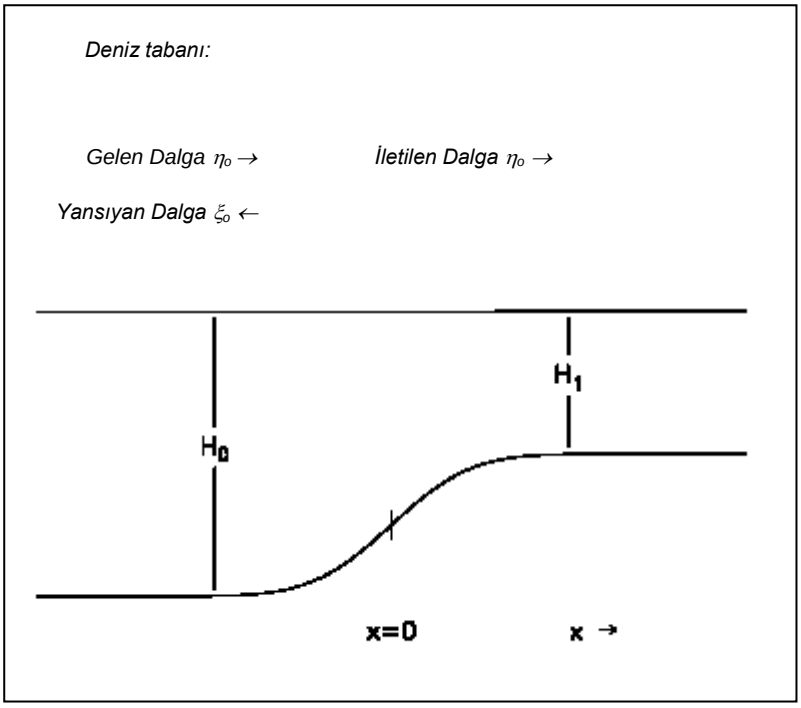
$$R'_T = \frac{2}{1+\epsilon'} \quad , \qquad \epsilon < \epsilon_{kritik} \quad \text{iken} \tag{2.53a}$$

$$R'_R = \frac{1-\epsilon'}{1+\epsilon'} \quad , \qquad \epsilon < \epsilon_{kritik} \quad \text{iken} \tag{2.53b}$$

Bu durumda ϵ 'nin ϵ_{kritik}'den daha büyük değerleri için tam yansıma durumu olacağı söylenebilir:

$$R'_T = 2 \quad , \quad R'_R = 1 \quad \epsilon < \epsilon_{kritik} \quad \text{iken} \tag{2.54}$$

Deniz tabanındaki basamaklı bir düzensizlikle karşılaştığında tsunami dalgası bu şekilde davranacaktır. Oysa ki doğada deniz tabanı ani değişimlerden çok, dereceli değişimler sergiler. Doğadaki bu dereceli deniz tabanı değişimini bir hata fonksiyonu şekline benzetirsek (Şekil 2.3), tsunami dalgasının böyle bir taban değişiminden nasıl etkilendiğini inceleyebiliriz [2]. Zaten genelde Marmara Denizi kıyılarındaki (Tuzla ve Kadıköy de dahil olmak üzere) deniz tabanı profili bu şekille uyumluluk gösterir.



Şekil 2.3 Hata fonksiyonu şeklinde bir taban düzensizliğinin şematik görünümü

Böyle bir yaklaştırmadan sonra *x* yönünde değişen derinliği (*H(x)*) şu şekilde yazabiliriz:

$$H(x) = H_0 \left[1 + \frac{\epsilon^2 - 1}{\sigma\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}} dx \right] . \tag{2.55}$$

Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi H_0 gelen dalgayla aynı taraftaki asimtotik derinlik ($x \rightarrow -\infty$), H_1 de ters taraftaki asimtotik derinliktir ($x \rightarrow \infty$). Dolayısıyla da tanımlanan derinlik parametresi ϵ'in de asimtotik değeri:

$$\epsilon \equiv \left[\frac{H_1}{H_0} \right]^{\frac{1}{2}} . \tag{2.56}$$

olacaktır. Düzensizlik boyunca derinlik değişim oranı çok az olacağından ϵ'nin *1*'den farkını:

$$\delta\epsilon \equiv \epsilon - 1 \, . \tag{2.57}$$

olarak tanımlamak yerinde olacaktır. Burada gelen dalga düzensizliğe derin taraftan yaklaştığında $\delta\epsilon < 0$, sığ taraftan yaklaştığında da $\delta\epsilon > 0$ olacaktır.

Bu türden bir düzensizlikte birinci dereceden dalga yayılmasını incelemeden önce, (2.38) denklemindeki gelen dalga genliği A_0'a bağlı geri saçılan dalga genliği B_0 'a odaklanmak yerinde olacaktır. Bu tür bir düzensizliğe normal doğrultuda gelen bir dalga için ($\delta\epsilon$ 1. dereceden) (2.27) denklemindeki β terimi şöyledir:

$$\beta \doteq \frac{\delta\epsilon}{2\sigma\sqrt{\pi}} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}} \, . \tag{2.58}$$

Bundan sonra (2.38) denklemindeki geri yansıyan dalga için gelişmiş genlik B_0' değeri ifade edilmek istenirse:

$$B_0' \doteq -A_0' \frac{\delta\epsilon}{2\sigma\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[2ik_0 - \frac{x^2}{\sigma^2}\right] dx \tag{2.59}$$

ya da

$$B_0 \doteq A_0 \frac{(-\delta\epsilon)}{2} e^{-k_0^2\sigma^2} \, . \tag{2.60}$$

şeklinde yazılabilir.

Basamaklı düzensizlik durumundaki sonuçlarla tutarlı olarak, bu ifade şunu göstermektedir: Düzensizlik boyunca derinlikteki değişim tsunami dalga boyuna göre çok kısa bir mesafede gerçekleşiyorsa, geri saçılan dalganın genliği frekanstan (periyottan) bağımsızdır:

$$B_0 \doteq \frac{(-\delta\epsilon)}{2} A_0 \tag{2.61a}$$

$$k_0\sigma \ll 1 \, . \tag{2.61b}$$

Tersi durumda da geri saçılan dalga genliği ihmal edilebilecek kadar küçüktür:

$$B_0 \doteq 0 \tag{2.62a}$$

$$k_0\sigma > 2.5\,. \tag{2.62b}$$

İki durum arasında ise, geri saçılan dalga genliğinin (B_0) değişen dalga sayısına (dolayısıyla dalga frekansına) bağlı olarak hızla değiştiği ($0.2 < k_0\sigma < 2$) gibi bir aralık vardır. Dolayısıyla, saçılma özelliklerinin frekansa bağlı olduğu bir frekans aralığı vardır. Tsunamilerin açık denizde, sığ su dalgası sınırında ortam değişikliğine bağlı saçılma özellikleri göstermedikleri düşünülse de durum böyledir. Her şekilde, tsunamilerin kıyıya yaklaştıkça sergiledikleri kaotik davranışları tanımlamak oldukça güçtür.

Literatürde yer alan tsunami mertebesinde uzun periyotlu dalgalar ile ilgili çalışmalarda, bu dalgaların yukarıda anlatıldığı şekilde lineer dalgalar olarak düşünüldüğü çözüm teknikleri önemli yer tutmaktadır [2,12]. Bu çalışmadaki modeller kurulurken de temel olarak bu yaklaşım kullanılmıştır.

3. YÖNTEM

Yukarıda bahsedildiği üzere bu çalışmada kullanılan modeller kurulurken SeaWorks kullanılmıştır [4-10].

SeaWorks, aslında HR Wallingford Yazılım tarafından geliştirilen 6 adet kıyı ve dalga modelleme modülü (alt yazılımı) içeren bir MS Windows arayüzüdür. Aynı zamanda modüller arası veri transferini ve sonuçların görsel olarak da izlenebilmesini sağlaması açısından bir "ana program" niteliği taşır [4].

Temel olarak "tümevarım" mantığı altında, bilinen ve kullanılmakta olan kıyı hidrodinamiği ve kıyı mühendisliği metod ve kabullerini kullanarak sonlu farklar tekniği ile model kurmada kullanılan SeaWorks, içerdiği JONSEY, OUTRAY, PORTRAY, WENDIS, BEACHPLAN ve COSMOS modülleriyle kıyı ve liman yapılarının tasarımı, kıyı problemlerinin çözümü, kıyı üzerinde geleceğe yönelik tahminler yapılması gibi kıyı mühendisliğinin kapsamına giren hemen hemen bütün çalışmalarda kullanılabilecek bir yazılımdır [4]. İçerdiği modüller kısaca aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

JONSEY modülü, belirli bir bölgede verilen rüzgar şartlarından yola çıkarak orada görülebilecek rüzgar dalgası parametrelerini hesap etmekte kullanmaktadır [5] (Bu çalışmada yer alan modellerin kurulmasında kullanılmamasına rağmen, SeaWorks'ün altında yer aldığı için bahsedilmektedir).

OUTRAY modülü, dalgaların kıyıya yaklaşıp sığ sulara girmesiyle ortaya çıkan dalga sapması olayını modellemede kullanılmaktadır [6].

PORTRAY modülü, belirli bir limanda, ağızdaki dalga şartları kullanılarak liman içindeki çalkantı miktarlarını modellemede kullanılmaktadır [7].

WENDIS modülü, dalganın sığ suda ilerlemesi sırasındaki enerji kaybını tek boyutlu olarak modellemede kullanılmaktadır [8].

BEACHPLAN modülü, kıyı çizgisi değişimini modellemede, mahbuz ve dalgakıran gibi mühendislik yapılarının kıyı çizgisine etkisini tahmin etmede kullanılır [9].

COSMOS modülü, kıyı boyu ve kıyıya dik katı madde taşınımını hesaplamada, kıyı koruma çalıştırmalarını geliştirmede ve fırtına olaylarında kumsalların tepkisini tahmin etmede kullanılır [10].

Programın içerdiği tüm modüllerin daha önce dünyanın çeşitli yerlerindeki birçok projede danışman mühendisler, araştırma laboratuvarları ve hükümet birimleri tarafından başarıyla uygulandığı, ve olumlu sonuçlar alındığı bildirilmektedir. SeaWorks üniversitemizde de kullanılmakta olup, yapılan çalışmalarda daha önceden bilinen (veya başka yöntemlerle hesaplanan) istatistiksel değerlerle oldukça paralellikler gösteren sonuçlar elde edilmiştir.

SeaWorks'ün temelindeki teori ve yöntemlerle modüllerin çalışma prensiplerini incelemek yerinde olacaktır.

3.1. SeaWorks - Jonsey

Bu modül kompleks topografik özelliklere haiz bölgelerde, gelişmekte olan rüzgar durumundaki deniz şartlarında meydana gelen dalga özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. JONSEY dalga özelliklerinin belli bir noktada belirli rüzgar şartları için türetilmesine imkan vermekte ve dalga enerjisinin yönlü dağılımını da hesaplayabilmektedir [5].

Yukarıda bahsedildiği üzere bu çalışmada yer alan modellerin kurulmasında kullanılmamıştır. Fakat çalışmada "karşılaştırma" amacıyla kullanılan dalga verilerinin sağlanmasında kullanılmıştır.

Bu alt program "Birleşik Kuzey Denizi Dalga Projesi (JONSWAP)" kapsamında geliştirilen dalga spektrumuyla birlikte, dalga enerjisinin yönlü yayılımına imkan veren Seymour Metodu'nu kullanmaktadır. Bu sebeple en iyi sonucu feç uzunluklarının sınırlı olduğu bölgelerde vermektedir. Ancak model teorisi üzerinde yapılan adaptasyonlarla açık denizde de gerçeğe oldukça yakın sonuçlar alınabilmektedir [5].

JONSWAP spektrumu aşağıdaki şekilde verilen pik arttırımlı bir Pierson-Moskowitz spektrumudur:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left\{-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^{-4} + e^{\frac{1}{2}\frac{(\omega-\Omega)^2}{(\sigma\Omega)^2}} \ln\gamma\right\} \qquad (3.1)$$

Buradaki S (ω) dalga spektrumu, α yaklaşma açısı, g yerçekimi ivmesi, γ pik arttırma faktörü ve σ ise pik genişliğinin bağıl ölçüsüdür [13].

Rüzgar dalgası oluşumunda yalnızca hakim dalga yönündeki[9] feç mesafesinin değil, dalga oluşma bölgesinin "eninin" de önemli ölçüde etkili olduğu bir gerçektir. Bu sebeple JONSEY'de dalga oluşum bölgesi tekil bir (ya da birkaç) feç mesafesiyle değil, dairesel yönlü feç uzunlukları vasıtası ile tanımlanmaktadır. Rüzgar şartları da rüzgar hızı, fırtına süresi ve yönü olarak girilmektedir. JONSEY'in çıktıları ise belirgin dalga yükseklikleri, pik ve ortalama periyotlar, ortalama dalga yönleri ve enerji spektrumları şeklindedir.

JONSEY'in çıktı dosyaları hem bir sonraki modül olan OUTRAY'in girdi dosyaları olarak kullanılabilmekte, hem de tasarım amaçlı açık deniz dalgası özellikleri elde edilmiş olmaktadır.

3.2. Seaworks - Outray

OUTRAY, derin su dalgalarının (derin su sınırı dalga boyunun yarısının derinliğe eşit olduğu yerdir [1]) sığlaşan suda ilerlemesini modeller ve yakın kıyı noktalarındaki dalga özelliklerini verir. Dalga Sapması olarak adlandırılan fiziksel olgunun sonucunda oluşan sapma durumunu ve sığlaşma etkisini esas alarak çalışan bu modül, dalgaların frekans dağılımını ve sapma sonucu oluşan yeni dalga yönlerini de verir.

OUTRAY'in avantajı şüphesiz ki elle yapılan dalga sapması analizine göre zaman ve emek açısından çok daha ekonomik ve taban batimetrisini tam olarak temsil eden daha kesin sonuçlar vermesidir. Elle yapılan analizlerde istenen her hakim dalga yönü ve periyodu için dalga rotalarını temsil eden ışınları dalga yönüne göre paralel olarak ayrı ayrı çizmek, ve eşderinlik eğrilerini doğrusal (hatta kıyıya) paralel kabul etmek gerekir [1]. Bu şekilde Snell'in kırınım kanununu (2.46) kullanarak her eşderinlik eğrisi için hesap yapılacak devamlı ve kırıksız kırınım çizgileri/ışınları yerine aralıklı ve kırıklı kırınım çizgileri/ışınları istenilen noktaya gelene kadar çizilerek yaklaştırma yapılacaktır (bknz. Şekil 2.2).

[9] Bu çalışmada hakim dalga yönü yalnızca rüzgar dalgalarının hakim yönü olarak değil, kıyının açık denize en az korunaklı yönü anlamında da kullanılmıştır.

Halbuki OUTRAY'in kullandığı geri-izleme[10] metodu ile belirli bir noktadan istenilen yöne, istenilen periyotlu dalga ışınları gönderilerek hangi ışınların hangi açıyla derin su sınır çizgisine ulaştığı ve sapma sonucundaki spektral taşınım fonksiyonları rahatlıkla elde edilebilmektedir.

1970'lerin başında kullanılmaya başlanılan bu metod dalga rotalarının geri çevrilebileceği esasına dayanır. Tek fark Snell Kanunu (2.46) ortam değişikliklerinde (derinlik değişikliklerinde) derinden sığa değil, sığdan derine uygulanacaktır. OUTRAY, istenilen açı aralığında, istenilen periyotlu dalga ışınları göndererek; bu ışınları 10^0 veya 5^0 'lik gruplara ayırır ve yalnızca açık deniz sınırına ulaşan ışınları dikkate alarak diğerlerini ihmal eder [6].

Dalga spektrumuna uygulanan dalga sapması teorisine göre bir ışın boyunca $cc_gS(f,\theta)$ değeri sabittir. Burada c dalga hızını, c_g dalga grup hızını $S(f,\theta)$ 'de frekans (f) ve yön (θ) olarak spektral fonksiyonu ifade eder. Dolayısıyla yakın kıyıdaki bir noktada, uzak kıyıdaki bir noktanın değerleri cinsinden spektral fonksiyon:

$$S_i\,(f,\theta) = c_o\, c_{go}\, S_o\,(f,\theta) / (c_i\, c_{gi}) \qquad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir [6]. Bu spektral fonksiyon sayesinde dalga ışınları elle oluşturulabilenin aksine kırıksız ve devamlı bir yapıdadır.

OUTRAY'de girdi olarak dalga sapması ve sığlaşma analizi yapılacak bölgenin batimetrisi (x, y, z formatında karelaj sistemiyle), gelen dalga periyot aralığı, açık deniz dalgalarının geliş açıları ve özellikleri (ister JONSEY çıktısı olarak, ister Jonswap spektral dağılımı olarak) kullanılmaktadır.

OUTRAY'in tipik uygulama alanları arasında yakın kıyı dalga ikliminin belirlenmesi, dip tarama işlerinin etkileri, sonraki modül olan PORTRAY'de kullanılacak girdi verilerinin belirlenmesi ve yapısal tasarım parametrelerinin (incelenen noktadaki dalga parametrelerinin) türetilmesi sayılabilir.

[10] İng. "Back tracking".

3.3. Seaworks - Portray

PORTRAY, gelen dalga şartlarının girilmesiyle, bir liman ya da marina içindeki dalga özelliklerinin saptanmasında kullanılmaktadır. PORTRAY dalga sapması, sığlaşma, kısmi veya tam yansıma ve dalgaların su yüzeyini yırtan bir yapı etrafında dönmesi etkilerini dikkate alarak hesap yapmaktadır [4,7]. Ayrıca bu modül deniz dibi sürtünmesini ve dalga kırılmasını da amprik bağıntılar yoluyla ifade ederek, hesaplara dahil etmektedir.

OUTRAY'de de kullanılan esnek karelaj sistemi (x, y, z formatı) yoluyla deniz dibi batimetrisi ve liman sınırları PORTRAY'e net ve tam olarak girilebilmektedir. Kurulan liman modelini modifiye etmek kolay olacağı için değişik liman yerleşimlerindeki dalga koşullarını kıyaslamak da oldukça kolaydır. Bu modül, girilen her dalga koşulu için oluşturulan karelaj sisteminin kesişim noktalarındaki dalga yüksekliği, fazı ve yönünü ayrı ayrı verebilmektedir. Bu şekilde programın tek bir çalıştırılışında liman içindeki ve ağzındaki gemi manevralarını etkileyebilecek her koşul ortaya çıkarılmış olmaktadır.

PORTRAY hesaplamaları yürütürken dalga sapması için Snell kanunu (2.46), sığlaşma için dalga sayısı *k*'yı (2.6-2.8), dalga dönmesi için Kıyı Mühendisliği Araştırma Merkezi (CERC) tarafından geliştirilen "dalga dönmesi diagramlarını" [1] kullanmaktadır.

PORTRAY liman yerleşim tasarımlarının karşılaştırılmasında, dalgakıran şekli ve pozisyonunun optimize edilmesinde, yansıyan dalga enerjisinin ters etkilerinin en aza indirilmesinde ve yapısal tasarım parametrelerinin belirlenmesinde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Nitekim Afrika'nın Batı kıyısında kurulan fiziksel bir modelle, aynı bölge için PORTRAY kullanılarak kurulan matematik model çıktıları karşılaştırıldığında sonuçlar arasında tam bir paralellik olduğu bildirilmektedir.

3.4. Seaworks - Wendis

WENDIS tek boyutlu dalga enerjisi dağılımı[11] modülü, normal olarak gelen dalgaların sığlaşan suda ilerlerken uğradıkları enerji kaybını modellemek için geliştirilmiştir [8]. Modül dip profili ve dalga özelliklerini girdi olarak kullanmakta, gelen dalga özelliklerinden yola çıkarak dip sürtünmesi, sığlaşma ve dalga kırılması etkileriyle tek boyutta (kıyı profili boyunca) değişen dalga yüksekliklerini vermektedir.

Sığlaşma WENDIS'te komşu noktalar arasındaki, lineer dalga teorisine göre sığlaşma katsayısının verilmesiyle bulunmaktadır (bknz. bölüm 2.3).

WENDIS ve diğer modüllerde dip sürtünmesinin etkisini modellemek için kullanılan tek boyutlu enerji dağılımı yöntemi Hunt ve Bretschneider ve Reid [8] tarafından yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Bu yönteme göre Manning pürüzlülük katsayısı ya da bununla ilişkili olan Chezzy katsayısı gibi bir sürtünme katsayısı verilmesi gerekmektedir. Program bu sürtünme katsayısı **f**'yi yapılan kalibrasyon testleri sonucunda bulunan 0.01 değeri olarak kullanır. Bu değer deniz tabanı özelliklerine bağlı olduğu ve bu özellikler çalışılan bölgede de bariz olarak değişmediği için çalışma dahilinde de 0.01 alınmıştır. Program bir önceki noktada hesapladığı dalga yüksekliğini iki nokta aarasında bulunan sığlaşma katsayısı ve bu sürtünme katsayısı ölçüsünde azaltarak sonraki noktadaki dalga yüksekliğini tespit eder [8].

WENDIS ve dalga kırılmasını kullanan diğer SeaWorks modüllerinde dalga kırılmasının yol açtığı enerji dışavurumu bütün bölgede en fazla enerji kaybının oluştuğu olgu olarak kabul edilmiştir [4,8,10], olması gereken de zaten budur [1]. Bu olgu Weggel'in kırılma noktasındaki dalga yüksekliğinin derinliğe oranını veren ampirik bağıntısıyla ifade edilmiştir [1,8]:

$$\left(\frac{H}{h}\right)_b = \frac{b}{1+\frac{ah}{gT^2}} \tag{3.2}$$

WENDIS, tek bir dalga frekansının ve yüksekliğinin değerlendirildiği bir hesap yönrtemine sahip olsa da, bulunan değerler dalga serilerinin genellikle çok iyi uyum

[11] İng. "One Dimensional Wave Energy Dissipation"

sağladığı Rayleigh dağılımı boyunca dağıtılarak bütün bir dalga serisi için hesaplama yapılmış olur [1].

Bu yöntem haricinde WENDIS modülü, Goda tarafından kırılma zonunda[12] düzgün bir meyil üzerinde dalga yüksekliklerini hesap etmek üzere geliştirilen bir yöntemle de hesaplama yapmakta, ve bulduğu bu değerleri ayrı olarak değerlendirmektedir.

Goda yönteminde belirgin dalga yüksekliği, derinliğin derin su dalga boyuna oranına göre iki ayrı denklemle aşağıdaki gibi verilmiştir [8]:

$$H_s = K_s H_0 \quad , \quad \frac{h}{L_p} \geq 0.2 \quad \text{iken} \qquad (3.3)$$

$$H_s = \text{Min}\left[(\beta_0 H_0 + \beta_1 h), \beta_{max} H_0, K_s H_0\right] \quad , \quad \frac{h}{L_p} < 0.2 \quad \text{iken} \qquad (3.4)$$

Burada;

H_0 derin su belirgin dalga yüksekliği,

K_s sığlaşma katsayısı,

h su derinliği,

L_0 derin su dalga boyu ($L_0 = gT_p^2 /2\pi$),

g yerçekimi ivmesi,

T_p enerji spektrumunda pik değere tekabül eden dalga periyodu,

$\beta_0 = 0.028\ (h_o /L_0)^{-0.38}\ e^{20\ (\tan\theta)1.5}$,

$\beta_1 = 0.52\ e^{4.2\ \tan\theta,}$

$\beta_{max} = \text{Max}\ [\ 0.92,\ 0.32(h_o /L_0)^{-0.29}\ e^{4.2\ \tan\theta}]$ olarak verilir.

Bu çalışma dahilinde kurulan modellerde ileride de görüleceği gibi Goda yöntemi dalga periyotları uzadıkça tek boyutlu dalga enerjisi dağılımı yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bunun sebebi hiç kuşkusuz Goda yöntemindeki belirgin dalga yüksekliğinin, derinliğin derin su dalga boyuna oranına göre hesaplanmasından kaynaklanmaktadır; zira periyot uzadıkça dalga boyu da uzar [1]. Kaldı ki 40 saniyeden daha uzun periyotlu dalgalar bu modülde kullanılamadığı için bu modül kullanılarak, yalnızca yol gösterici nitelikte bir model kurulabilmiştir.

Bu modül tüm dünyada genel olarak dip sürtünmesinin, sığlaşmanın ve en önemlisi dalga kırılmasının belirgin olduğu bölgelerde kullanılmakta, ve inşaa edilecek bir kıyı yapısının inşaa derinliğinin belirlenmesinde tasarım mühendisine oldukça yardımcı

[12] İng. "Surf Zone"

olmaktadır. WENDIS, belirgin dalga yüksekliğine sahip bir dalganın kırılma derinliğinin ya da dalga katarının kırıldığı şeridin yerinin belirlenmesi açısından da oldukça kullanışlı bir alt programdır.

3.5. Seaworks - Beachplan

BEACHPLAN dalga etkisine maruz kalan kumsallardaki kıyı çizgisi gelişimini tahmin edebilmek için geliştirilmiş bir modüldür [4,9].

Kumsalın başlangıç anındaki kıyı çizgisinin girilmesiyle BEACHPLAN istenilen zaman aralıkları için kumsalı istenen sayıda parçalara ayırarak her parçanın değişimini analiz eder. Her bir parça için değişik fiziksel parametrelerin de veri olarak modüle girilmesi gerekir. Bunlar katı madde özellikleri, kıyı eğimi, tırmanma yüksekliği gibi parametrelerdir. Bu arada kıyı kontrol yapıları da kumsaldaki yerleri ve özellikleriyle girilerek zamana bağlı olarak değişmiyor kabul edilir.

Dalga koşulları derinliği bilinen bir açık deniz noktası için programa girilir, ve BEACHPLAN bu dalgaları kırılma derinliğine taşıyarak kırılmadan dolayı oluşan katı madde taşınımını hesaplar. Bu işlem sırasında WENDIS'teki gibi lineer dalga teorisine dayanan bir iterasyon yöntemi uygulanır. Her parçaya giren ve çıkan madde bu şekilde belirlendikten sonra ±0.00 eşyükselti eğrisinin yeni yeri belirlenir. Bunun için program basit bir stabilite analizi yaparak gene iterasyonla denge durumundaki kıyı çizgisi konumunu belirler. Başka bir değişle taşınım halindeki katı madde "bütçesini" hesap ederek bu bütçeye eklenen veya bütçeden çıkartılan katı madde miktarının kaydını tutar [9].

Programda kullanılan kıyı boyu katı madde debisi denklemleri Kıyı Mühendisliği Araştırma Merkezi (CERC) tarafından geliştirilen yarı ampirik bir teoriye dayanır [9]. Bu aşağıdaki şekilde bir denklemdir:

$$Q_p = 0.5\, RK_1\, E\, C_g \sin(2\theta) \qquad (3.5)$$

Burada;

Q_p pik dalga taban yörüngesel debisi,

RK_1 zaman ölçeği katsayısı,

E enerji yoğunluğu (= $\rho g H_b^2$),

C_g dalga grup hızı,

θ ise dalganın yaklaşma doğrultusunun kıyı normaliyle yaptığı açıdır.

Bu denklem sonucunda bulunan taşınım değerleri elbetteki potansiyel denklemlerdir. Eğer katı madde azalırsa ya da biterse taşınım da azalacak ya da duracaktır.

Deprem dalgaları özellikle kıyıya dik katı madde taşınımlarına ve yer değişimlerine yol açarlar. Dolayısıyla da kıyıya dik katı madde taşınımıyla önem kazanırlar [2]. Bu açıdan değerlendirildiğinde, BEACHPLAN kullanılarak oluşturulan modellerde kıyı çizgisinde elde edilen bağıl değişimler yalnızca rüzgar dalgalarının yol açtığı benzer değişimlerin "katlanmışı" şeklinde gelişmektedir. Bu sebeple bu modül kullanılarak elde edilen sonuçlar da özellikli veriler içermemektedir.

3.6. Seaworks - Cosmos

COSMOS iki boyutlu yakın kıyı hidrodinamiği, katı madde taşınımı ve deniz tabanı oluşumu (morfodinamik) modellemesinde kullanılan bir alt programdır [4, 10]. Aşağıdaki hesaplamaları yürütür [9]:

a) Dalga sapması (derinlik değişimi ve akıntılarla), sığlaşma, dip sürtünmesi ve dalga kırılması olayları gözönünde bulundurularak açıktan kıyıya doğru dalga taşınımı.

b) Dalga yayılma gerilimi değişimiyle belirlenen dalga düzeni.

c) Dalga enerjisi dağılımının uzaysal değişiminden doğrudan elde edilen, kıyı boyu dalga kaynaklı akıntıları yaratan kuvvetler.

d) Basınç kaynaklı gel-git kuvvetleriyle oluşan kıyı boyu akıntılar ve dalga kaynaklı kuvvetler ile, bu iki tip akıntı arasındaki etkileşim.

e) Kıyıya dik akıntıların dikey dağılımının üç katmanlı bir modeli kullanılarak hesaplanan kıyıya dik taşınım yaratmayan akıntılar[13].

f) Geçiş bölgesi etkileri (geçiş bölgesi dalganın kırılmaya başladığı yerle türbülansın tam geliştiği yer arasında kalan bölgedir [1]).

g) Enerji orijinli[14] yaklaşım kullanılarak hesaplanan kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde hareketi.

[13] İng. "Undertow Currents".
[14] İng. "Energetic"

h) Lax-Wendroff şeması kullanılarak hesaplanan, kıyıya dik katı madde taşınımı kaynaklı deniz tabanı yüksekliği değişimleri.

i) Kumlu bir kaplama tabakasının oluşturduğu aşınma etkisine göre oluşturulmuş bir kohesif profilin çizimi.

Modül tek bir dalga ve gel-git şartı için ya da belirli zaman aralıklarındaki uzun bir dizi dalga ve gel-git şartları için çalıştırılabilmektedir.

COSMOS'un birçok çalıştırma seçeneği vardır. En basiti sabit bir deniz tabanı üzerinde dalga yükseklikleri ve akışkan hızlarının hesaplandığı bir hidrodinamik modeldir. Açık deniz noktasındaki dalga yükseklikleri, periyotlar ve yönler dizisiyle, bu noktadan kıyıya kadar olan taban profili verilmekte; ve her bir dalganın istenilen bir su seviyesi için (ya da gel-git akıntıları ve gel-git kuvvetleri hesaplanarak) bu profil boyunca davranışı analiz edilmektedir.

Bundan sonra modele katı madde eklenerek, katı madde taşınım oranları hesaplanabilmektedir (kıyıya dik, kıyı boyu ya da her ikisi de). Eğer kıyıya dik oranlar hesaplanmışsa, bunlar deniz tabanının son durumunu elde etmek için kullanılabilmekte ve bir dizi hidrodinamik koşulun morfoloji üzerindeki etkisi görülebilmektedir. Kum kaynağının taban altında yer alabilecek bir kaplama/silt veya kohesif bir tabakayla sınırlanması da göz önüne alınabilmekte, ve gerektiğinde yükseltiler kum aşınması dolayısıyla oluşacak kohesif alt tabaka erozyonuna göre ayarlanabilmektedir.

Modelin esas aldığı kıyı boyu üniformluk kabulüne göre kıyı boyu katı madde taşınım oranları kıyı profili değişimine yol açmamaktadır. Gene de modül istendiğinde yalnızca kıyı boyu katı madde taşınımının hesaplanarak sonuçların ortalama bir katı madde taşınım oranı elde etmek için istatistiksel olarak birleştirildiği "istatistiksel kıyı boyu" durumunda çalıştırılabilmektedir.

COSMOS, SeaWorks paketinin içerdiği en gelişmiş modüldür; Outray, Portray, Wendis ve Beachplan modüllerinin dayandığı prensiplerin hemen hepsini temel almıştır. Bunların yanında dalga ve gel-git akıntılarının süperpoze etkilerini de hesaplamalara dahil edebilmektedir [10,14].

Bu sebepledir ki COSMOS kullanılarak kurulan modeller bu çalışmanın "çekirdeğini" oluşturmakta ve asıl can alıcı sonuçları veren kaynaklar olmaktadır [15].

COSMOS modülü kıyı koruma yapıları, limanlar, deniz deşarjları gibi kıyı yapılarının tasarımında ve katı madde birikimi ya da oyulma riski karşısında tasarım ömürlerinin tayininde kullanılabileceği gibi, kumsallar, akarsu ağızları, lagünler, ıslak alanlar gibi doğal oluşumların zaman içindeki değişimlerini tahmin etmekte de kullanılabilmektedir [4, 10, 15].

4. KURULAN MATEMATİK MODELLER

SeaWorks tüm dünyada birçok kıyı mühendisliği uygulamasında matematik model oluşturmak için kullanılmakta, ve esas aldığı kabuller ve teoriler doğrultusunda oldukça başarılı ve tasarım amacıyla kullanılabilecek sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu yüksek lisans tezi dahilinde yürütülen çalışmalarda da teorilerle tutarlı, daha önce ölçülen ya da hesaplanan değerlerle paralellik içeren (ya da çelişmeyen) sonuçlar elde edilmiştir.

4.1. Tuzla Bölgesi Rüzgar Dalgası Tahminleri

Daha önce de belirtildiği gibi rüzgar dalgaları ya da rüzgar verilerinden dalga iklimi tesbiti bu yüksek lisans tezinin temel konusu değildir. Ancak rüzgar dalgaları, uzun periyotlu dalgaların davranışlarıyla karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Bu amaçla kullanılan rüzgar dalgası özelliklerinin tesbitinde Marmara Denizi Kuzey kıyılarının bilinen dalga özelliklerinin yanı sıra SeaWorks'ün içerdiği, rüzgar verilerinden dalga özelliklerini tahmin etmek için kullanılan JONSEY modülü de kullanılmıştır.

Bu modül kullanılarak Tuzla bölgesi dalga özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda tasarım amaçlı açık deniz düzensiz rüzgar dalgası özelliklerine ilişkin veriler elde edilmiş, ve bu verilerin bilinen dalga yükseklikleri ve periyotlarıyla paralellik içinde oldukları görülmüştür.

Bu modelde doğrudan haritadan ölçülen feç değerleri ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Atatürk Hava Limanı Rasat İstasyonu rüzgar kayıtları kullanılmıştır (Tablo 4.1 ve Tablo4.2).

Tablo 4.1 Rüzgar dalgası tahmin modelinde kullanılan yönlü feç uzunlukları.

Kuzey'den İtibaren Saat Yönünde Yönler (^{o})	Feç Uzunlukları (km)	Kuzey'den İtibaren Saat Yönünde Yönler (^{o})	Feç Uzunlukları (km)
0^o	5.4	180^o	15.6
10^o	5.4	190^o	18.0
20^o	0.0	200^o	18.3
30^o	0.0	210^o	21.0
40^o	0.0	220^o	24.6
50^o	0.0	230^o	30.0
60^o	0.0	240^o	95.7
70^o	0.0	250^o	109.5
80^o	0.0	260^o	204.0
90^o	7.2	270^o	154.4
100^o	8.1	280^o	111.0
110^o	8.4	290^o	51.3
120^o	9.0	300^o	37.2
130^o	19.9	310^o	33.6
140^o	15.9	320^o	4.7
150^o	16.5	330^o	9.9
160^o	16.5	340^o	8.3
170^o	16.8	350^o	7.8

Bu değerlerden yola çıkarak 20 m/s hızda ve 24 saat süreli bir rüzgar serisinin (Kuzey'den itibaren saat yönünde) 60^o ila 320^o aralığında her "5^o'de bir" etkiyerek oluşturduğu düzensiz dalgaların özellikleri belirlenmiştir.

Burada 24 saat kadar uzun bir rüzgar süresi seçilmesinin sebebi feç limitli gelişmekte olan deniz durumunu yakalayabilmek içindir. Zira kıyı yapılarının tasarımında kullanılabilecek en kritik değer budur [1].

Tablo 4.2 Kuzey Marmara bölgesinde rüzgarların yıllık maksimum hızları.

Yıl	225°-250° U(m/s)	180°-220° U(m/s)	Yıl	225°-250° U(m/s)	180°-220° U(m/s)
1973	10.0	11.0	1982	10.5	7.5
1974	12.5	8.0	1983	17.5	12.5
1975	10.0	15.0	1984	10.0	12.5
1976	15.0	17.5	1985	9.0	12.5
1977	9.0	10.0	1986	10.5	13.5
1978	16.5	15.0	1987	12.0	11.0
1979	14.0	11.0	1988	14.0	14.0
1980	17.5	12.5	1989	13.5	7.5
1981	15.0	12.5			

Rüzgar etkime yönünün bu kadar geniş bir spektrumda seçilmesi de JONSEY'in Tuzla açığında yapacağı düzensiz rüzgar dalgası analizinde her ihtimali gözden geçirmesini sağlamaktır. Zaten JONSEY .ftc uzantısıyla girilen dairesel feç mesafelerini kullanarak her yöndeki etkili feç mesafesini hesaplayabilmektedir, dolayısıyla yön aralığı ne kadar geniş tutulursa tutulsun hakim dalga yönü ve özelliklerini değiştirmeyecektir; fakat bütün ihtimaller göz önünde tutulabilecektir

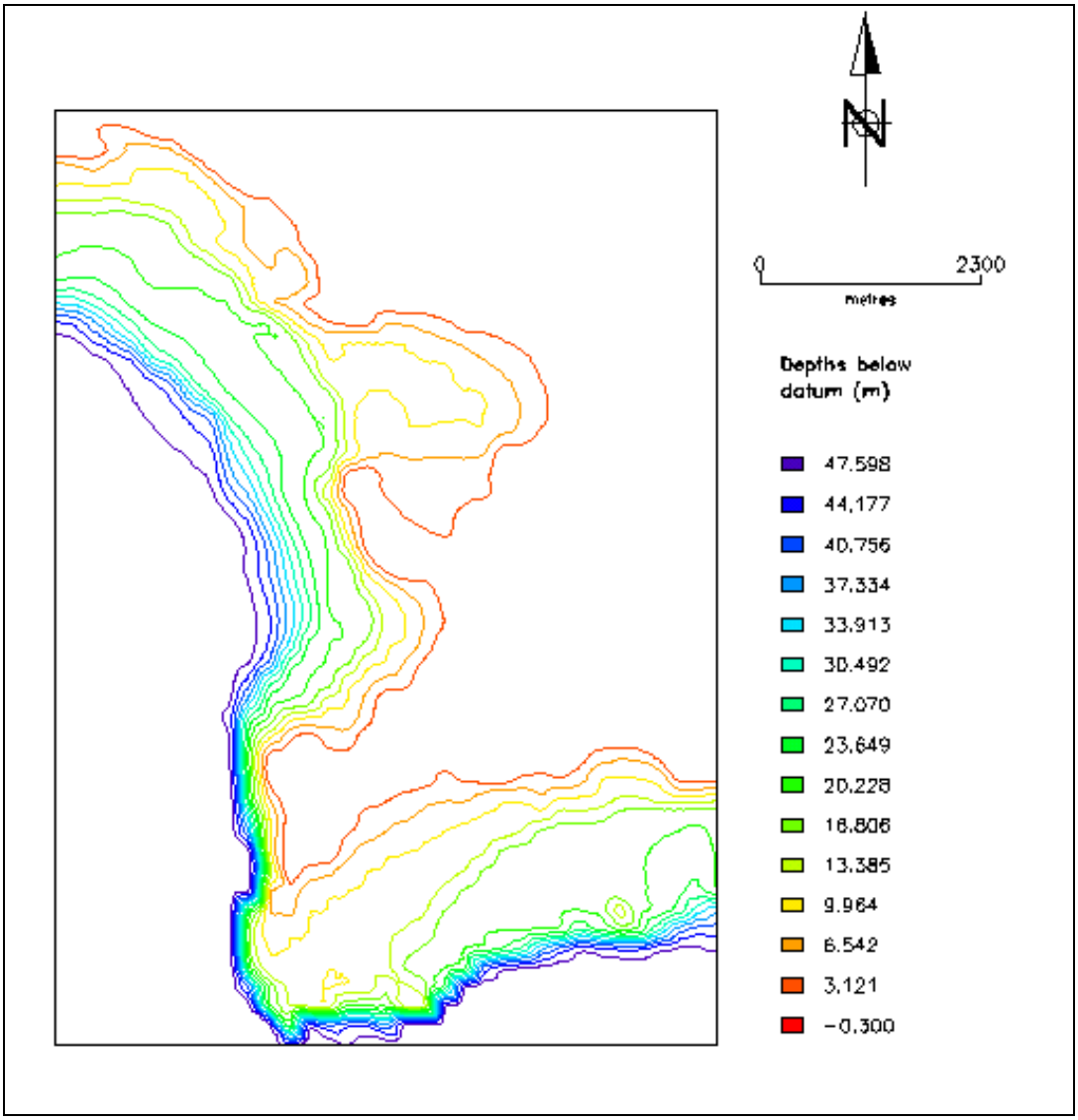
Bu verilerle kurulan model ile elde edilen sonuçlarda, hakim dalga yönü 260° (Kuzey'den saat yönünde) ve yapı tasarımlarında kullanılacak açık deniz dalga yüksekliği 3.24 m ve periyodu da 5.83 saniye (pik periyot 8.71 saniye) olarak bulunmuştur.

4.2. Tuzla Bölgesi Dalga Sapması Modeli

OUTRAY modülü kullanılarak oluşturulan modelle, Tuzla bölgesinde deniz tabanı batimetrisi ve sığlaşma etkisiyle 4.1 bölümünde anlatılan biçimde elde edilen hakim dalga yönünden (W-WSW) gelen değişik periyotlu açık deniz dalgalarının sapma diagramları ve spektral fonksiyonları elde edilmiş; ve hem sapma diagramlarının elle oluşturulabilecek diagramlarla benzeştiği, hem de spektral fonksiyonlarla yakın

kıyıya taşınan dalgaların yüksekliklerinin bölgede görülen/ölçülen dalga yüksekliklerileyle mertebe olarak oldukça uyuştuğu tesbit edilmiştir (Ek A).

Programda, Tuzla bölgesinin batimetrisi "Surfer" adlı bir topografya yazılımı vasıtası ile SeaWorks'e göre düzenlenerek kullanılmıştır (Şekil 4.1). Bu batimetride, 1 ila 20 saniye arasında 1'er saniye artarak devam eden periyotlara sahip bir dalga dizesi için Tuzla limanı ağzında derinliği 2.5 m olan bir noktadan geri-izleme (back-tracking) yöntemiyle dalga sapma diagramı (refrection diagram) ve her periyota ve yöne ait spektral fonksiyonlar elde edilmiştir (Ek A).

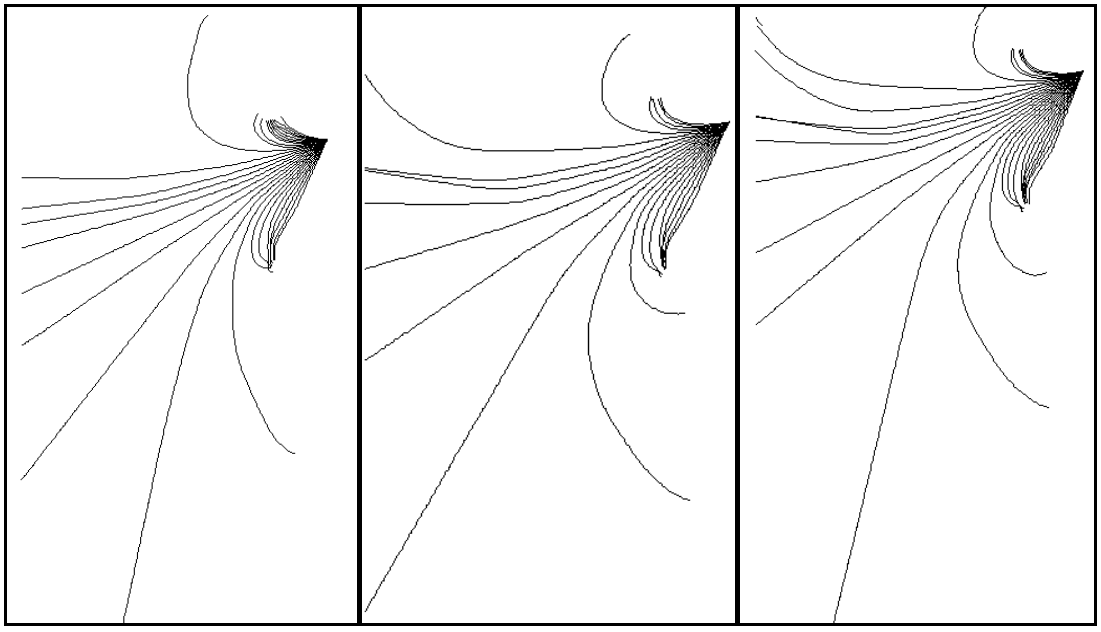


Şekil 4.1 Tuzla bölgesi batimetrisi (Outray ve Portray'e girildiği şekliyle).

Daha sonra modelin işlem sonrası[15] seçeneği çalıştırılarak, JONSEY'de tesbit edilen açık deniz dalga özellikleri sapma analizi yapılan noktaya taşınmış ve yakın kıyıdaki dalga özellikleri de tasarım amaçlı kullanılabilecek kesinlikte elde edilmiştir. Bu işlem sözkonusu 262^{o}'den gelen 3.24 m yüksekliğinde ve 6.65 saniye periyotlu dalganın sapma sonucunda liman ağzına 237^{o}'den yaklaştığı, yüksekliğinin de 2.04 m'ye indiği ve "0'ı kesme periyodunun" da 6.54 saniye olduğu görülmüştür.

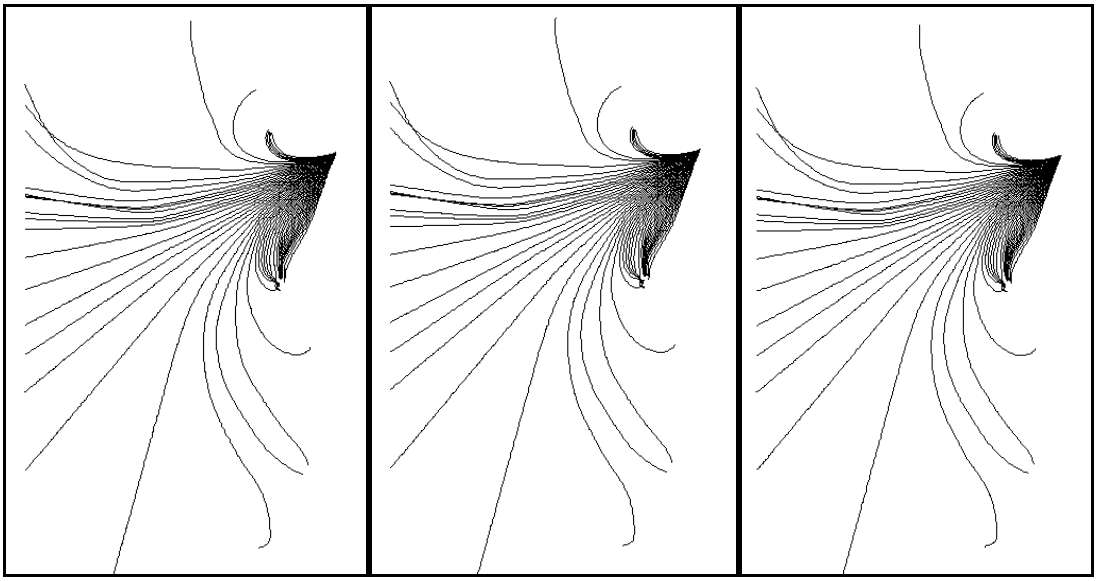
Bu şekilde bölgedeki belirgin dalga özelliğine sahip bir dalganın sapma sonucu davranışı tesbit edildikten sonra, Tuzla yakınlarında dalga periyodu uzadıkça dalga sapmalarındaki değişimi gözlemlemek amacıyla, kurulan model kullanılarak tekil olarak "10 saniye, 30 saniye ve 5 dakika" gibi uzun periyotlu dalgalar ile; "0.5 saat, 1 saat ve 1.5 saatlik" deprem dalgaları için de dalga sapma diagramları elde edilmiştir.

Saat mertebesindeki dalgaların sapma diagramları arasında gözle görülür bir fark yoktur (Şekil 4.3). Bu olay, dalgaların sapmaya başlama derinliğinin diagramdaki derinlikten çok daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca biri 2, 3,..,10 dakikalık, diğeri ise 0.5, 1 ve 1.5 saatlik olmak üzere iki ayrı dalga serisi için de sapma diagramları elde edilmiştir (Şekil 4.2 - 4.4).

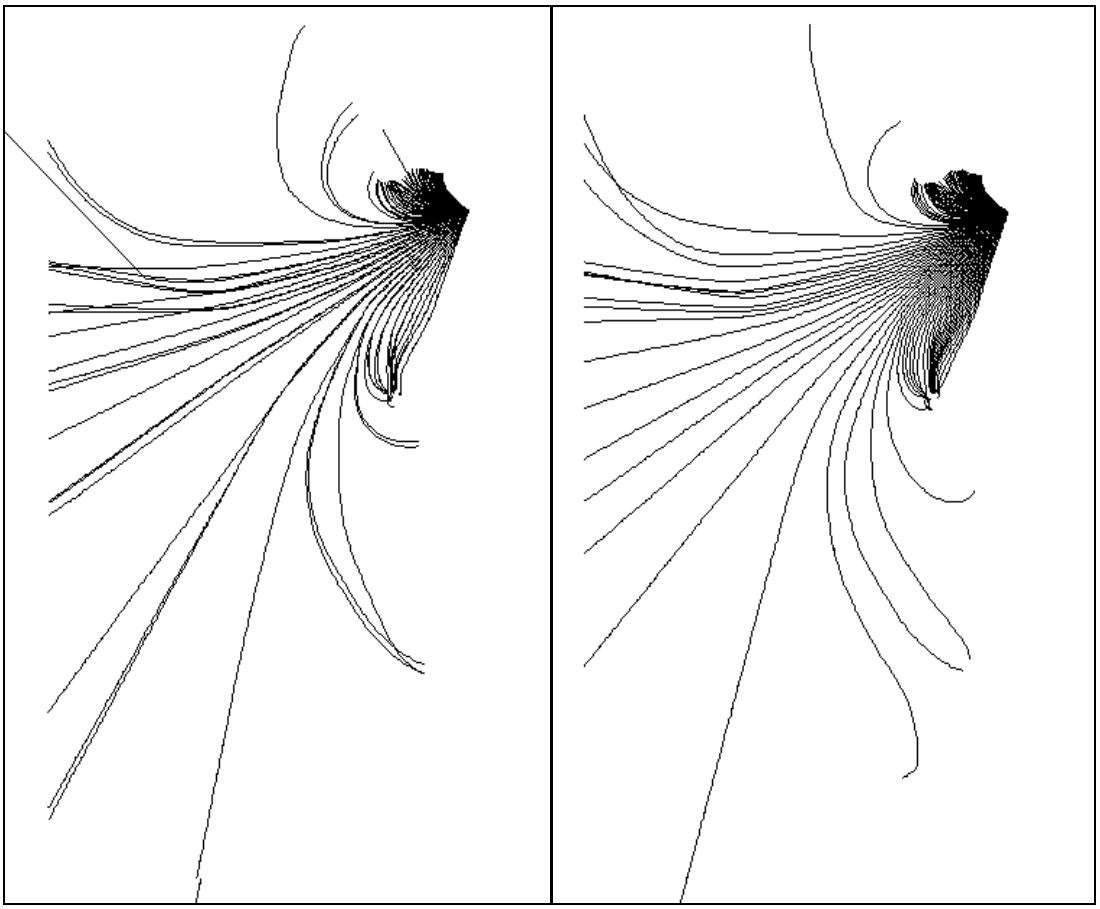


Şekil 4.2 Sırasıyla 10 saniye, 30 saniye ve 5 dakika periyotlu dalgaların 255^{o}-270^{o} sapma diagramları.

[15] İng. "Post-Process"



Şekil 4.3 Sırasıyla 0.5 saat, 1 saat ve 1.5 saat periyotlu dalgaların 255^o-270^o sapma diagramları

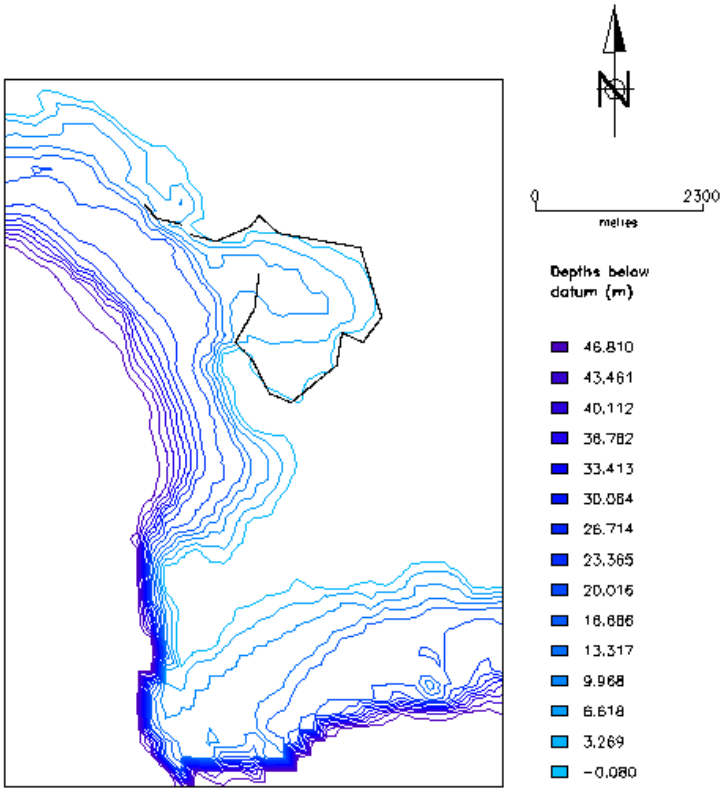


Şekil 4.4 Sırasıyla 10 saniye, 30 saniye ve 5 dakika periyotlu dalgaların 200^o-300^o kombine sapma diagramları ile 0.5 saat, 1 saat ve 1.5 saatlik dalgaların 200^o-300^o kombine sapma diagramları.

Modülün işlem sonrası seçenekleri arasında yer alan çoklu spektrum[16] seçeneği ile, JONSEY'de bulunanlardan farklı, başka açık deniz dalga özellikleri de yakın kıyıya taşınabilmektedir. Ancak Post-Process modunda kullanılabilecek dalga periyodu üst limiti 30 saniye olduğu için bu deprem dalgalarının (tsunami) sapmadan sonraki yakın kıyı değerleri elde edilememiştir. Dolayısıyla bu modül kullanılarak kurulan modelin uzun periyotlu dalgaları analiz etmede kullanılması sapma diagramları ile sınırlıdır.

4.3. Tuzla Limanı Dalga Dönmesi Modeli

Bu model PORTRAY modülü kullanılarak hazırlanmıştır ve uzun periyotlu dalgaların Tuzla limanı ana dalgakıranı üzerinde maruz kaldığı dalga dönmesi etkisini incelemek için oluşturulmuştur. Esas aldığı yöntemler itibariyle bir önceki modele benzeyen bu model oluşturulurken de, karelajla dijital hale getirilmiş batimetri kullanılmış, ayrıca limanın ve dalgakıranın konumu ve boyutları, sınır yüzeyleri yansıma katsayıları ve yansıma fazları ile model oluşturulmuştur (Şekil 4.5).



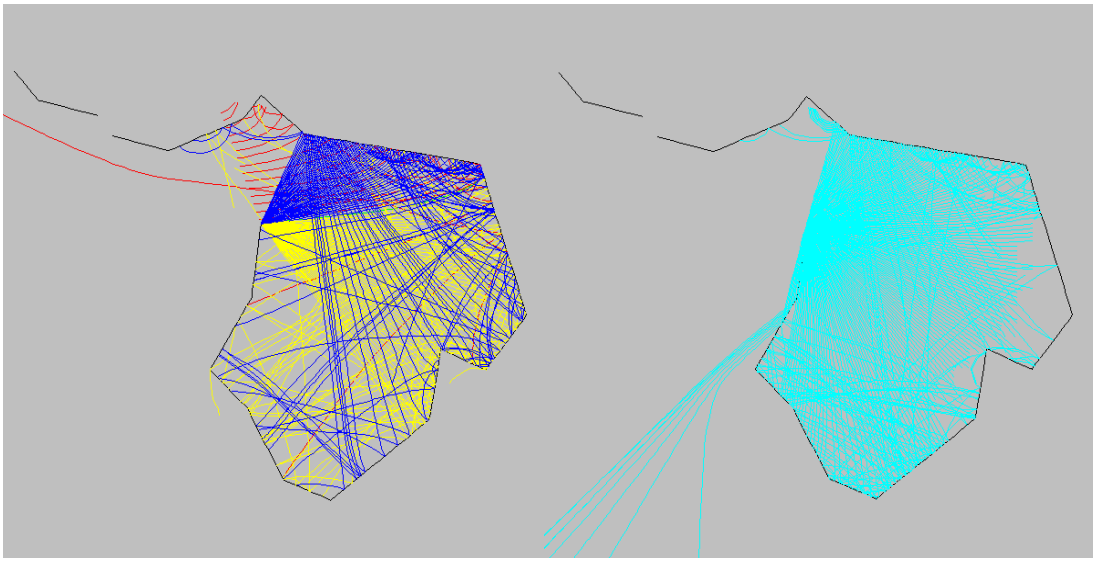
Şekil 4.5 Tuzla limanı batimetrisi ve dalgakıran konumu (modele veri olarak girildiği şekliyle).

[16] İng. "Multiple Spectrum (Mult_sp)"

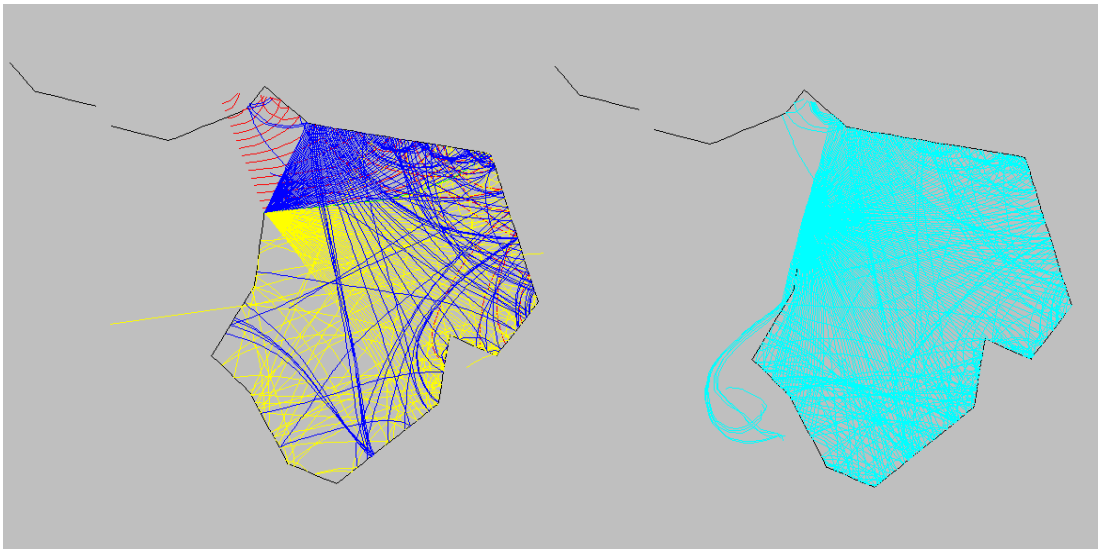
OUTRAY'den elde edilen sapmaya uğramış dalga özellikleri (H=2.7 m, T=4.65 saniye, SW), ayrıca 2.7 m ve 20 s'lik uzun periyotlu bir dalga ile 0.5 m ve 1 saatlik bir deprem dalgası veri olarak kullanılmıştır.

Girilen sınır koşullarından dalgaların yansıma katsayısı ve fazı sırasıyla 1.00 ve 0.01 alınmıştır. Bu şekilde liman ağzındaki çalkantının tesbitinde en kritik durum olan "dalgaların yansıması ve rezonansa geçmesi" durumu gözönüne alınmış olmaktadır.

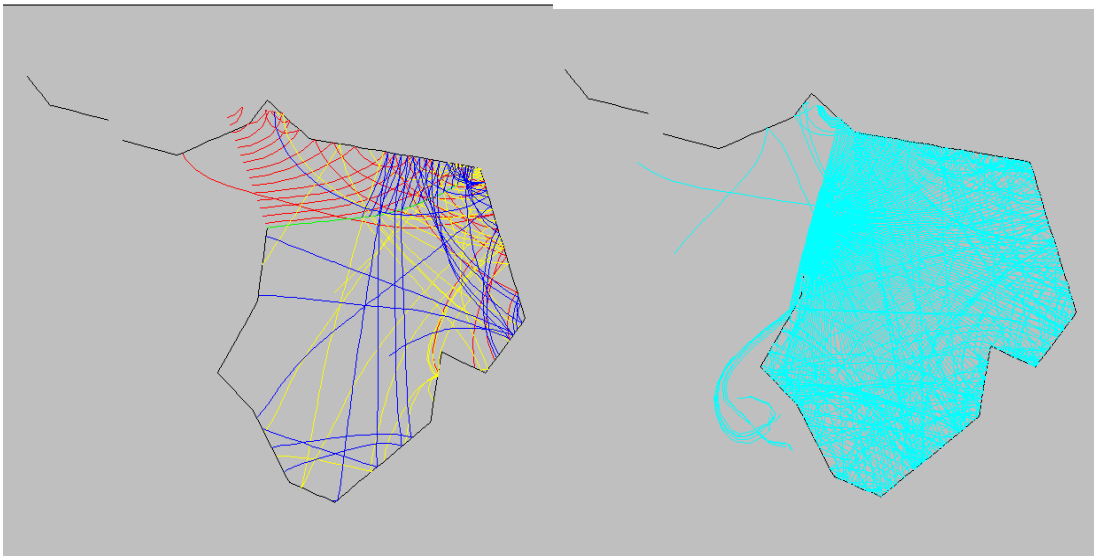
Sonuç olarak model liman içi sapma diagramını vermiş (Şekil 4.6-4.8), ve verilen batimetrideki hassasiyet aralığına eşit aralıktaki her noktada dalga dönmesi ve yansıması sonucu oluşan çalkantıyı hesaplamıştır (Tablo 4.3). Bu modelde kullanılan batimetri hassasiyeti 100m x 100m'dir; dolayısıyla 100m x 100m karelajındaki (grid) her nokta için maksimum dalga yüksekliği (H_{max}) hesaplanarak çıktı dosyasına yazdırılmıştır (Ek A).



Şekil 4.6 2.7 m ve 4.65 saniyelik bir dalganın dalgakıran etkisiyle dönerek liman içinde yayılmasını gösteren diagramlar. Burada kırmızı ışınlar gelen dalga yönündeki dalgaların ışınlar, yeşil ışın dalgakıran koruma sınırı, mavi ışınlar korunmamış bölgeye dönen ışınları (unsheltered U), sarı ışınlar korunmuş bölgeye dönen ışınları (sheltered U), açık mavi ışınlar dalgakıranın ucundan direkt olarak yayılan ışınları (V) göstermektedir.



Şekil 4.7 2.7 m ve 20 saniyelik bir dalganın dalgakıran etkisiyle dönerek liman içinde yayılmasını gösteren diagramlar. Burada kırmızı ışınlar gelen dalga yönündeki dalgaların ışınlar, yeşil ışın dalgakıran koruma sınırı, mavi ışınlar korunmamış bölgeye dönen ışınları (unsheltered U), sarı ışınlar korunmuş bölgeye dönen ışınları (sheltered U), açık mavi ışınlar dalgakıranın ucundan direkt olarak yayılan ışınları (V) göstermektedir.



Şekil 4.8 0.5 m ve 1 saatlik bir dalganın dalgakıran etkisiyle dönerek liman içinde yayılmasını gösteren diagramlar. Burada kırmızı ışınlar gelen dalga yönündeki dalgaların ışınlar, yeşil ışın dalgakıran koruma sınırı, mavi ışınlar korunmamış bölgeye dönen ışınları (unsheltered U), sarı ışınlar korunmuş bölgeye dönen ışınları (sheltered U), açık mavi ışınlar dalgakıranın ucundan direkt olarak yayılan ışınları (V) göstermektedir.

Bu değerlerin en yükseği de liman ağzına yakın noktalarda tesbit edilmiştir. Maksimum değerler 2.7 m-4.65 s'lik dalga için 3.06 m, 2.7 m-20 s'lik dalga için 2.9 m, ve 0.5 m-1 saat'lik dalga için de 0.79 m'dir. Maksimum çalkantı değerlerinin büyüklüğü müteakkip defalar yansıyarak rezonansla yüksekliği artan dalgaların girişiminden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.3 Dalga dönmesi modeli sonucunda elde edilen liman içi çalkantı değerlerinin tablo şeklinde gösterimi. Sarıya boyalı hücreler liman içine tekabül eden değerleri göstermektedir. Koordinatlar arası, kurulan karelaj sistemine göre 100'er metredir. Pozitif *x* ekseni sola doğru, pozitif *y* ekseni yukarı doğrudur.

Koordinat	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
77	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0,48	0,54	0,7	1,19	1,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0,14	0	0	0,39	0,41	0,34	0,78	1,65	2,06	1,96	2,02	2,2	2,11	1,98	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0,14	0,18	0,18	0,27	0,41	0,36	1,33	2,63	2,58	2,32	2,31	2,13	2,08	2,55	2	2,14	2,22	1,89	1,65	1,1	0,71	0	0	0	0
73	0,36	0,35	0,36	0,37	0,51	0,47	0,72	2,77	2,63	2,79	2,63	2,5	2,31	2,75	2,88	2,39	1,98	1,72	1,43	1,31	1,12	0	0	0	0
72	0,09	0,11	0,16	0,43	0,51	0,55	0,65	1,94	2,79	2,6	3,06	2,77	2,34	1,97	1,68	1,7	1,6	1,39	1,29	1,25	1,04	1,01	0	0	0
71	0,09	0,37	0,41	0,27	0,55	0,72	0,17	0	1,17	1,44	1,32	1,21	1,11	1,01	0,9	0,87	0,8	1,02	1,2	1,24	1,36	1,1	0	0	0
70	0,42	0,23	0,34	0,46	0,69	0,31	0,1	0	0,22	0,42	0,45	0,48	0,48	0,48	0,49	0,54	0,55	0,57	0,66	0,72	0,79	1,07	0	0	0
69	0,12	0,38	0,4	0,67	0,06	0,28	0,22	0	0,22	0,24	0,29	0,34	0,38	0,41	0,51	0,49	0,52	0,57	0,51	0,68	0,65	0,76	0,73	0	0
68	0,44	0,35	0,67	0,14	0,09	0,22	0,26	0	0,3	0,33	0,35	0,36	0,4	0,44	0,41	0,51	0,5	0,43	0,68	0,53	0,64	0,52	0,66	0	0
67	0,27	0,67	0,2	0,08	0	0,22	0,19	0	0,26	0,35	0,35	0,35	0,35	0,46	0,49	0,42	0,44	0,66	0,45	0,56	0,4	0,49	0,6	0	0
66	0,67	0,26	0,07	0	0,01	0,22	0	0	0,36	0,27	0,3	0,44	0,5	0,43	0,36	0,45	0,59	0,39	0,53	0,33	0,38	0,58	0,39	0	0
65	0,3	0,06	0,01	0	0,01	0,22	0	0,18	0,25	0,43	0,49	0,46	0,36	0,32	0,49	0,52	0,35	0,53	0,26	0,36	0,35	0,56	0,26	0,38	0
64	0,05	0,01	0	0	0,05	0	0	0,38	0,48	0,44	0,4	0,31	0,3	0,52	0,45	0,29	0,54	0,2	0,27	0,36	0,39	0,49	0,25	0	0
63	0,01	0	0	0,06	0,06	0	0,44	0,46	0,36	0,3	0,28	0,26	0,54	0,39	0,23	0,56	0,19	0,18	0,26	0	0,42	0,43	0	0	0
62	0	0,01	0,07	0,05	0	0	0,41	0,33	0,28	0,23	0,2	0,51	0,36	0,2	0,54	0,21	0,2	0,16	0	0	0	0	0	0	0
61	0,01	0,07	0,05	0,01	0	0	0,27	0,29	0,23	0,2	0,49	0,31	0,17	0,48	0,32	0,21	0,21	0,21	0	0	0,02	0	0,02	0	0
60	0,06	0,05	0,02	0	0,05	0	0	0,27	0,21	0,45	0,38	0,22	0,39	0,41	0,23	0,21	0,18	0,2	0	0	0	0	0	0	0
59	0,04	0,03	0,01	0	0,03	0,01	0	0	0,39	0,45	0,22	0,26	0,49	0,18	0,17	0,2	0,19	0,19	0	0	0	0	0	0	0
58	0,03	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0,49	0,2	0,19	0,5	0,21	0,18	0,17	0,15	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,42	0,32	0,18	0,18	0,16	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0,31	0,41	0,16	0,17	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,14	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gerçekte 1 saat periyotlu bir deprem dalgası için dalga yüksekliğinin 0.5 m'den 0.79 m'ye yükselmesi, deprem dalgalarının tabiatıyla ve tarihte ölçülen deprem dalgalarından elde edilen değerlerle benzeşmemektedir. Zira bu değerin çok daha yüksek olması beklenirdi. Bu fark da PORTRAY modülünün OUTRAY gibi 30 saniyeden daha uzun periyotlu dalgalar için çalkantı değerlerini hesaplayamamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu model de bir önceki gibi uzun periyotlu dalgaların yalnızca dönme diagramlarını ifade etmesi bakımından önemlidir. Bu şekilde rüzgar dalgalarının maruz kaldığı dönme etkileriyle ve uzun periyotlu dalgaların maruz kaldığı dönme etkileri kıyaslanabilir.

4.4. Tek Boyutlu Dalga Enerjisi Dağılımı Modeli

Tuzla bölgesi için daha önce OUTRAY modülü kullanılarak kurulan model, dalga sapması ve sığlaşma etkisiyle değişen dalga özelliklerini incelemek için kullanılmıştı. Bu model ise sığlaşmanın ve dip sürtünmesi ve dalga dikliğinin artmasıyla meydana gelen dalga kırılması olayının dalga yüksekliğine etkilerini incelemek için WENDIS modülü kullanılarak kurulmuştur.

Model, Tuzla bölgesi için hakim dalga yönünden (236^o) liman ağzına çizilen derinlik profili kullanılarak çeşitli yükseklik ve periyotlardaki dalgalar için çalıştırılmış ve dalga yüksekliklerinin profil boyunca değişimi izlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda, Munk tarafından önerilen ağırlık dalgalarının kırılma derinliği ve kırılma dikliği ile ilgili aşağıdaki bağıntıların sağlandığı görülmüştür [1]:

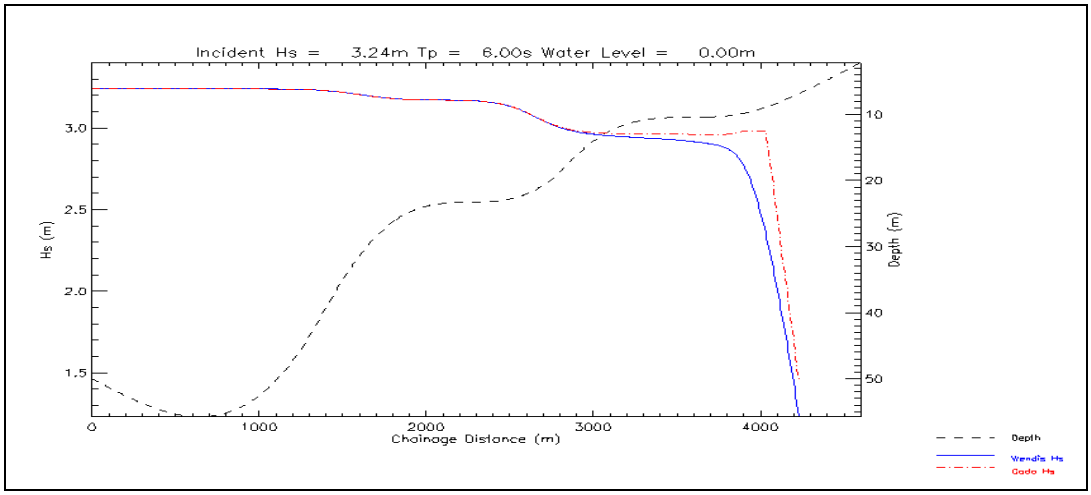
$$H / L = 1/7 \approx 0.142 \tag{4.1}$$

$$d_b / H_b = 1.28 \tag{4.2}$$

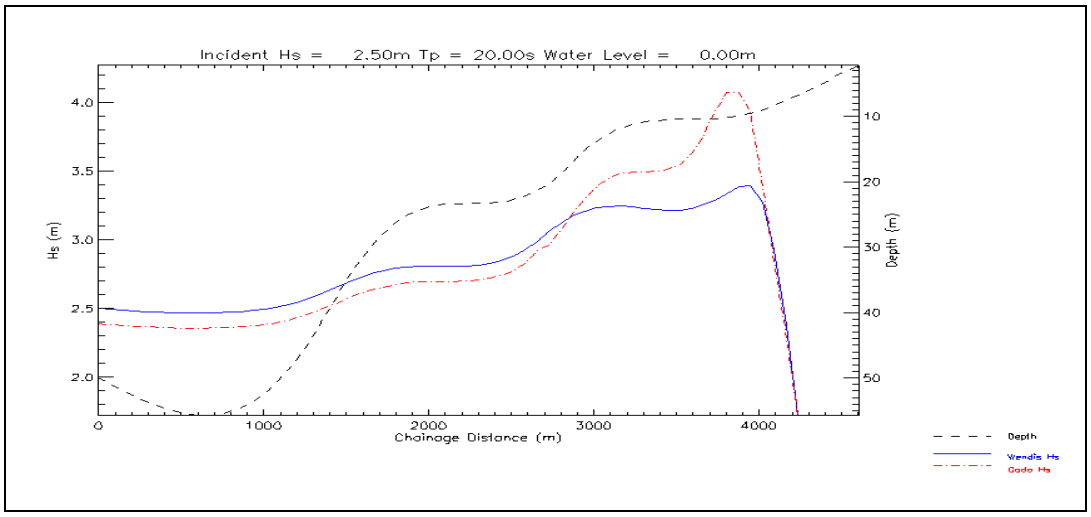
Kırılma bölgesinde dalga davranışlarının farkedilir ölçüde değiştiği gözlenmiştir. Dalga periyodu uzadıkça dalga dikliği azaldığı için, uzun periyotlu dalgalarda kırılma yüksekliği çok daha fazladır. Derin su dalga boyunun (L_0) periyodun karesiyle orantılı olduğu düşünülürse [1,5], kırılma derinliği de neredeyse periyodun karesiyle orantılı olarak artacaktır.

Bölüm 3.4'te belirtildiği gibi dalga periyotları uzadıkça modülün Goda yöntemi kullanılarak yürüttüğü hesaplamalar daha iyi sonuçlar vermektedir. Zira Goda'nın denklemi iki aşamalıdır (denklem 3.3, 3.4).

Örneğin 3.24 m ve 6 saniyelik bir dalganın 13 m derinlikte 3 m'ye düştüğü ve 8 m derinlikte 2.8 m yükseklikle kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 4.9). Başka özelliklere sahip açık deniz dalgalarıyla da modelleme yapılarak sonuçlar profil boyunca elde edilmiştir (Şekil 4.9-4.11).

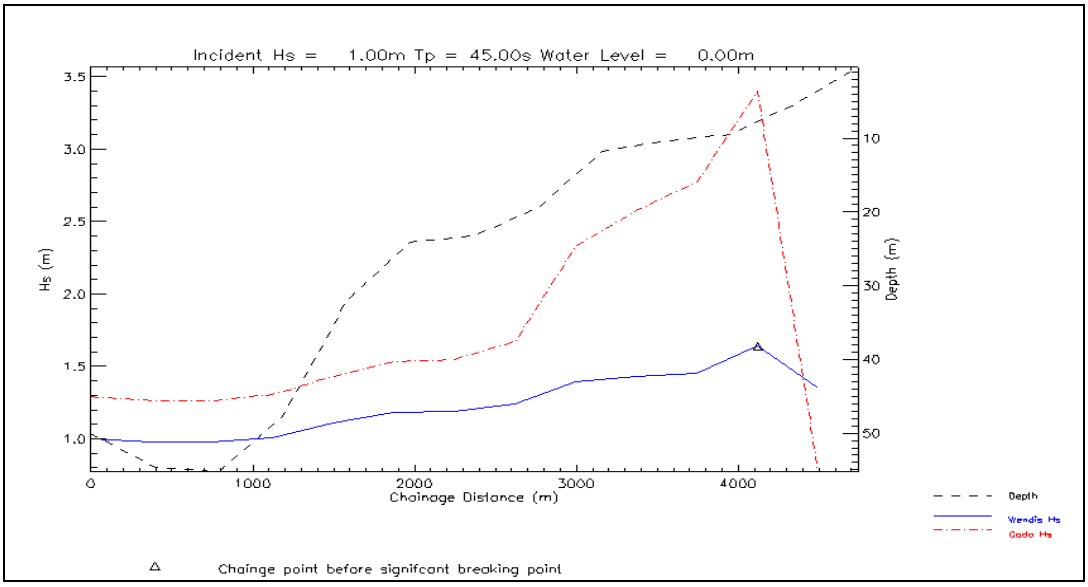


Şekil 4.9 3.24 m yüksekliğinde ve 6 saniye periyotlu bir dalganın derinlik profili boyunca yükseklik değişimi. Burada kırmızı değişken GODA yöntemiyle yapılan hesaplama sonucundaki dalga yüksekliğini, mavi değişken tek boyutlu dalga enerjisi dağılım teorisine göre yapıan hesaplama sonucundaki dalga yüksekliğini, kesik çizgiler su derinliğini vermektedir.



Şekil 4.10 2.5 m yüksekliğinde ve 20 saniye periyotlu bir dalganın derinlik profili boyunca yükseklik değişimi. Burada kırmızı değişken GODA yöntemiyle yapılan hesaplama sonucundaki dalga yüksekliğini, mavi değişken tek boyutlu dalga enerjisi dağılım teorisine göre yapıan hesaplama sonucundaki dalga yüksekliğini, kesik çizgiler su derinliğini vermektedir.

Ancak WENDIS'in kullanabildiği periyot uzunluğu 50 saniye ile sınırlı olduğu için bu modelle uzun periyotlu dalgaların incelenmesi sınırlıdır. Gene de uzun periyotlu dalgaların (T > 15 s) dalga periyodu uzadıkça daha da derinde bir yerlerde kabardığı (yüksekliğinin arttığı) ve kırılma yüksekliğine yakın bir derinlik yerine daha derin bir noktada kırılmaya başladığı tesbit edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 1 m yüksekliğinde ve 45 saniye periyotlu bir dalganın derinlik profili boyunca yükseklik değişimi. Burada kırmızı değişken GODA yöntemiyle yapılan hesaplama sonucundaki dalga yüksekliğini, mavi değişken tek boyutlu dalga enerjisi dağılım teorisine göre yapıan hesaplama sonucundaki dalga yüksekliğini, kesik çizgiler su derinliğini vermektedir.

4.5. Dalga Etkisiyle Kıyı Çizgisi Değişimi Modeli

Bu model tekil çizgi teorisini[17] esas alan BEACHPLAN modülü kullanılarak kurulmuştur. Bu teori çerçevesinde kıyı çizgisi verileri kartezyen koordinat sisteminde modele girilmekte ve her bir *x* değeri için yalnızca bir *y* değeri verilebilmektedir. Dolayısıyla kıyı çizgisindeki düzensizlikler, korunmuş bölgeler katı madde birikimleri gibi morfolojik karakteristikler modelde tam olarak temsil edilememektedir (Şekil 4.12).

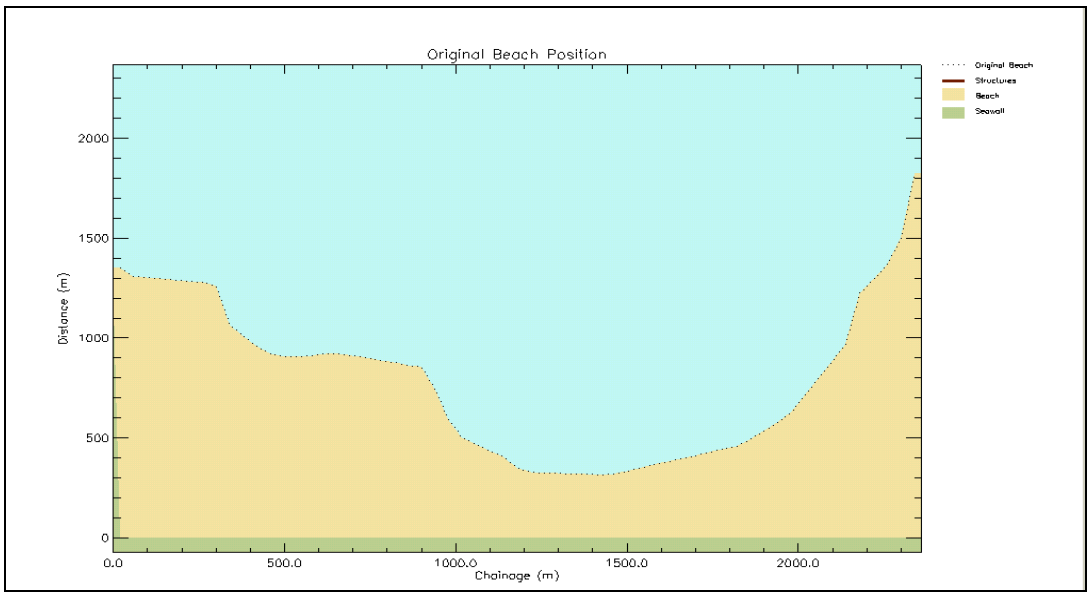
Bu nedenlerden dolayı modelin uzun periyotlu dalgalara uygulanabilirliği sınırlı ve bulunabilecek sonuçlar da tartışmaya açıktır. Yine de Tuzla limanı içinde Batı yönüne bakan kıyının üzerinde yapılan çalışmada, liman içinde katı maddenin hareket tarzı, birikmesi ve kıyı çizgisi değişimi ana hatları ile de olsa şekillendirilebilmiştir (Şekil 4.12). Bu davranış karakterini belirleyebilmek için kıyı tamamen kumsal kabul edilmiştir.

Tuzla'da hakim dalga yönü W-SW-S olduğu için bu yöne (Güney'e) bakan liman içi Kuzey tarafındaki kıyılarda katı madde birikmesi daha büyük miktarlarda meydana gelmektedir. Güney tarafındaki (Kuzey'e bakan) kıyılarda düşük miktarlarda olsa da oyulma olduğu görülmüştür (Şekil 4.12-4.14). Gerçekte ise liman içinde oyulmanın

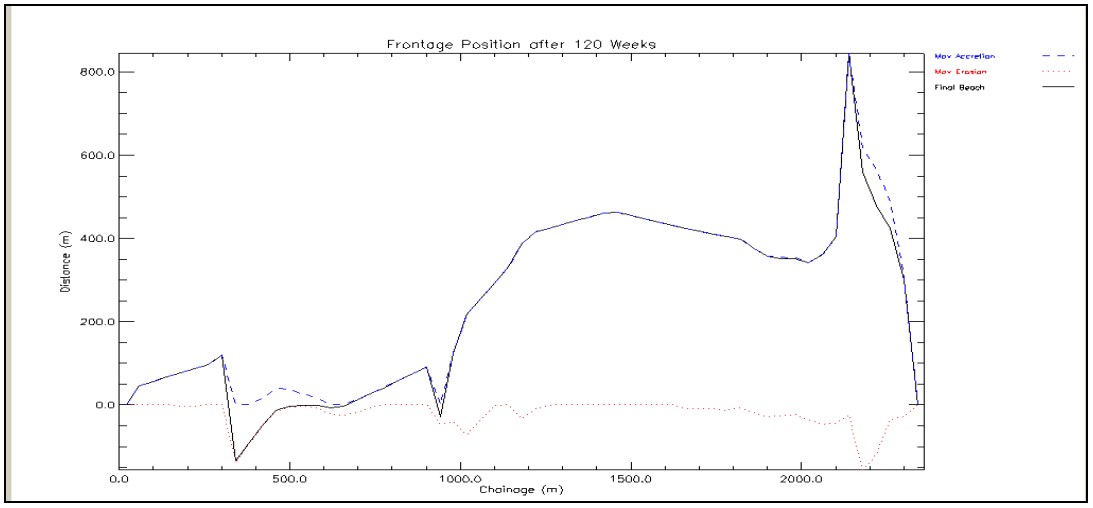
[17] İng. "Single Line Theory"

olabilmesi çok zordur [1]. Denizden liman içine sürekli olarak katı madde taşındığı ve bu katı madde korunaklı bölgeden çıkamayacağı için yavaş da olsa birikerek su derinliğini azaltmakta ve kıyıyı genişletmektedir.

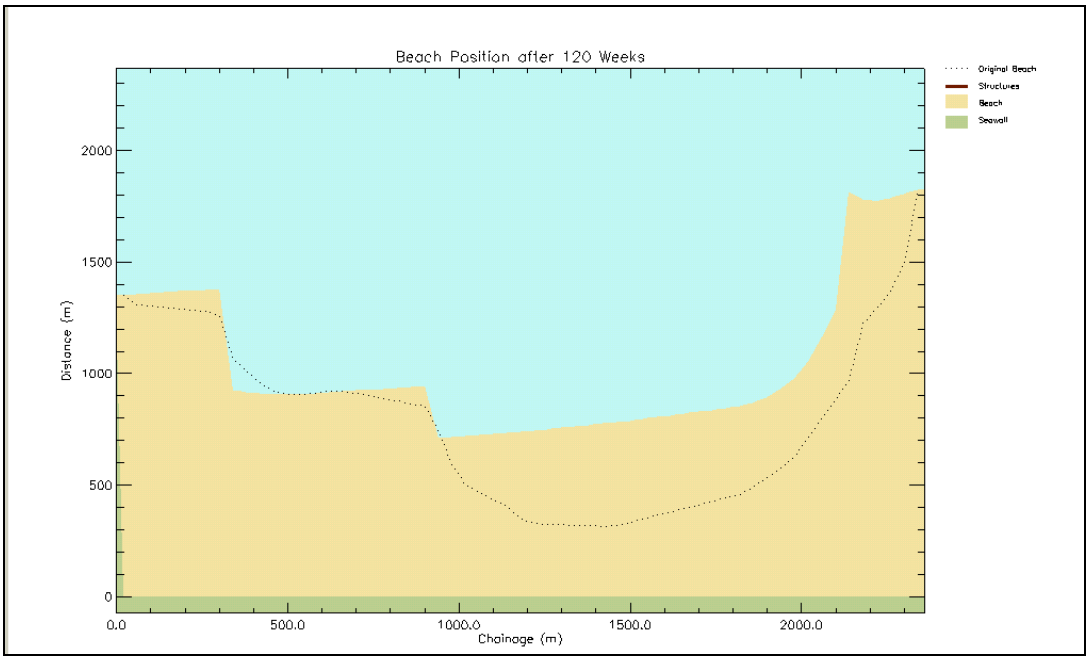
BEACHPLAN modülünde, tekil çizgi teorisi kapsamında belirlenen kıyı konfigürasyonuna kıyı koruma yapıları da eklenebilmektedir. Fakat bu yapılar sadece kıyıya dik yönde girilebilmekte, açılandırılamamaktadır (Şekil 4.15).



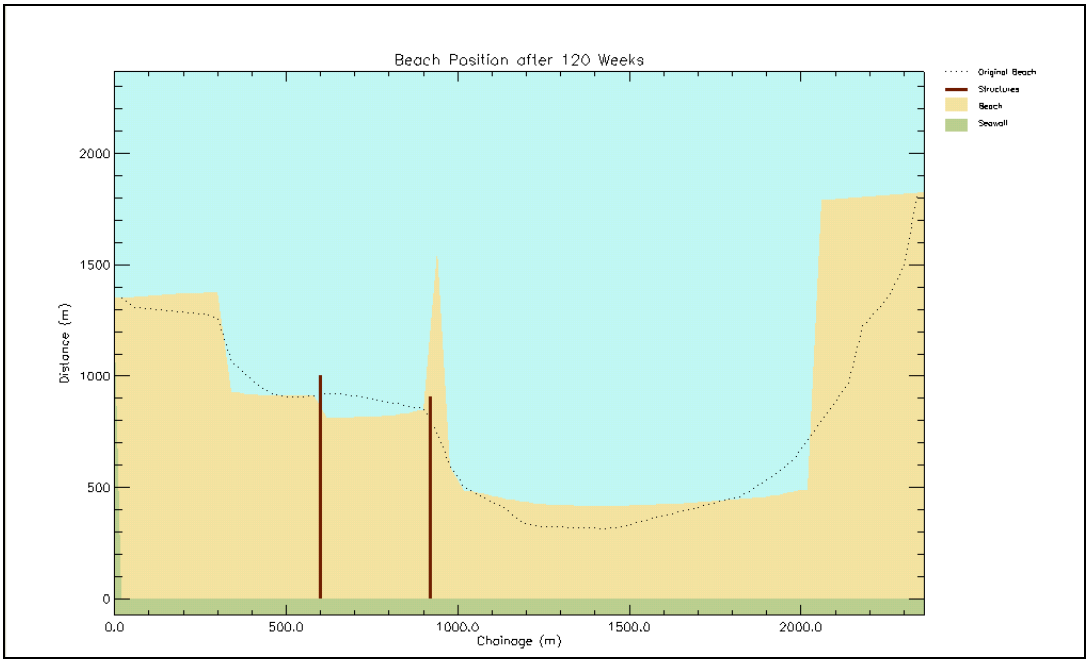
Şekil 4.12 Tuzla limanı içinde Batı yönüne bakan kısmın orjinal kıyı çizgisi hali.



Şekil 4.13 120 hafta sonunda 6.89 s periyotlu ve 2.65 m belirgin dalga yüksekliğindeki dalgalara günde 3 defa maruz kalması sonucu kıyı çizgisinin değişimi (mavi çizgi birikme, kırmızı çizgi oyulma, kesik çizgi son durum).



Şekil 4.14 120 hafta sonunda 6.89 s periyotlu ve 2.65 m belirgin dalga yüksekliğindeki dalgalara günde 3 defa maruz kalması sonucu kıyı çizgisinin değişimi.



Şekil 4.15 2 adet mahbuz yerleştiri1miş halde 120 hafta sonunda 6.89 s periyotlu ve 2.65 m belirgin dalga yüksekliğindeki dalgalara günde 3 defa maruz kalması sonucu kıyı çizgisinin değişimi.

4.6. İki Boyutlu Dalga Analizi ve Yakın Kıyı Katı Madde Taşınımı Modelleri

Bu yüksek lisans tez çalışması dahilinde kurulan modeller arasında uzun periyotlu dalgaları en iyi temsil edenleri Tuzla ve Kadıköy bölgeleri için hazırlanan bu modellerdir. SeaWorks'ün içerdiği alt programlar arasında hem çıktı verisi hem de girdi parametreleri açısından en pratiği ve en fonksiyoneli olan COSMOS kullanılarak hazırlanmışlardır [4,6].Bu modeller kullanılarak, özellikle deprem dalgası mertebesindeki uzun periyotlu dalgalar için yapılan çalışmalarda yalnızca kıyıya dik katı madde taşınımı değil; deniz suyu seviyesi ve dalga tırmanması, değişen dalga yükseklikleri, dalga yörüngesel hızları, deniz tabanı profili değişimi gibi belirlenmesi önemli (bir o kadar da hesaplanması zor) olan değerler için de kılavuz niteliğinde sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.4-4.5).

Öncelikle modeller fırtına dalgaları için çalıştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda modellerin kurulduğu bölgelerde görülen mertebelerde dalgalar seçilmiş ve kıyıya etkime süreleri de deniz dibinde belirgin bir değişimin başlayabileceği uzunluklarda alınmıştır.

Örneğin Tuzla için, hakim dalga yönünden gelen 5.65 s ortalama periyotlu ve 2.25 m geometrik ortalama (RMS) yüksekliğindeki bir dalga katarının 10 saat boyunca kıyıya etkimesi sonucunda; 0.064 m mertebesinde bir maksimum deniz tabanı değişimi (3 m derinlikte) ve 2.01×10^{-4} $m^3/m/sn$ mertebesinde maksimum kıyıya dik katı madde taşınım hızı (7 m derinlikte) elde edilmiştir (Şekil B.1). Deniz tabanı derinliği değişim oranının maksimum olduğu nokta dalga kırılmasının başladığı ve yoğunlaştığı yerdir. Keza kıyıya dik katı madde taşınımının en yüksek olduğu nokta da kıyıya dik akıntının yoğunlaştığı yerdir. Bu parametrelerin hem değerleri, hem de derinlik ve mesafe boyunca değişimleri, modelin oldukça mantıklı ve tutarlı değerler verdiğini işaret etmektedir (Şekil B.1).

Deprem dalgaları için yapılan çalışmalarda ise 0.5 saat, 1 saat ve 1.5 saat gibi uzun periyotlu dalgalar 1 cm ile 1 m arasında çeşitli yüksekliklerle hakim dalga yönünden gönderilmiştir (Tablo 4.4, 4.5). Bu deprem dalgalarının dalga ortagonalleri kıyı çizgisi normaliyle 15^o 'lik bir açı yapmaktadır.

Tablo 4.4 Tuzla'da çeşitli özelliklerde dalga analizi ve katı madde hareketi modellemesi çalışmasının sonuçları.

TUZLA 245º KESİTİ DEPREM DALGASI ANALİZİ SONUÇLARI

Dalga Yönü: 230º

Dalga Periyodu: 0.5 saat

Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yükseklik Derinliği (m)	Kıyıdaki Tırmanma (Setup) (m)	Maksimum Derinlik Değişimi (m) (+, birikme)	Maksimum Derinlik Değişim Derinliği (m)	Maksimum Kıyıya Dik Katı Madde Debisi (m3/m/sn)	%50 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	%100 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	Pik Dalga Taban Orbital Hızı (m/sn)
0.01	0.63	1.68	0.1	0.005	1.47	2.34300E-05	1.87	1.58	0.77
0.05	2.3	6	0.3	0.028	5.1	3.46130E-04	6.81	5.97	1.48
0.10	4	10.38	0.5	-0.136	15.05	1.16490E-03	11.85	10.38	1.96
0.30	9.73	24.77	1.05	0.882	45.05	2.87900E-02	28.97	24.74	3.05
0.50	14.6	39.16	1.35	3.95	45	3.73780E+00	45.5	39.2	3.74
0.70	19.67	49.47	1.55	> -4.00	> 50.00	> 0.2833	> 50.00	49.2	4.33
1.00	> 28.45	> 50.00	2.14	> 24.67	> 50.00	> 1.3285	> 50.00	> 50.00	> 5.30
0.50+0.30+0.10	14.6	39.16	1.35	4.04	45	3.7378	28.75	24.68	3.74

Dalga Yönü: 230º

Dalga Periyodu: 1.0 saat

Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yükseklik Derinliği (m)	Kıyıdaki Tırmanma (Setup) (m)	Maksimum Derinlik Değişimi (m) (+, birikme)	Maksimum Derinlik Değişim Derinliği (m)	Maksimum Kıyıya Dik Katı Madde Debisi (m3/m/sn)	%50 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	%100 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	Pik Dalga Taban Orbital Hızı (m/sn)
0.01	0.64	1.68	0.1	0.008	1.45	2.00190E-05	1.88	1.58	0.77
0.05	2.3	6.06	0.3	0.051	5.1	2.18470E-04	6.83	5.85	1.48
0.10	4.01	10.5	0.5	-0.188	15.02	7.89000E-04	11.88	10.44	1.96
0.30	9.74	25.01	1.05	1.14	45	1.77400E-02	28.8	24.73	3.05
0.50	14.63	39.98	1.35	4.4	45	8.51000E-02	45.7	39.97	3.74
0.70	19.85	49.27	1.59	> -5.74	> 50.00	> 0.21125	> 50.00	49.21	4.35
1.00	> 28.4	> 50.00	2.1	> -23.15	> 50.00	> 0.60867	> 50.00	> 50.00	> 5.35

Dalga Yönü: 230º

Dalga Periyodu: 1.5 saat

Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yükseklik Derinliği (m)	Kıyıdaki Tırmanma (Setup) (m)	Maksimum Derinlik Değişimi (m) (+, birikme)	Maksimum Derinlik Değişim Derinliği (m)	Maksimum Kıyıya Dik Katı Madde Debisi (m3/m/sn)	%50 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	%100 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	Pik Dalga Taban Orbital Hızı (m/sn)
0.01	0.64	1.67	0.1	0.009	1.47	2.01820E-05	1.89	1.57	0.78
0.05	2.3	6.1	0.3	0.066	5	1.72400E-04	6.82	5.98	1.48
0.10	4.02	10.49	0.5	-0.22	15	6.04000E-04	11.95	10.43	1.96
0.30	9.75	24.78	1.05	1.315	45	1.44130E-02	28.65	24.77	3.06
0.50	14.68	44.62	1.35	4.71	45	7.76000E-02	45.83	39.98	3.75
0.70	19.96	49.05	1.62	> -6.92	> 50.00	> 0.1808	> 50.00	49.05	4.37
1.00	> 28.44	> 50.00	2.14	> -24.87	> 50.00	> 0.7875	> 50.00	> 50.00	> 5.3

Tablo 4.5 Kadıköy'de çeşitli özelliklerde dalga analizi ve katı madde hareketi modellemesi çalışmasının sonuçları.

KADIKÖY 245º KESİTİ DEPREM DALGASI ANALİZİ SONUÇLARI

Dalga Yönü: 230º

Dalga Periyodu: 0.5 saat

Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yükseklik Derinliği (m)	Kıyıdaki Tırmanma (Setup) (m)	Maksimum Derinlik Değişimi (m) (+, birikme)	Maksimum Derinlik Değişim Derinliği (m)	Maksimum Kıyıya Dik Katı Madde Debisi (m3/m/sn)	%50 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	%100 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	Pik Dalga Taban Orbital Hızı (m/sn)
0.01	0.64	1.67	0.09	0.002	2.08	5.30000E-06	2.00	1.25	0.78
0.05	2.3	6.16	0.38	0.085	5.19	7.87500E-04	6.82	5.98	1.48
0.10	4.01	10.49	0.55	0.153	10	2.28120E-03	11.88	10.38	1.96
0.30	9.67	25.29	1.1	0.249	30	2.10000E-02	28.87	25	3.04
0.50	14.58	38.36	1.38	0.426	35	4.67350E-02	43.92	38.2	3.73
0.70	19.73	49.33	1.61	> -4.80	> 50.00	3.7130	> 50.00	49.12	4.34
1.00	> 28.45	> 50.00	2.18	> -24.81	> 50.00	> 1.6870	> 50.00	> 50.00	> 5.30
0.5+0.3+0.1	14.58	38.36	1.38	0.46	35	1.92640E-03	28.5	24.6	3.73

Dalga Yönü: 230º

Dalga Periyodu: 1.0 saat

Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yükseklik Derinliği (m)	Kıyıdaki Tırmanma (Setup) (m)	Maksimum Derinlik Değişimi (m) (+, birikme)	Maksimum Derinlik Değişim Derinliği (m)	Maksimum Kıyıya Dik Katı Madde Debisi (m3/m/sn)	%50 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	%100 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	Pik Dalga Taban Orbital Hızı (m/sn)
0.01	0.84	1.67	0.09	0.003	2.09	5.29490E-06	1.96	1.25	0.78
0.05	2.31	6.15	0.38	0.14	5.19	5.01200E-04	6.84	5.96	1.48
0.10	4.02	10.57	0.55	0.196	10	1.23500E-03	11.89	10.48	1.96
0.30	9.72	25.28	1.09	0.29	35	1.22970E-02	29.49	25.26	3.05
0.50	14.63	38.58	1.39	0.55	35	3.11000E-02	44.06	38.33	3.74
0.70	19.97	48.86	1.66	> -7.32	> 50.00	> 0.27776	> 50.00	48.86	4.37
1.00	> 28.42	> 50.00	2.17	> -24.10	> 50.00	> 0.71495	> 50.00	49.85	> 5.32

Dalga Yönü: 230º

Dalga Periyodu: 1.5 saat

Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yüksekliği (m)	Maksimum Dalga Yükseklik Derinliği (m)	Kıyıdaki Tırmanma (Setup) (m)	Maksimum Derinlik Değişimi (m) (+, birikme)	Maksimum Derinlik Değişim Derinliği (m)	Maksimum Kıyıya Dik Katı Madde Debisi (m3/m/sn)	%50 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	%100 Dalganın Kırıldığı Derinlik (m)	Pik Dalga Taban Orbital Hızı (m/sn)
0.01	0.64	1.66	0.09	0.002	2.09	3.73560E-05	1.95	1.25	0.78
0.05	2.31	6.15	0.38	0.18	5.19	3.90950E-04	6.84	5.97	1.48
0.10	4.03	10.58	0.55	0.28	10	9.47340E-04	11.91	10.48	1.96
0.30	9.72	25.37	1.09	0.32	35	8.95560E-03	29.08	25.14	3.05
0.50	14.65	38.67	1.39	0.67	35	2.86530E-02	44.13	38.41	3.75
0.70	20.1	48.56	1.7	> -8.76	> 50.00	> 0.2444	> 50.00	48.38	4.38
1.00	> 28.52	> 50.00	2.22	> -26.29	> 50.00	> 1.2660	> 50.00	> 50.00	> 5.27

Kıyının dalga etkisine maruz kaldığı süre ise 2 deprem dalgası süresi olarak seçilmiştir. Bu dalgalar sonucunda kıyıdaki dalga tırmanmasının 10 cm (1 cm yüksekliğinde, 0.5 saat periyotlu dalga için) ile 2.2 m (1 m yüksekliğinde, 1.5 saat periyotlu dalga için) arasında değiştiği gözlenmiştir (Şekil B.2, B.3). Bu dalgalar sonucu deniz tabanındaki maksimum değişiklik (oyulma veya birikme) 5 mm'den (1 cm yüksekliğinde, 0.5 saat periyotlu dalga için) 25 m'ye (1 m yüksekliğinde, 1.5 saat periyotlu dalga için) kadar değişmiştir (Şekil B.2, B.3; Tablo 4.4, 4.5). Bu derece yüksek mertebede derinlik değişimleri görülmesinde deniz tabanının düşey doğrultuda tümüyle kumlu bir yapıya sahip olduğu kabulü de etkili olmuştur. Zira oluşabilecek "en fazla" derinlik değişimi tesbit edilmek istenmiştir.

Deniz tabanı değişimi dalga yüksekliği ve periyodu arttıkça kıyıdan derine doğru kaymaktadır ki, şüphesiz bu deprem dalgası periyotlarının oldukça uzun olmasından ve dalgaların daha derinlerde kırılmaya başlayıp enerjilerini harcamalarından kaynaklanmaktadır [1]. Dalgaların, dalga boyunun yarı derinliğinde deniz dibinden etkilenmeye başladıklarını düşünürsek [1], 0.5 saatlik bir deprem dalgası bile oluştuğu noktadan itibaren dipten etkilenmektedir.

Bir deprem durumunda rastlanabileceği gibi, kombine halde 0.5 saat periyotlu 0.5 m, 0.3 m ve 0.1 m yüksekliğinde deprem dalgaları ard arda gönderilerek de modeller çalıştırılmıştır. Bu kombine dalga etkisi sonucunda elde edilen deniz tabanı profili; bu üç dalganın deniz tabanı profiline etkilerinin süperpoze olmuş şeklinden ziyade, bu üç dalganın deniz tabanında oluşturdukları maksimum değişimlerin süperpoze hali şeklindedir (Şekil B.2d, B.3d). Bu da her dalganın profilde yarattığı değişimin bir önceki dalganın oluşturduğu profile etkimesinden kaynaklanmaktadır. Deniz tabanındaki değişimlerin yeri ve miktarı, derinliğe bağlı olduğu kadar taban şekline de bağlıdır. Yer değiştiren katı maddeler şev stabilitesinin sağlanabildiği bir noktaya gelene kadar hareket edeceklerdir, dolayısıyla deniz tabanı şekli çok keskin olmayan[18] kombine şevlere dönüşme eğilimindedir. Nitekim programın çalıştırılmasından elde edilen sonuçlarda da bu eğilim görülmektedir (Şekil B.2, B.3).

Bu modellerle dalga periyodu uzadıkça kıyıdaki dalga özelliklerinin değişimi ile ilgili olarak da tutarlı sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.4, 4.5, Şekil B.4). Periyot uzadıkça dalgaların kıyıdaki kırılma yükseklikleri ve kırılma yüksekliğinin derin su dalga

[18] İng. "Smooth"

yüksekliğine oranı artmaktadır. Fırtına dalgalarında her zaman 1'den küçük olan bu oran, 1 saat periyodundaki bir dalga için 15~20'ye kadar çıkabilmektedir. Bu da bize deprem dalgalarının kıyıya yaklaştıkça ulaştıkları devasa yükseklikleri açıklamaktadır [3].

Ayrıca uzun periyotlu deprem dalgalarında pik dalga taban orbital hızlarının ve taban malzemesi katı madde debisinin sel rejimini, hatta sel durumunu hatırlatan değerlere ulaşması da şüphesiz ki bu dalgaların enerjilerinin nispeten küçük hacimlere sıkışması ve kırılmayla açığa çıkmasıyla ilgilidir (Tablo 4.4, 4.5, Şekil B.4).

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasının temel amacı, dalga periyodu uzadıkça dalgaların kıyıdaki davranışlarının ve kıyıya etkilerinin incelenerek; başta deprem dalgası mertebesindeki dalgalar olmak üzere uzun periyotlu dalgaların yakın kıyıdaki kaotik ve çarpıcı davranışlarının bir ölçüde belirlenebilmesidir.

Bu bağlamda kurulan matematik modellerle çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar genel itibarı ile, kurulan modellerin temelleri altında yatan teori ve kabuller kadar diğer dalga hidrodinamiği ve hidrolik prensipleriyle de açıklanabilir nitekliktedir.

4.2 ve 4.3 bölümlerinde anlatılan dalga sapması ve dalga dönmesi modelleri uzun periyotlu dalgaların kıyıdaki davranışlarıyla ilgili rakamsal olarak yeterli veri üretemiyor gibi gözükse de, bu modellerden elde edilen sonuçlarda şu nokta gözükmektedir: "Dalga periyodu uzadıkça dalga sapması ve dalga dönmesi etkileri azalmaktadır".

Dalga sapması tamamıyla derinliğin değişmesi etkisiyle, kıyıya dik yaklaşmayan dalga cephesinin iki ucunun farklı sığlaşma özellikleri göstererek birbirlerine göre bağıl ilerleme göstermelerinden kaynaklanmaktadır [1]. Halbuki periyot uzadıkça dalga boyu artarak derinlik karşısında baskın duruma geçmekte ve h/L bağıl derinliği azalmaktadır. Buna bağlı olarak da derinlik değişiminin dalga davranışı üzerindeki etkisi azalmaktadır. Dolayısıyla "uzun periyotlu dalgalarda dalga sapması etkisi zayıftır" yargısı mantıklıdır.

Dalga dönmesi ise yarı sonsuz bir deniz yapısının dalga cephesinin yolunu kesmesi ve ilerleyebilen cephenin bu yapının arkasına geçemeyen kısma doğru bükülerek hareket etmesidir [1]. Dalga periyodu uzadıkça dalga hızı (c) yükselecektir. Bu durumda dalga cephesi liman içinde çok daha hızlı hareket edecek ve dalgakıran tarafından önü kapatılan tarafa doğru bükülmesi de çok daha az olacaktır. Sonuç olarak "uzun periyotlu dalgalarda dalga dönmesi etkisi zayıftır" yargısına varılabilir.

Tek boyutlu dalga enerjisi dağılımı modelinden elde edilen sonuçlar daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere, model 50 saniyeden daha uzun periyotlu dalgalara uygulanamadığı için 45 saniye periyotlu dalgalarla sınırlıdır. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11 incelendiğinde görülebileceği gibi, bu modelde Goda yöntemiyle elde edilen sonuçlarda, periyot uzadıkça dalga yüksekliğindeki artış ve dalga kırılma yüksekliği daha yüksektir. Bu yükseliş, deprem dalgaları gibi uzun periyotlu dalgaların kıyıya yaklaştıkça yüksekliklerinin çarpıcı biçimde artmasını çok daha iyi yansıtmaktadır. Bu şekilde "uzun periyotlu dalgalarda denklem 3.4'te verilen Goda yönteminin uygulanabileceği" söylenebilir.

Dalga etkisiyle kıyı çizgisi değişimi modeli bölüm 4.5'te açıklandığı üzere uzun periyotlu dalgaları modellemek için yeterli değildir. Dolayısıyla bu modelle sadece Tuzla'daki belirgin dalga yüksekliği mertebesindeki dalgaların kıyı çizgisine etkileri incelenmiştir. Fakat gene de Şekil 4.14'e bakılarak, "Tuzla limanı gibi korunaklı bir bölgenin katı madde birikimine müsait olduğu ve uzun periyotlu dalgalar gibi güçlü dalgaların bu bölgede oluşması durumunda büyük miktarlarda katı maddenin liman içine taşınabileceği" söylenebilir.

"İki boyutlu dalga analizi ve yakın kıyı katı madde taşınımı modelleri" bu çalışma çerçevesinde kurulan modeller arasında uzun periyotlu dalgaların davranışlarını açıklamada en yetkinidir. Bu modeller kullanılarak uzun periyotlu dalgaların dip profili boyunca dalga yükseklikleri, dalgaların kırılma bandındaki yükseklikleri, kırılma bandının konumu ve derinliği, pik dalga taban yörüngesel hızları, kıyıya dik taban malzemesi taşınımı debisi ve bu taşınım sonucu dip profili değişimi gibi ölçülmesi ya da elle hesaplanması zor değerler Tuzla ve Kadıköy bölgesinde çeşitli özellikteki dalgalar için belirlenmiştir (Tablo 4.4, 4.5). Bu sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki yargılara varılabilir:

- Deprem dalgaları kırılmalarını daha derinlerde gerçekleştirdikleri için Tuzla bölgesinde 15 m'den daha sığ yerlerde, Kadıköy bölgesinde ise 40 m'den daha sığ yerlerde katı madde hareketi sonucu deniz tabanında önemli ölçüde değişikliklere yol açmayacaktır.

- Deprem dalgası sonucu kıyıdan 3-4 km açıkta (40-50m derinlikte) 15-17 m mertebesinde, 1000 m açıkta (10 m derinlikte) ise 5 m mertebesinde kabarmalar görülebileceği gibi; kıyıdaki dalga tırmanması 1.5-2 m mertebesinde olabilecektir.

- Kıyı eğiminin başladığı noktadan itibaren dalga yüksekliklerinin büyük oranda artmasına rağmen deniz suyu seviyesinde bir azalma görülmektedir ki, bu deprem dalgalarının bilinen bir özelliğidir.

- Deniz tabanında oyulmanın başladığı noktada, kıyıya dik katı madde hareketi debisinde osilasyonlar görülmektedir (Şekil B.2a,B.5a). Maksimum dalga yüksekliği, minimum su yüksekliği, maksimum derinlik değişimi ve dalgaların maksimum kırılma oranı da yaklaşık olarak aynı noktada meydana gelmektedir. Bu da şüphesiz ki o noktadaki yoğun kaotik davranışı simgelemektedir. Demek ki kıyı açığında taban eğiminin belirgin olarak değişmeye başladığı nokta, deprem dalgasının kırılarak enerjisinin boşaldığı noktadır.

- Deprem dalgalarında (T > 20~30 dakika) periyodun uzaması kırılma noktası, dalga tırmanması gibi dalga özelliklerini ilgilendiren değerler için belirleyici rol oynamazken; kırılma derinliği, katı madde taşınım oranı, deniz tabanı değişimi gibi deniz dibi yapısını da ilgilendiren özelliklerde az da olsa fark oluşturmaktadır (Tablo 4.4, 4.5). Deprem dalgalarının yüksekliği ise bu değerlerin tümünde asıl belirleyici rolü üstlenen değişkendir.

- Deprem dalgalarında pik dalga taban yörüngesel hızları, bir nehrin sel rejimini anımsatan hızlara ulaşabilmektedir ki, bu, 50 cm'den daha büyük dalga yükseklikli deprem dalgalarında 40 m derinlikten sonra ortaya çıkan yüksek katı madde transferlerini açıklamaktadır (Tablo 4.4, 4.5).

KAYNAKLAR

[1] **Kabdaşlı S.,** 1992. Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[2] **Mofjeld, H.O., Titov, V.V., Gonz´alez, F.I. and Newman, J.C.**, 2000. Analytic Theory of Tsunami Wave Scattering in the Open Ocean with Application to the North Pacific, NOAA Technical Memorandum OAR PMEL-116, Seattle, WA.

[3] **Yalçıner, A.C., Alpar, B., Altınaok, Y., Özbay, İ. and Imamura, F**., 2002. Tsunamis in the Sea of Marmara -historical documents for the past, models for the future, *Marine Geology,* **3173,** 1-19.

[4] **Wallingford Software Publication Committee**, 1998. SeaWorks User Guide Overview, HR Wallingford, Wallingford.

[5] **Wallingford Software Publication Committee**, 1999. SeaWorks-1 Jonsey User Guide, HR Wallingford, Wallingford.

[6] **Wallingford Software Publication Committee**, 1999. SeaWorks-2 Outray User Guide, HR Wallingford, Wallingford.

[7] **Wallingford Software Publication Committee**, 1998. SeaWorks-3 Portray User Guide, HR Wallingford, Wallingford.

[8] **Wallingford Software Publication Committee**, 1999. SeaWorks-4 Wendis User Guide, HR Wallingford, Wallingford.

[9] **Wallingford Software Publication Committee**, 1999. SeaWorks-5 Beachplan User Guide, HR Wallingford, Wallingford.

[10] **Wallace, H.M.**, 1994. Cosmos-2D: Nearshore Sediment transport Model Description of Model structure and Input, HR Wallingford Report IT 388, Wallingford, UK

[11] **Synolakis, C.E.,** 1991. Green's Law and the evolution of solitary waves, *Natural Hazards,* **4,** 490-492

[12] **Synolakis, C.E.,** 1991. How good really linear theory is, *Natural Hazards,* **4,** 221-234

[13] **Hasselmann K. et al.,** 1973. Measurement of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), German Hydrrographic Institute Report, Hamburg, W. Germany.

[14] **Southgate, H. N.,** 1989. A nearshore Profile Model of Wave and Tidal Current interaction, *Coastal Engineering*, **13**,219-245

[15] **Kabdaşlı, S. et al.**, 2002. Numerical modelling earthquake effects on sea outfalls: Kadıköy sea outfall case, *2nd International Symposium on Marine Waste Water Discharg,* İstanbul, September 16-20.

EKLER

EK - A Tuzla Dalga Sapması Modeli Çıktı Dosyaları

Ek A.1 Spektral Transfer Fonksiyonları Dosyası

```
              OUTPUT FROM OUTRAY PROGRAM
              **************************

 tuzla 50m grid real

 POINT CO-ORDINATES RELATIVE TO GRID  1 ORIGIN ARE
     X =     3861.00          Y =     7443.00

 WATER LEVEL IS      0.00 METRES


 BOUNDS OF INSHORE RAYS AT THIS POINT ARE  200.0  AND  270.0
 (DEGREES TRUE NORTH)

          TABLE OF PERIODS AND INSHORE ANGLE SEPARATION
          ============================================

                    PERIOD          ANGLE
                    (SECS)          (DEG)

                    1.000         0.50000
                    2.000         0.50000
                    3.000         0.50000
                    4.000         0.50000
                    5.000         0.25000
                    6.000         0.25000
                    7.000         0.25000
                    8.000         0.25000
                    9.000         0.25000
                   10.000         0.25000
1


                              TRANSFER FUNCTION TN
                              ********************


 FREQUENCY (HZ)   1.000  0.500  0.333  0.250  0.200  0.167  0.143  0.125  0.111  0.100
 --------------   -----  -----  -----  -----  -----  -----  -----  -----  -----  -----


 ANGLE (DEG NORTH)
 -----------------
   000-010        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   010-020        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   020-030        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   030-040        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   040-050        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   050-060        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   060-070        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   070-080        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   080-090        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   090-100        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   100-110        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.062
   110-120        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   120-130        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   130-140        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   140-150        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   150-160        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   160-170        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   170-180        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
   180-190        0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.029  0.034  0.000  0.051  0.000
   190-200        0.000  0.050  0.000  0.047  0.050  0.058  0.069  0.125  0.153  0.247
```

200-210	0.250	0.100	0.146	0.140	0.149	0.230	0.274	0.334	0.306	0.247
210-220	1.000	0.950	0.781	0.512	0.398	0.403	0.343	0.293	0.255	0.247
220-230	1.000	1.000	0.976	0.745	0.572	0.431	0.343	0.293	0.307	0.310
230-240	1.000	1.000	0.927	0.792	0.621	0.518	0.480	0.502	0.511	0.619
240-250	1.000	1.000	0.976	0.838	0.745	0.690	0.651	0.502	0.511	0.495
250-260	1.000	1.000	0.927	0.652	0.596	0.690	0.822	1.087	0.867	0.927
260-270	1.000	0.950	0.586	0.279	0.224	0.259	0.343	0.460	0.969	1.174
270-280	0.000	0.050	0.293	0.186	0.099	0.029	0.103	0.209	0.306	0.309
280-290	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000	0.118	0.000	0.000	0.103	0.248
290-300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.110	0.000	0.000	0.062
300-310	0.000	0.000	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
310-320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000
320-330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
330-340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
340-350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
350-360	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1

TRANSFER FUNCTION UN
****

FREQUENCY (HZ)	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	0.100
ANGLE (DEG NORTH)										
000-010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
010-020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
020-030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
030-040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
040-050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
050-060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
060-070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
070-080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
080-090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
090-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.044
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.022	-0.026	0.000	-0.037	0.000
190-200	0.000	-0.044	0.000	-0.039	-0.040	-0.044	-0.051	-0.091	-0.109	-0.174
200-210	-0.219	-0.087	-0.125	-0.115	-0.117	-0.174	-0.200	-0.238	-0.214	-0.171
210-220	-0.818	-0.775	-0.631	-0.402	-0.301	-0.292	-0.241	-0.202	-0.174	-0.168
220-230	-0.706	-0.706	-0.689	-0.526	-0.398	-0.293	-0.230	-0.196	-0.204	-0.206
230-240	-0.573	-0.573	-0.535	-0.473	-0.383	-0.324	-0.303	-0.319	-0.327	-0.396
240-250	-0.422	-0.422	-0.420	-0.393	-0.386	-0.381	-0.374	-0.298	-0.309	-0.301
250-260	-0.258	-0.259	-0.251	-0.223	-0.247	-0.319	-0.408	-0.571	-0.483	-0.527
260-270	-0.087	-0.087	-0.081	-0.072	-0.078	-0.103	-0.147	-0.210	-0.475	-0.594
270-280	0.000	0.000	-0.018	-0.040	-0.032	-0.011	-0.042	-0.089	-0.135	-0.142
280-290	0.000	0.000	0.000	-0.009	0.000	-0.043	0.000	0.000	-0.044	-0.110
290-300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-0.043	0.000	0.000	-0.027
300-310	0.000	0.000	0.000	-0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.026
310-320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.016	0.000	0.000
320-330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
330-340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
340-350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
350-360	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1

TRANSFER FUNCTION VN
****

FREQUENCY (HZ)	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	0.100
ANGLE (DEG NORTH)										
000-010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
010-020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
020-030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
030-040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
040-050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
050-060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
060-070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
070-080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
080-090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
090-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.043
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.018	-0.023	0.000	-0.035	0.000
190-200	0.000	-0.024	0.000	-0.026	-0.030	-0.037	-0.046	-0.086	-0.107	-0.176
200-210	-0.120	-0.050	-0.076	-0.080	-0.092	-0.150	-0.187	-0.234	-0.218	-0.179
210-220	-0.573	-0.548	-0.459	-0.317	-0.260	-0.277	-0.243	-0.212	-0.186	-0.182
220-230	-0.706	-0.706	-0.689	-0.526	-0.410	-0.316	-0.254	-0.218	-0.229	-0.231
230-240	-0.818	-0.818	-0.756	-0.634	-0.488	-0.404	-0.371	-0.387	-0.393	-0.476
240-250	-0.905	-0.905	-0.880	-0.739	-0.637	-0.575	-0.532	-0.403	-0.406	-0.392
250-260	-0.965	-0.965	-0.891	-0.612	-0.542	-0.612	-0.714	-0.923	-0.720	-0.763
260-270	-0.995	-0.945	-0.580	-0.270	-0.210	-0.238	-0.309	-0.409	-0.844	-1.013
270-280	0.000	-0.050	-0.292	-0.182	-0.094	-0.027	-0.094	-0.189	-0.275	-0.274
280-290	0.000	0.000	0.000	-0.046	0.000	-0.110	0.000	0.000	-0.093	-0.222
290-300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.028	-0.102	0.000	0.000	-0.056
300-310	0.000	0.000	0.000	-0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.055
310-320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.034	0.000	0.000
320-330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
330-340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
340-350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
350-360	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

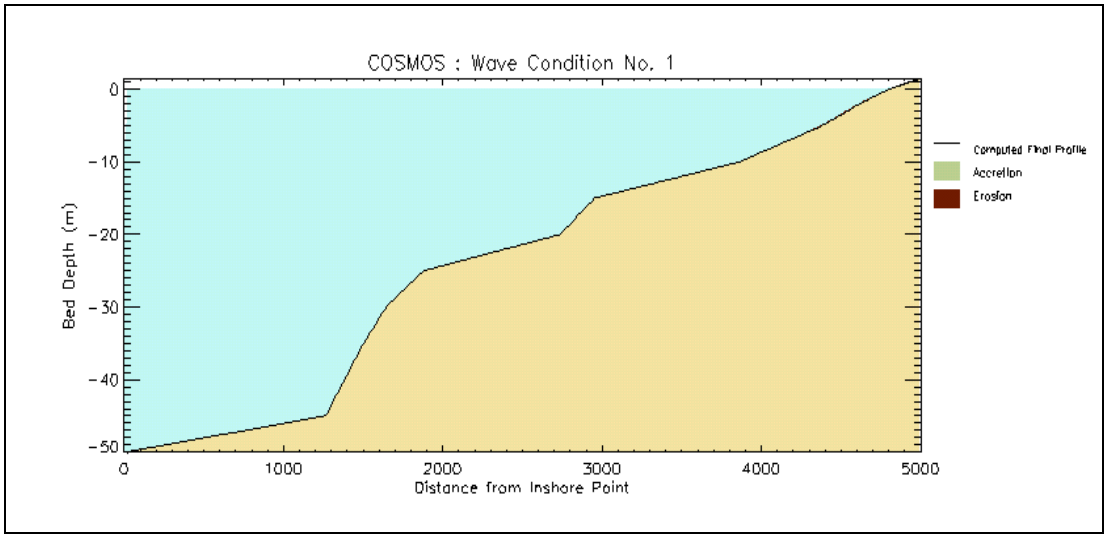
1

Ek A.2 Açıktan Gelen Dalgaların Sapma Sonucu Yakın Kıyı Değerleri

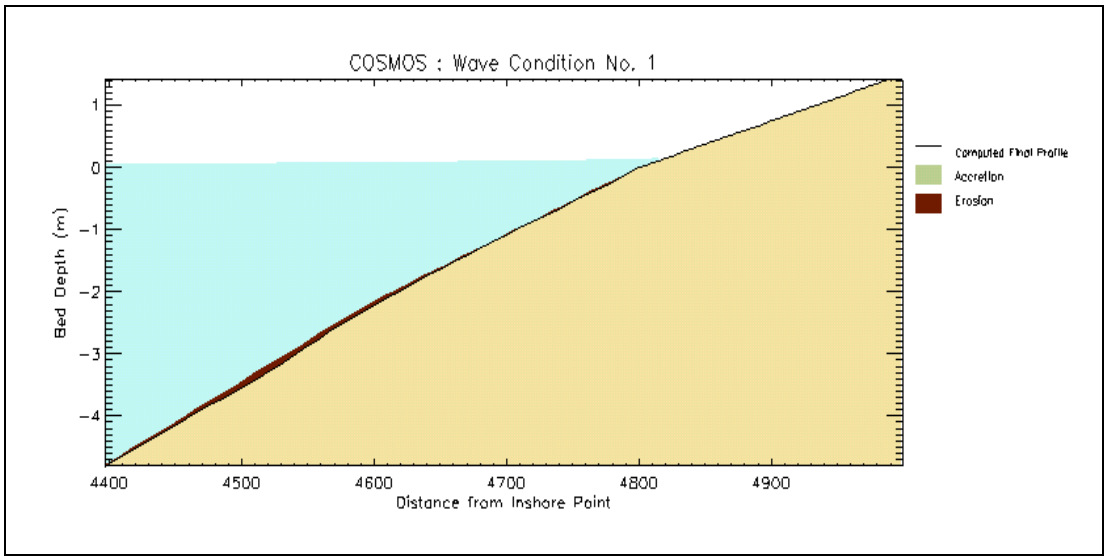
OFFSHORE			INSHORE		
DIRN (DEG N)	HS (M)	TZ (S)	DIRN (DEG N)	HS (M)	TZ (S)
200.00	2.40	5.69	230.44	1.16	5.33
210.00	2.40	5.69	231.71	1.28	5.34
220.00	2.40	5.69	232.84	1.38	5.35
230.00	2.40	5.69	233.88	1.44	5.36
240.00	2.40	5.69	234.86	1.46	5.38
250.00	2.40	5.69	235.83	1.45	5.39
260.00	2.40	5.69	236.81	1.40	5.41
270.00	2.40	5.69	237.84	1.31	5.44
200.00	2.10	5.54	230.42	1.01	5.18
210.00	2.10	5.54	231.71	1.12	5.18
220.00	2.10	5.54	232.86	1.20	5.19
230.00	2.10	5.54	233.92	1.26	5.20
240.00	2.10	5.54	234.93	1.28	5.21
250.00	2.10	5.54	235.92	1.26	5.22
260.00	2.10	5.54	236.93	1.21	5.24
270.00	2.10	5.54	238.00	1.14	5.26
200.00	3.20	6.65	230.49	1.54	6.32
210.00	3.20	6.65	231.69	1.72	6.35
220.00	3.20	6.65	232.76	1.86	6.38
230.00	3.20	6.65	233.72	1.95	6.41
240.00	3.20	6.65	234.61	2.00	6.45
250.00	3.20	6.65	235.47	1.99	6.49
260.00	3.20	6.65	236.32	1.94	6.54
270.00	3.20	6.65	237.18	1.84	6.59

EK - B

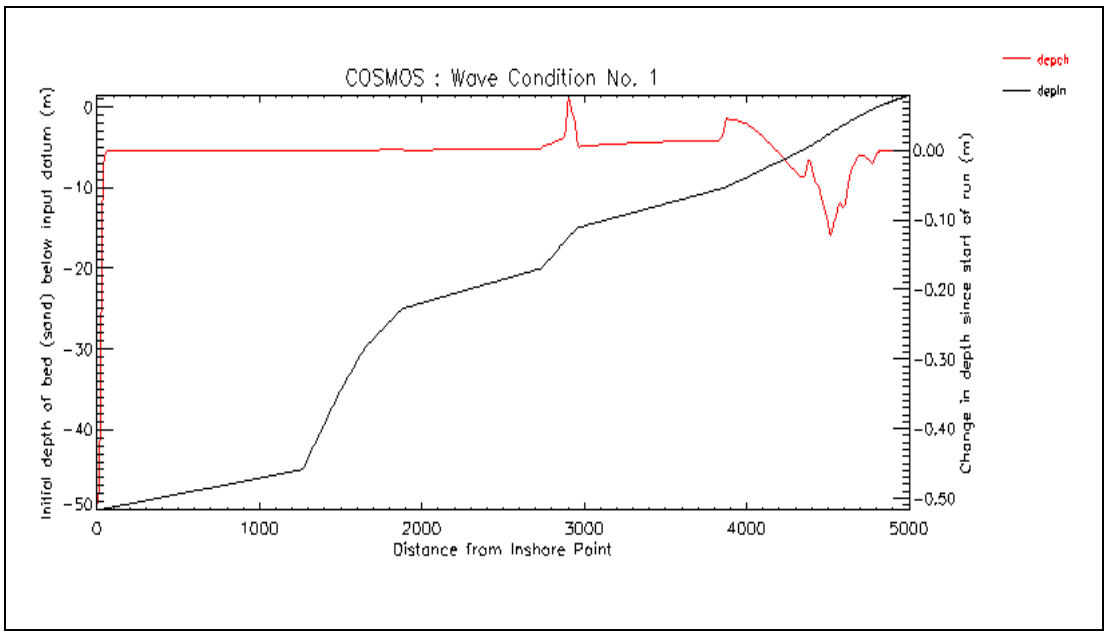
İki Boyutlu Dalga Analizi ve Yakın Kıyı Katı Madde Hareketi Modelleri Sonuçları



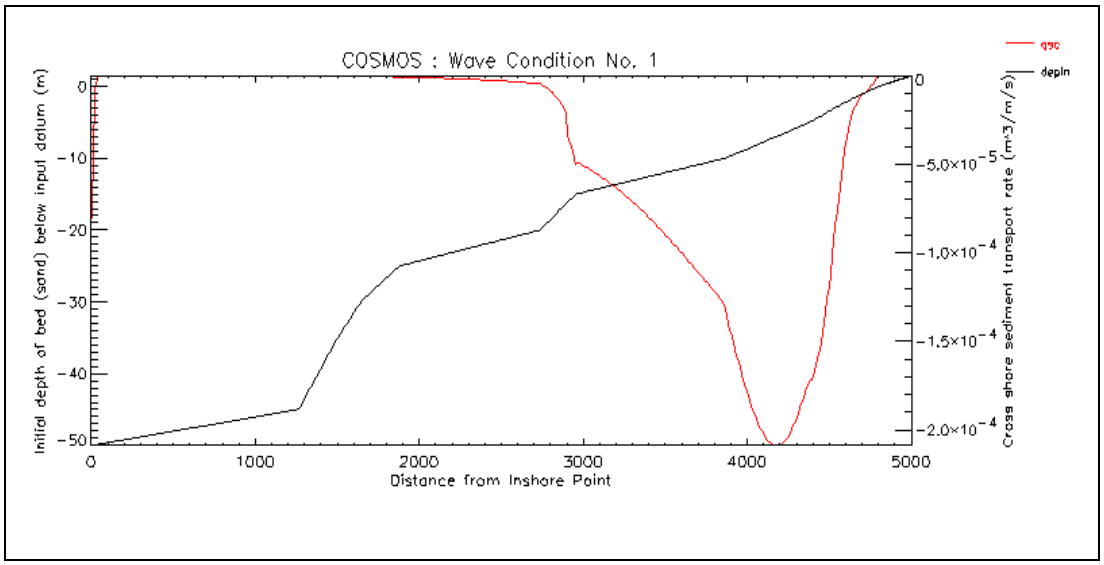
Şekil B.1a Tuzla deniz tabanı profilinin, 10 saat boyunca etkiyen 2.65 s periyotlu ve 2.25 m yükseklikli WSW dalgası sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir.



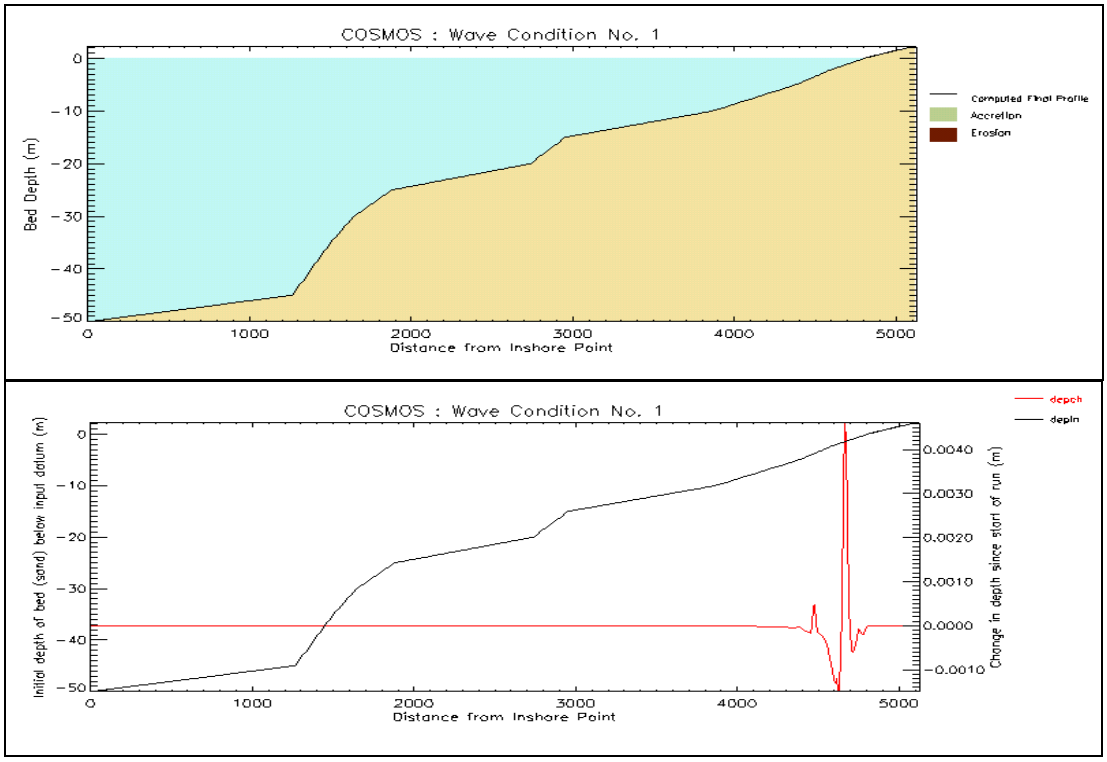
Şekil B.1b Tuzla deniz tabanı profilinin, 10 saat boyunca etkiyen 2.65 s periyotlu ve 2.25 m yükseklikli WSW dalgası sonucu değişimi (Kıyıdan 600 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir.



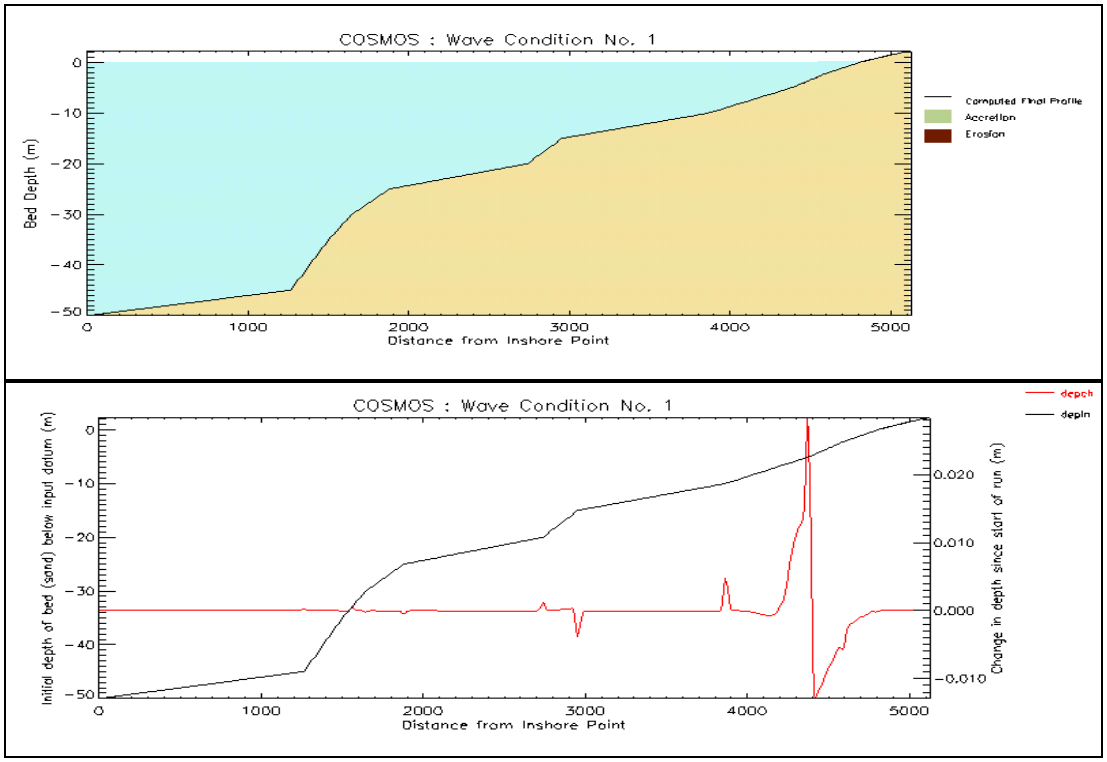
Şekil B.1c Tuzla'da derinlik profilinin, 10 saat boyunca etkiyen 2.65 s periyotlu ve 2.25 m yükseklikli WSW dalgası sonucu değişimi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit derinlik değişimini gösterir.



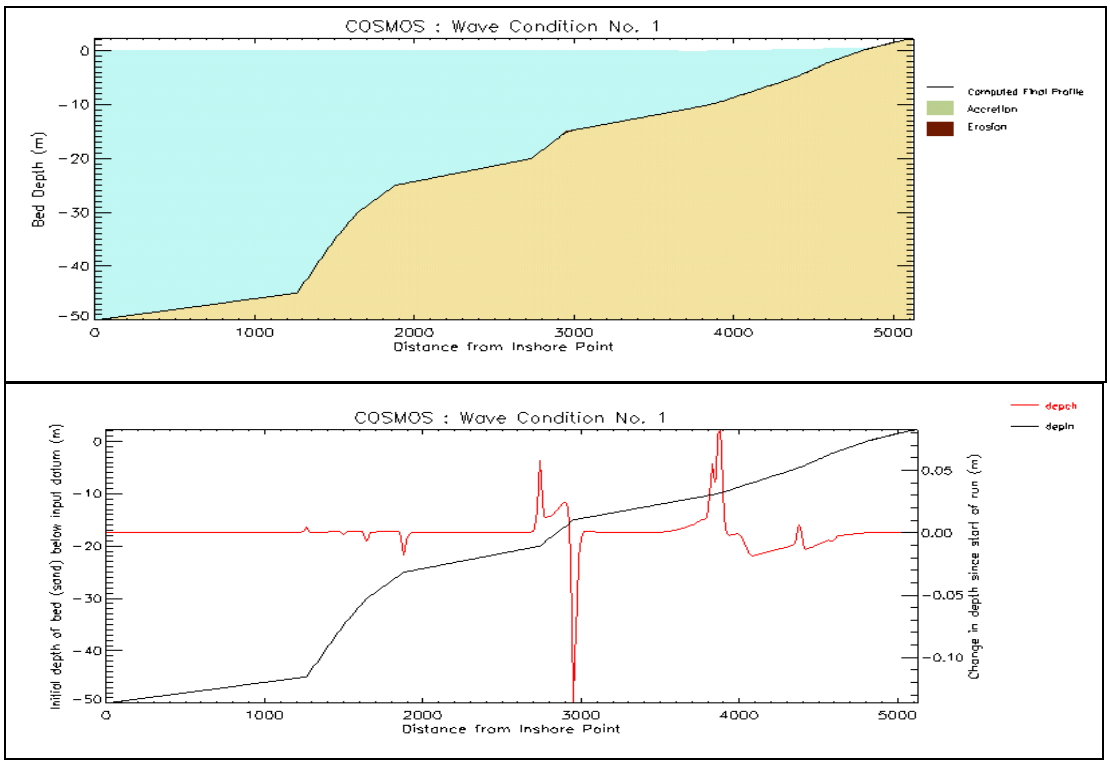
Şekil B.1d Tuzla'da 10 saat boyunca etkiyen 2.65 s periyotlu ve 2.25 m yükseklikli WSW dalgası sonucu oluşan kıyıya dik taban malzemesi debisi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit taban malzemesi debisini gösterir.



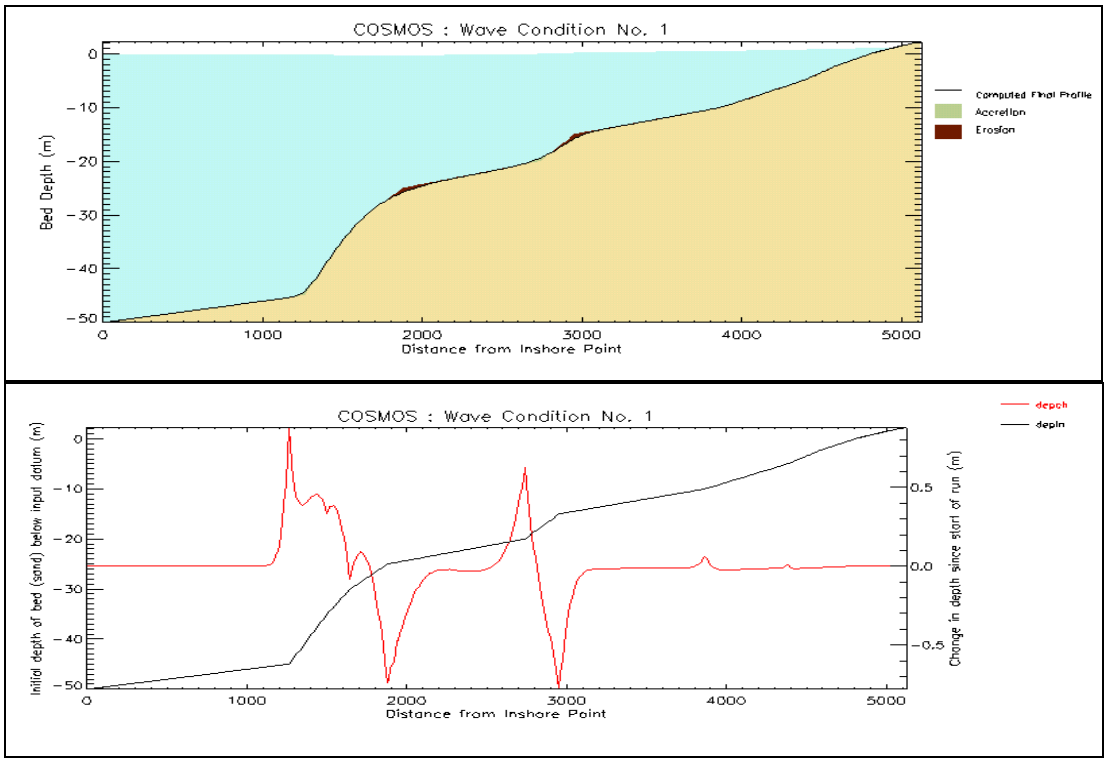
Şekil B.2a Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 1 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



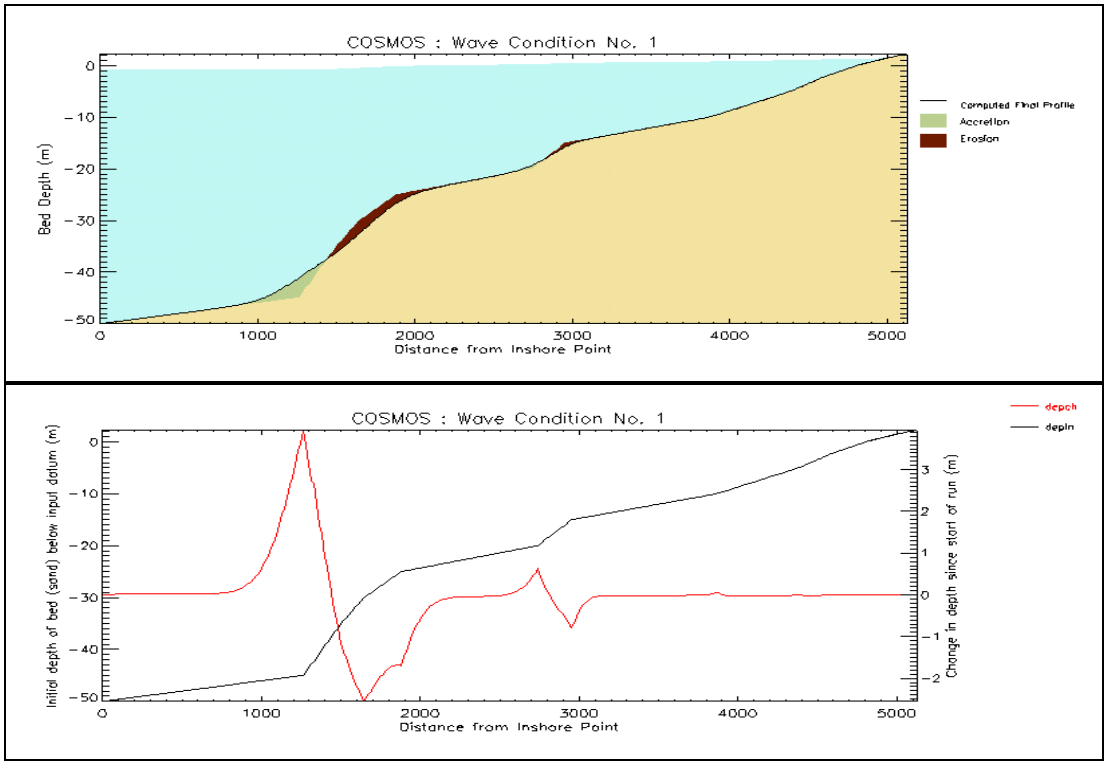
Şekil B.2b Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 5 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



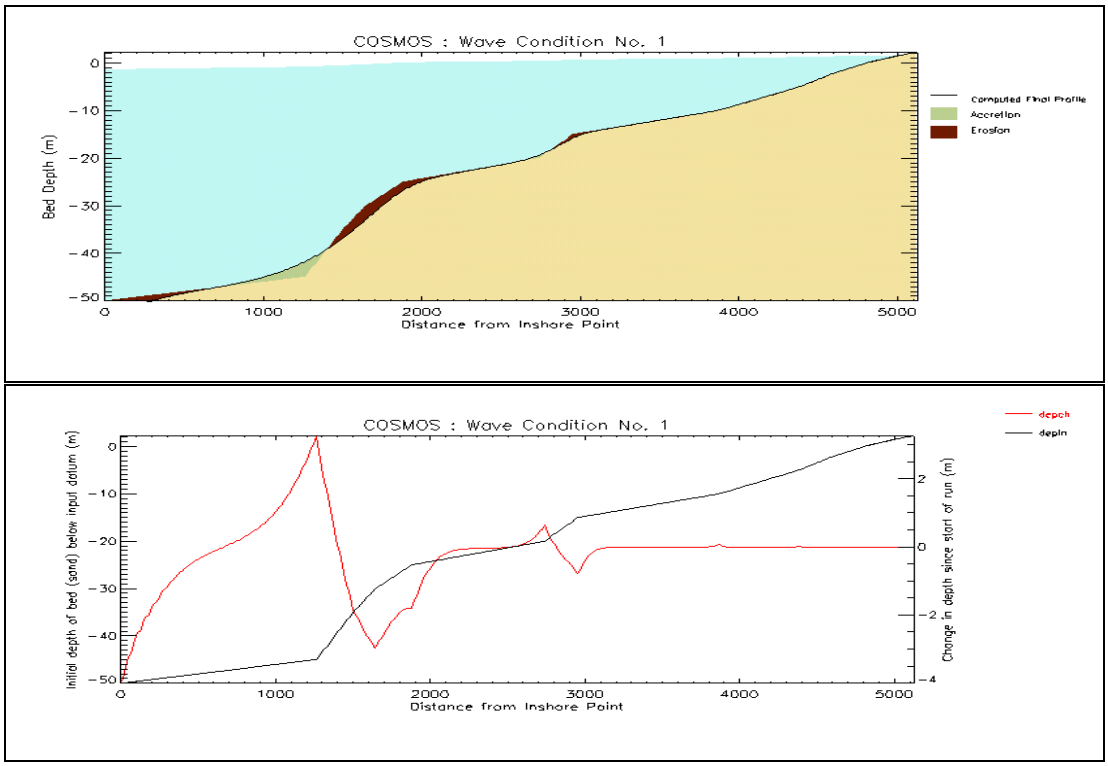
Şekil B.2c Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



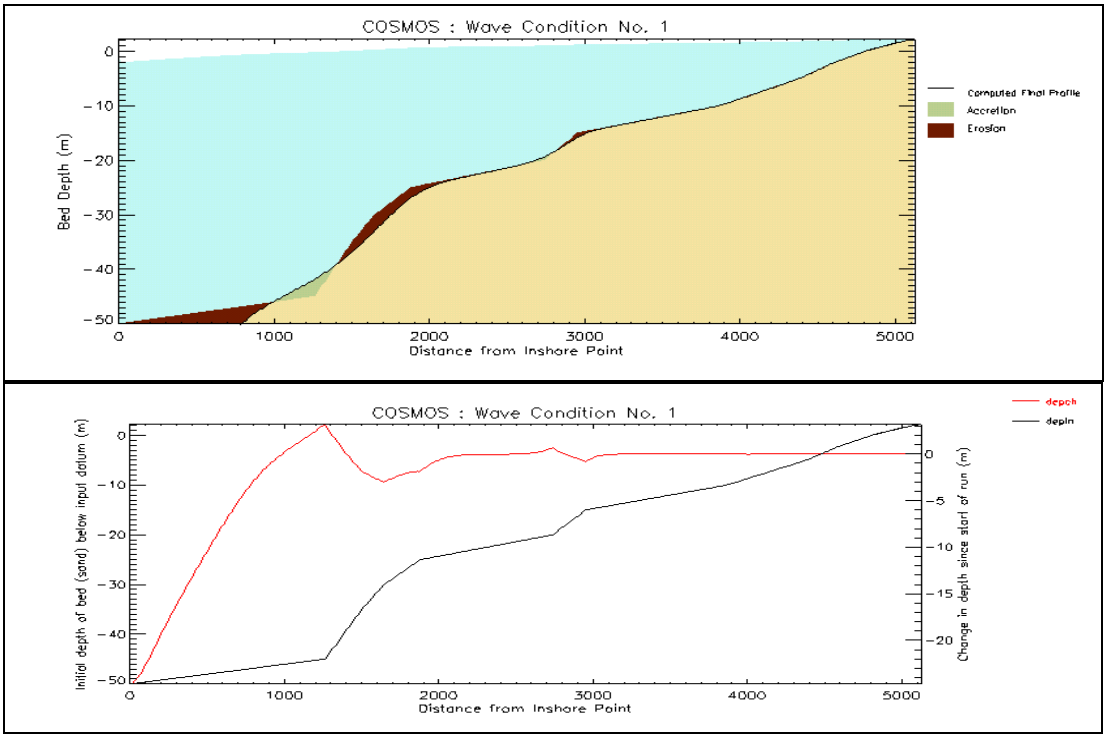
Şekil B.2d Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 30 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



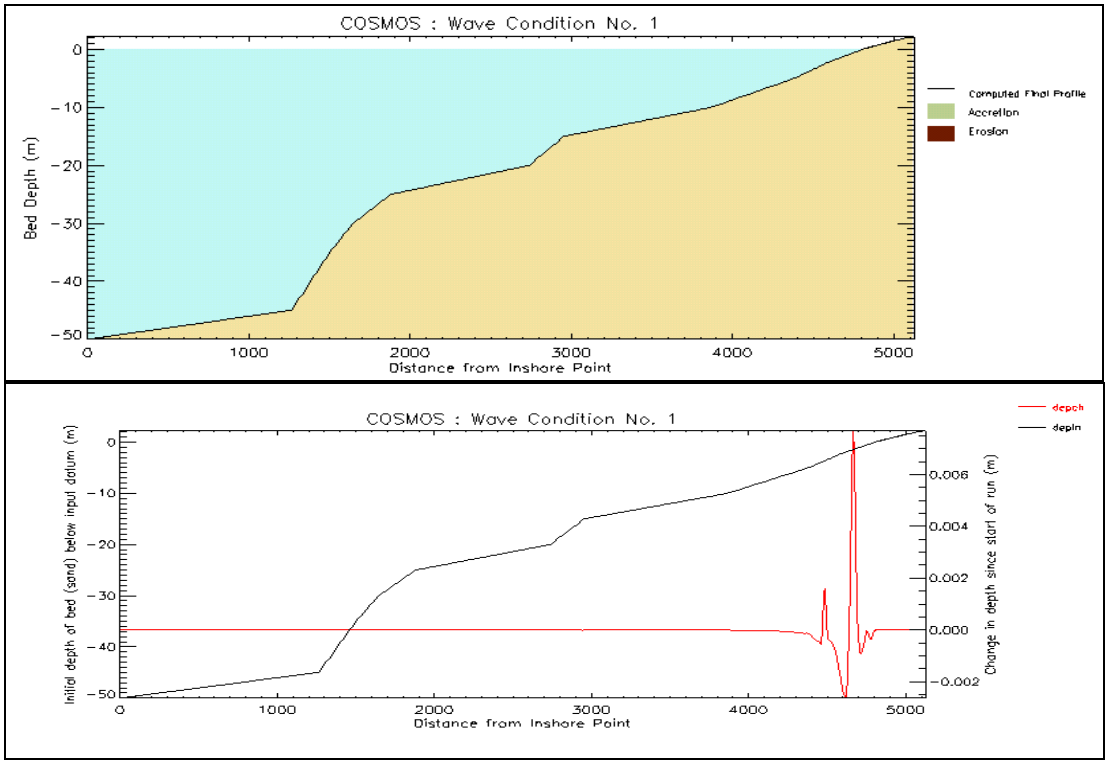
Şekil B.2e Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 50 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



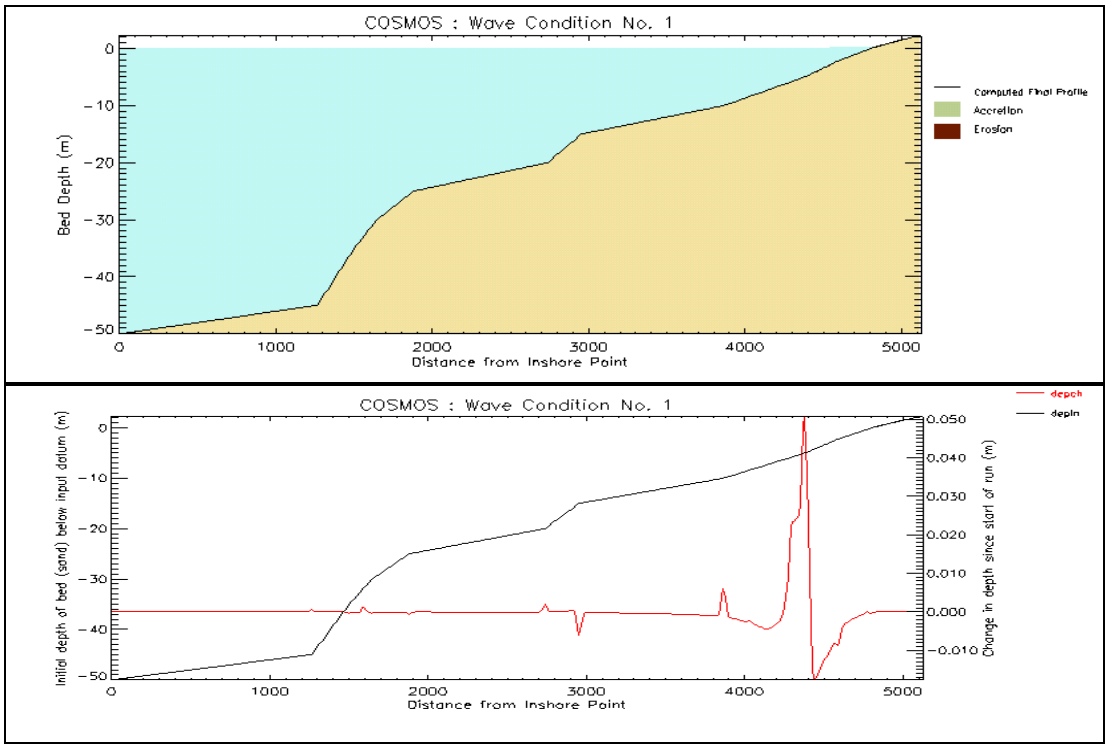
Şekil B.2f Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 70 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



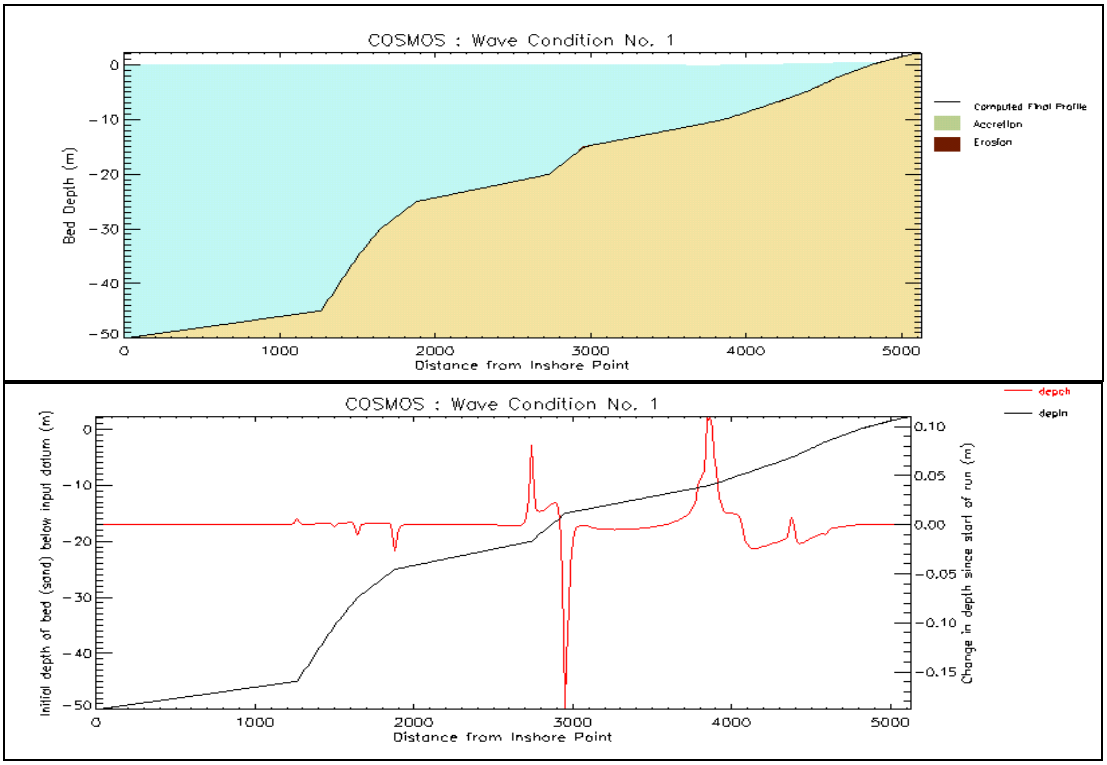
Şekil B.2g Tuzla'da derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 100 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



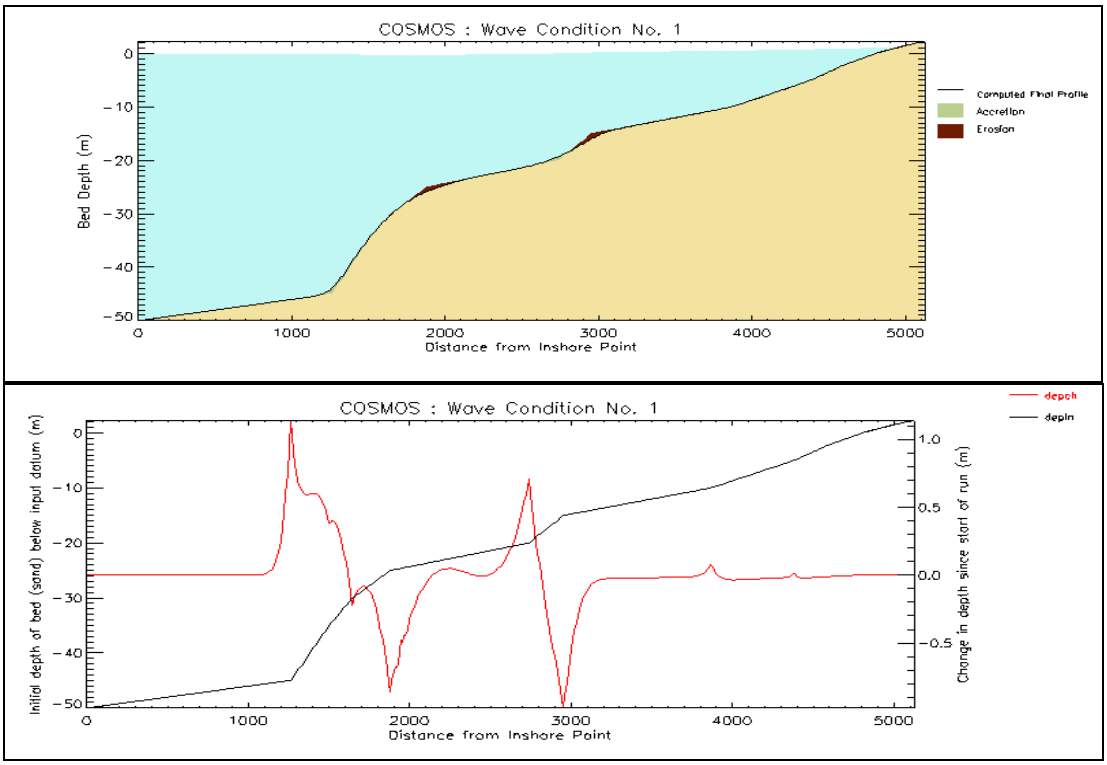
Şekil B.3a Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 1 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



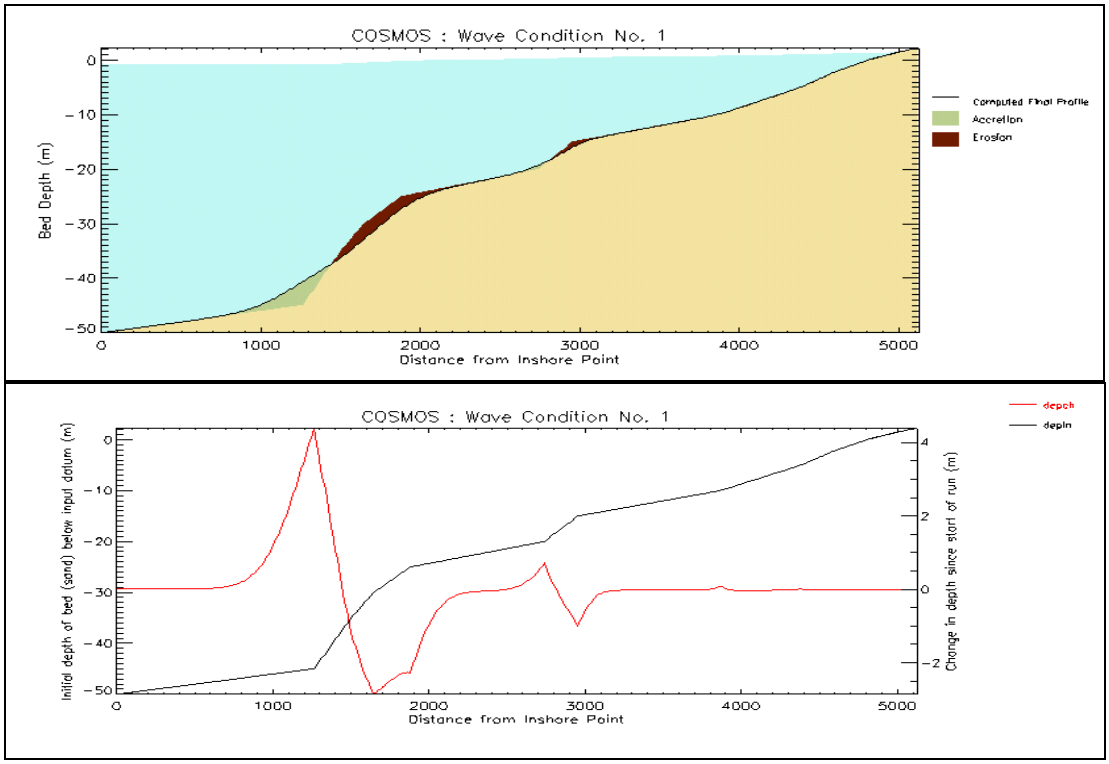
Şekil B.3b Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 5 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



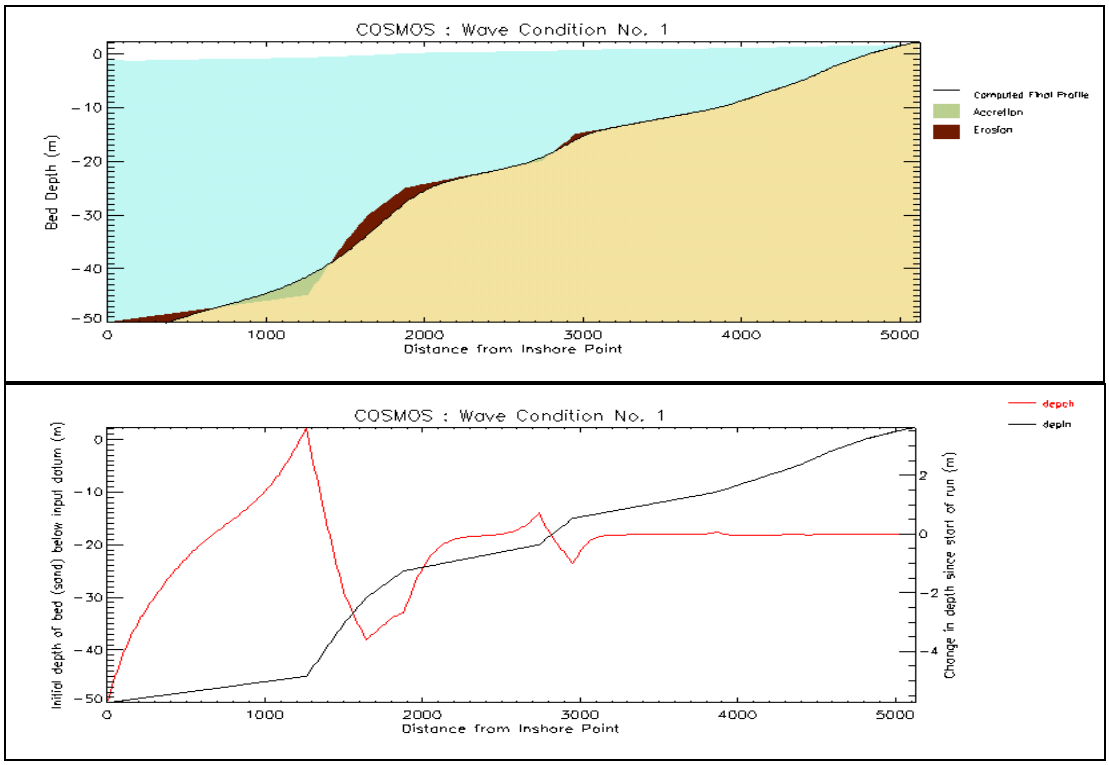
Şekil B.3c Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



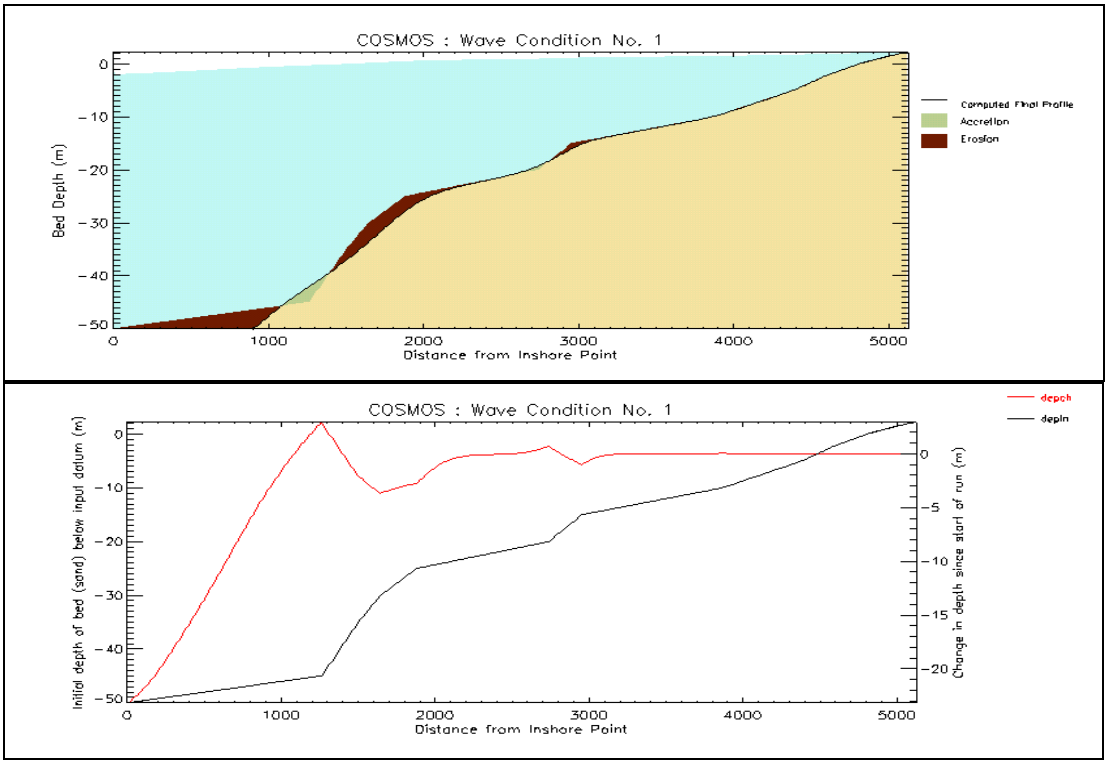
Şekil B.3d Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 30 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



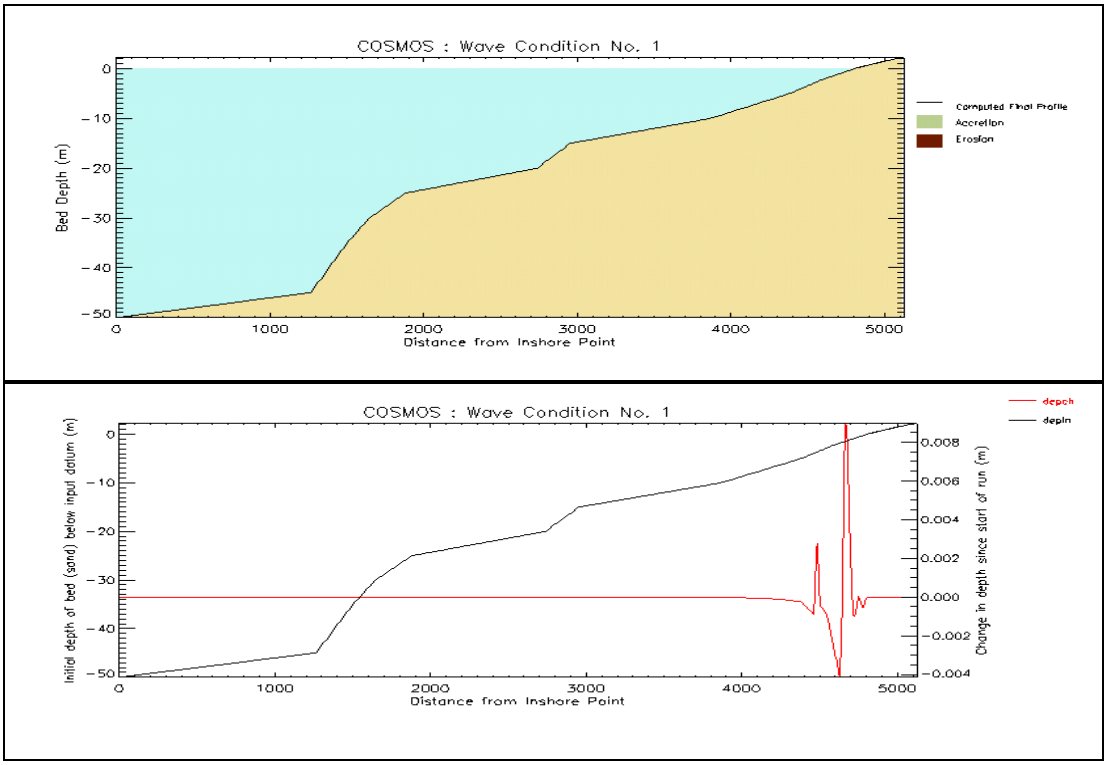
Şekil B.3e Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 50 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



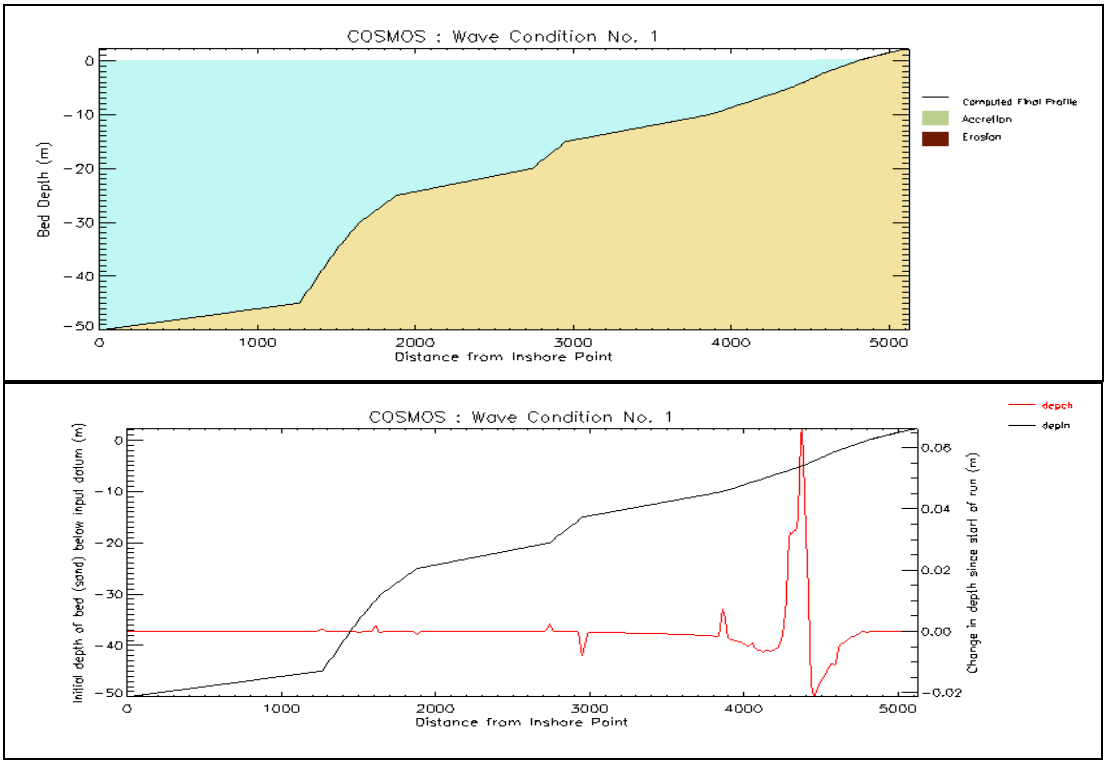
Şekil B.3f Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 70 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



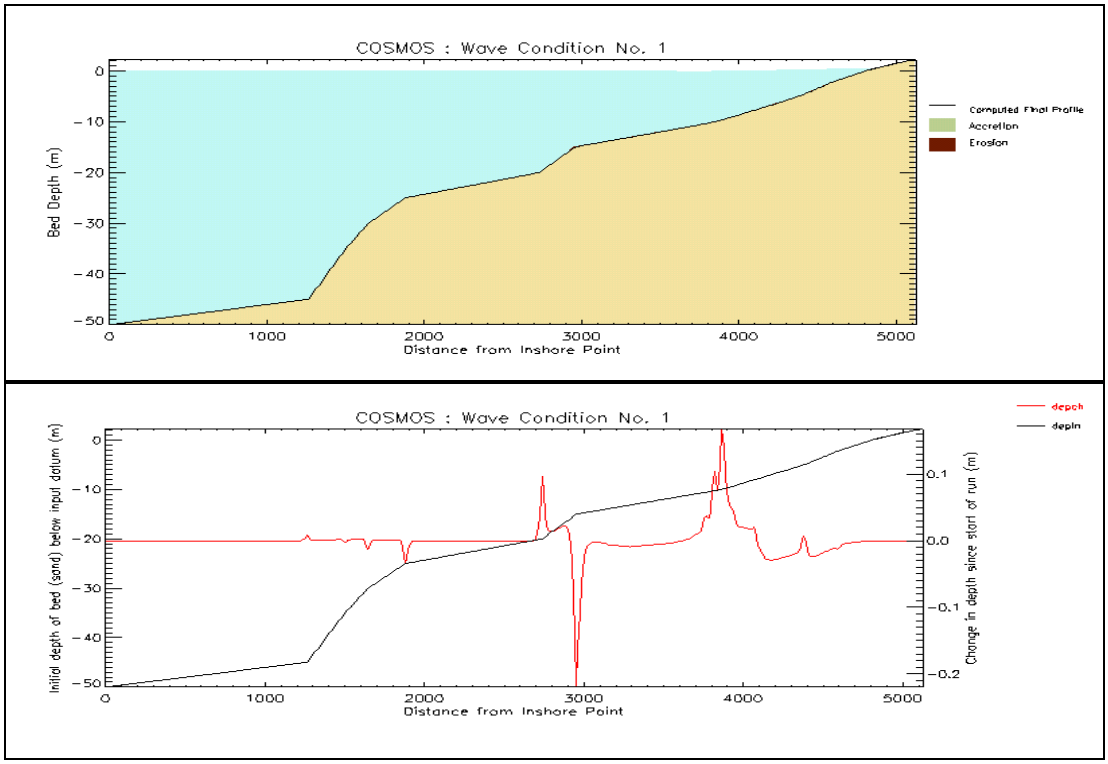
Şekil B.3g Tuzla derinlik profilinin,2 saat boyunca etkiyen 1.0 saat periyotlu ve 100 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



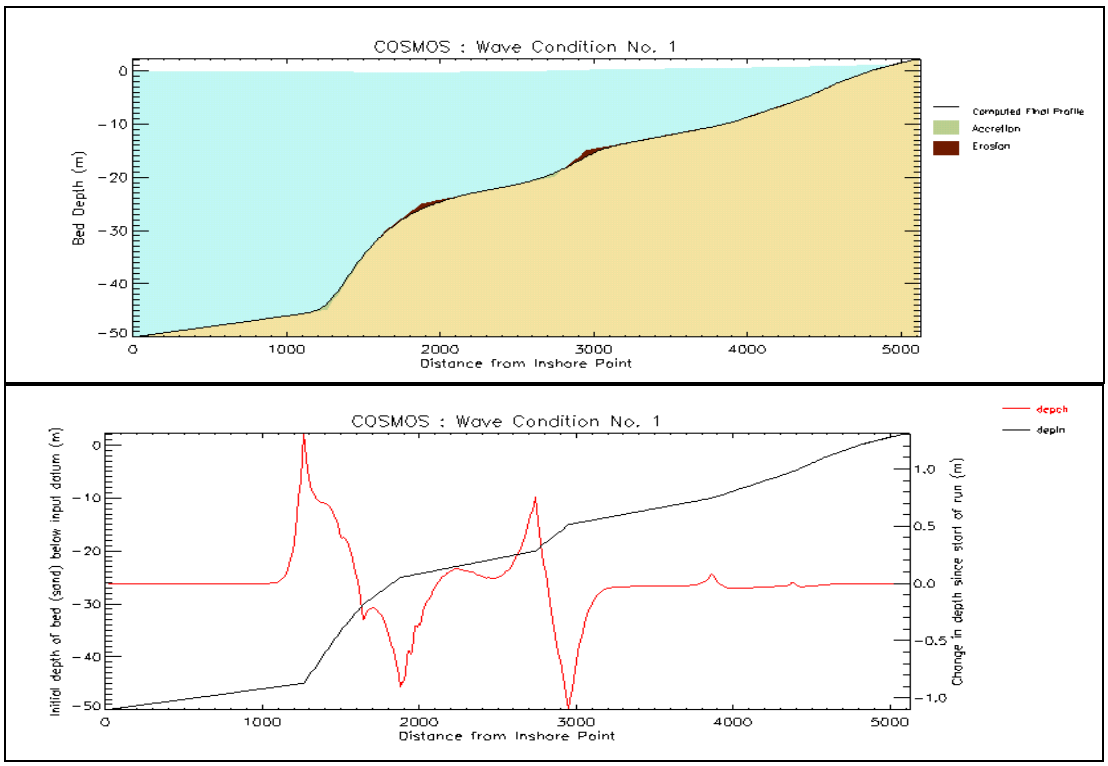
Şekil B.4a Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 1 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



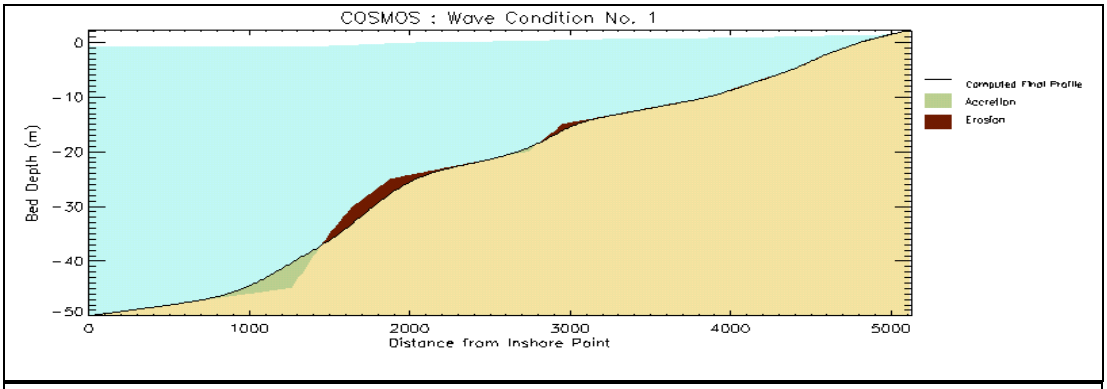
Şekil B.4b Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 5 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).

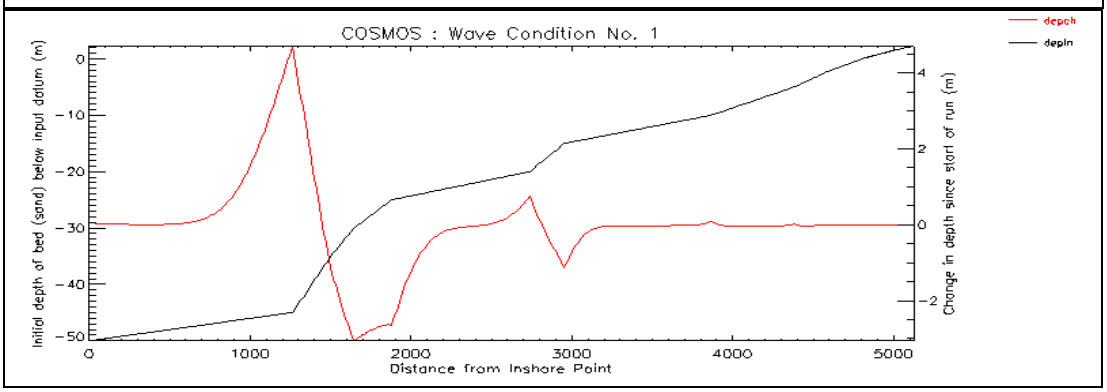


Şekil B.4c Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).

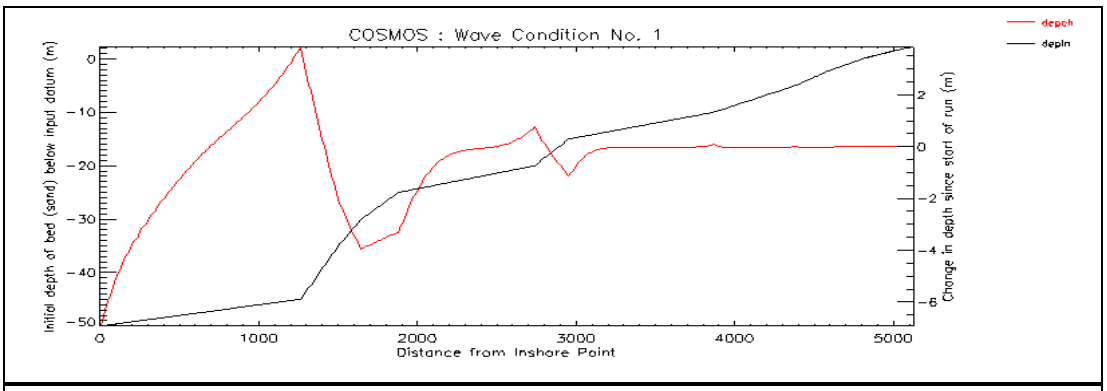


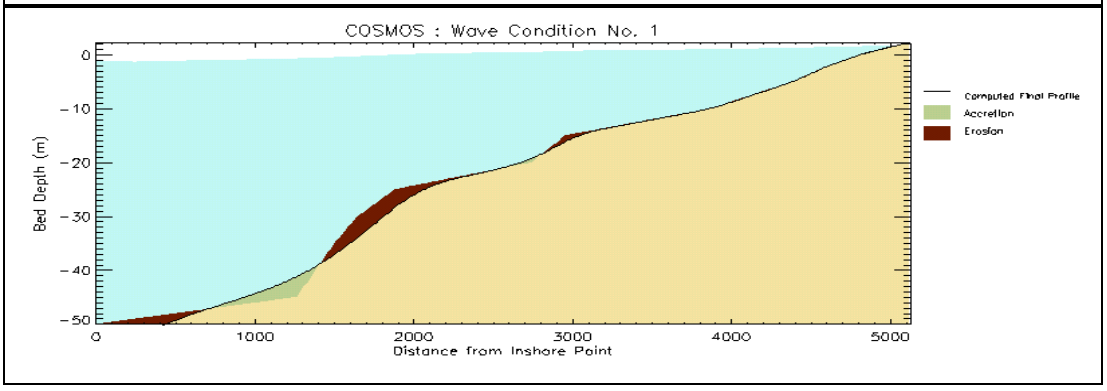
Şekil B.4d Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 30 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



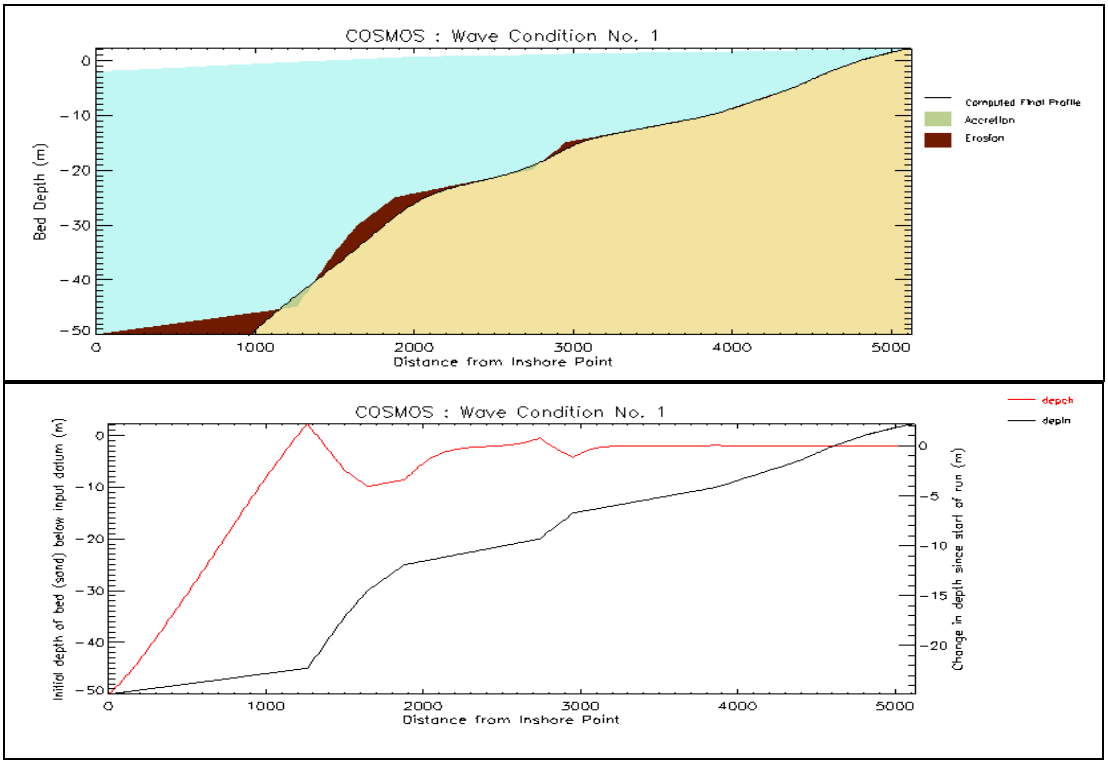


Şekil B.4e Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 50 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).

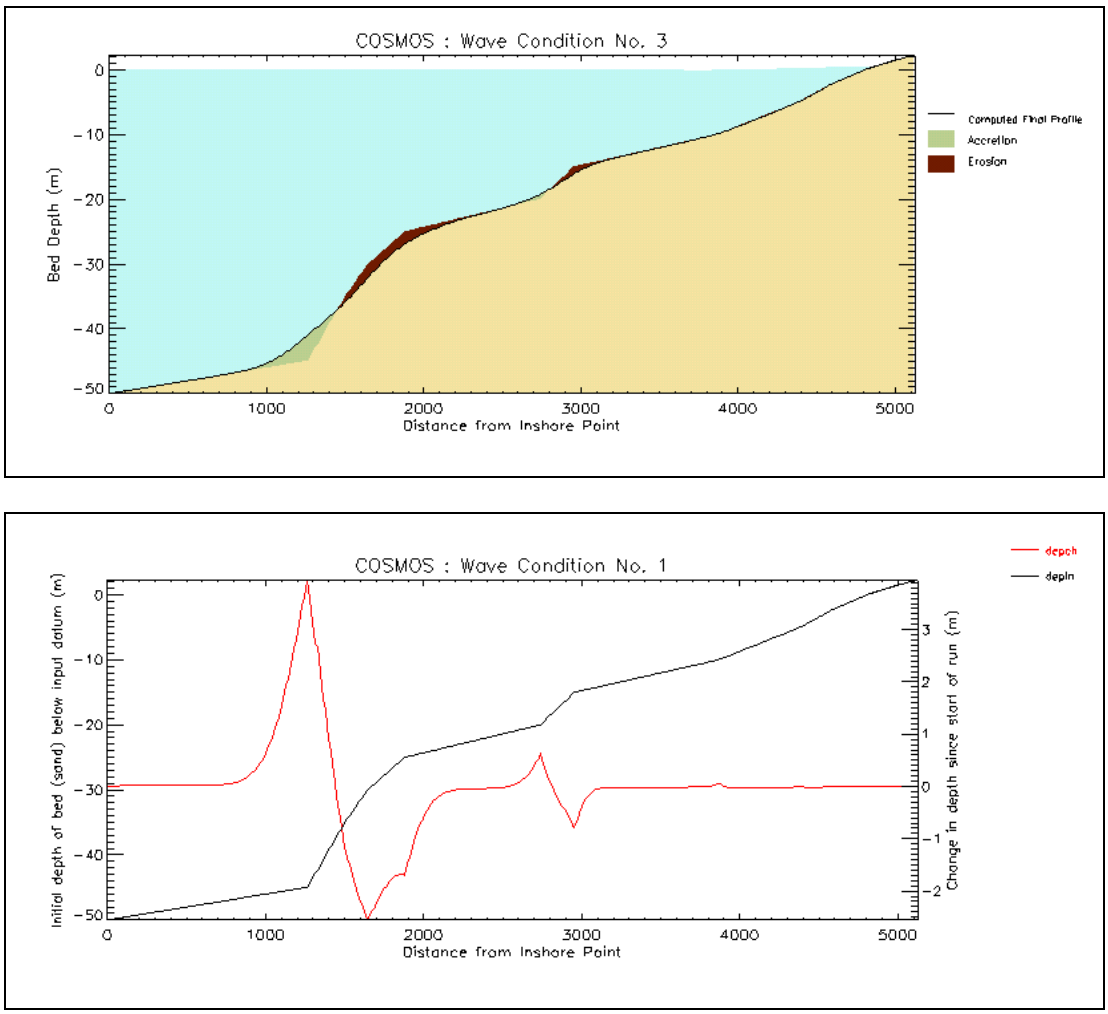




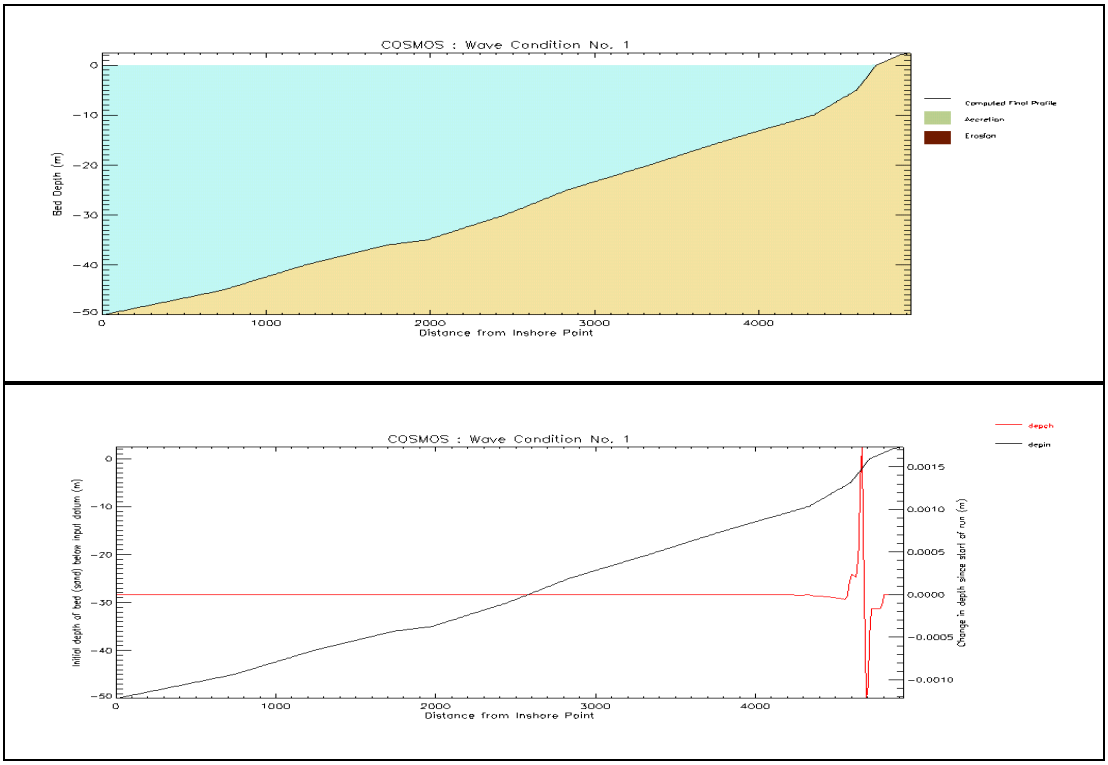
Şekil B.4f Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 70 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



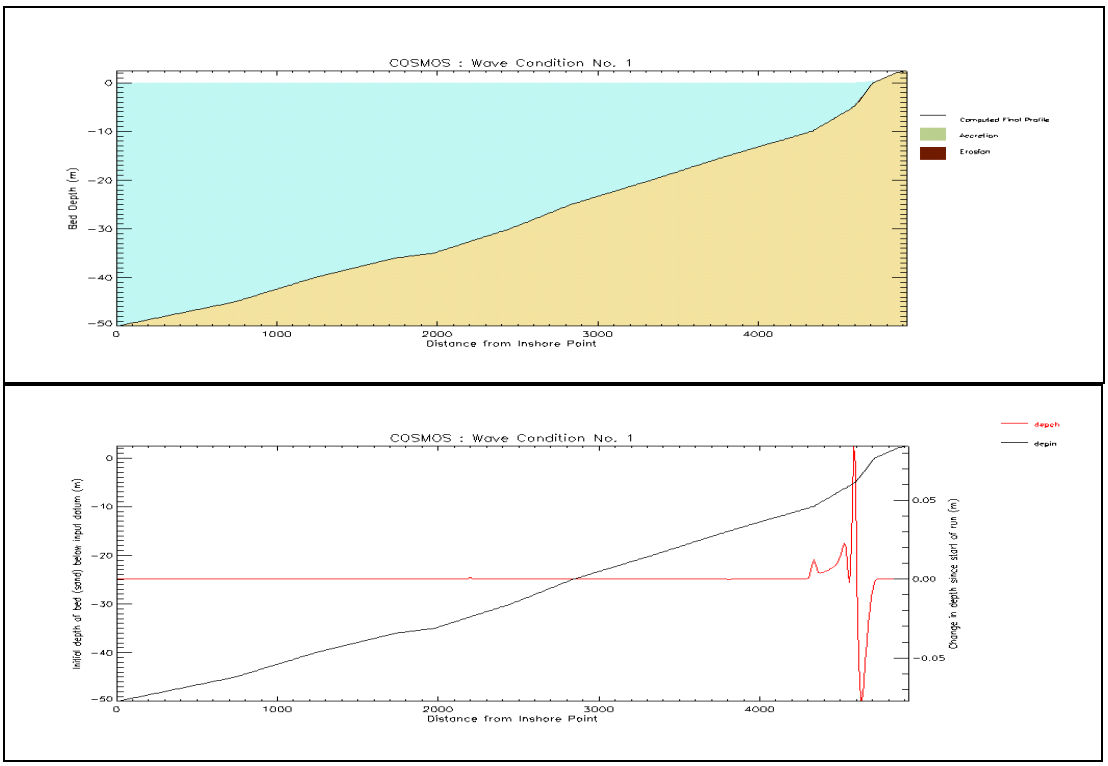
Şekil B.4g Tuzla derinlik profilinin, 1.5 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 100 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



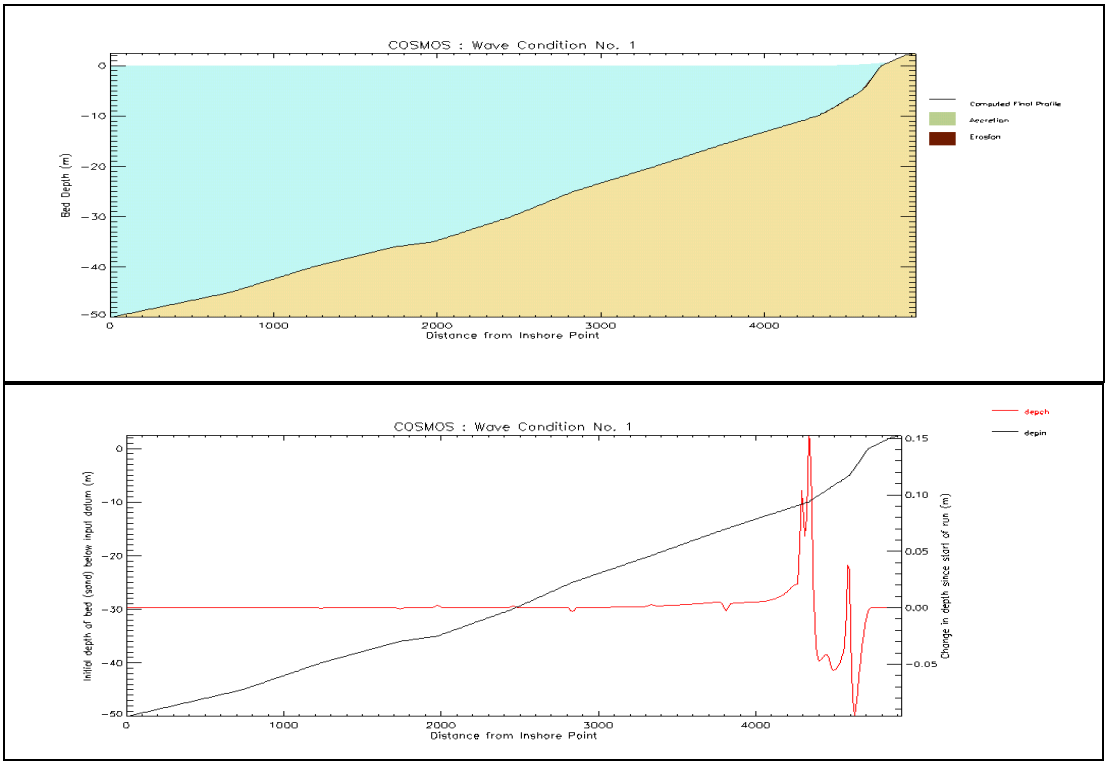
Şekil B.5 Tuzla derinlik profilinin, 1.0 saat boyunca ard arda etkiyen 0.5 saat periyotlu ve sırasıyla 50 cm, 30 cm ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



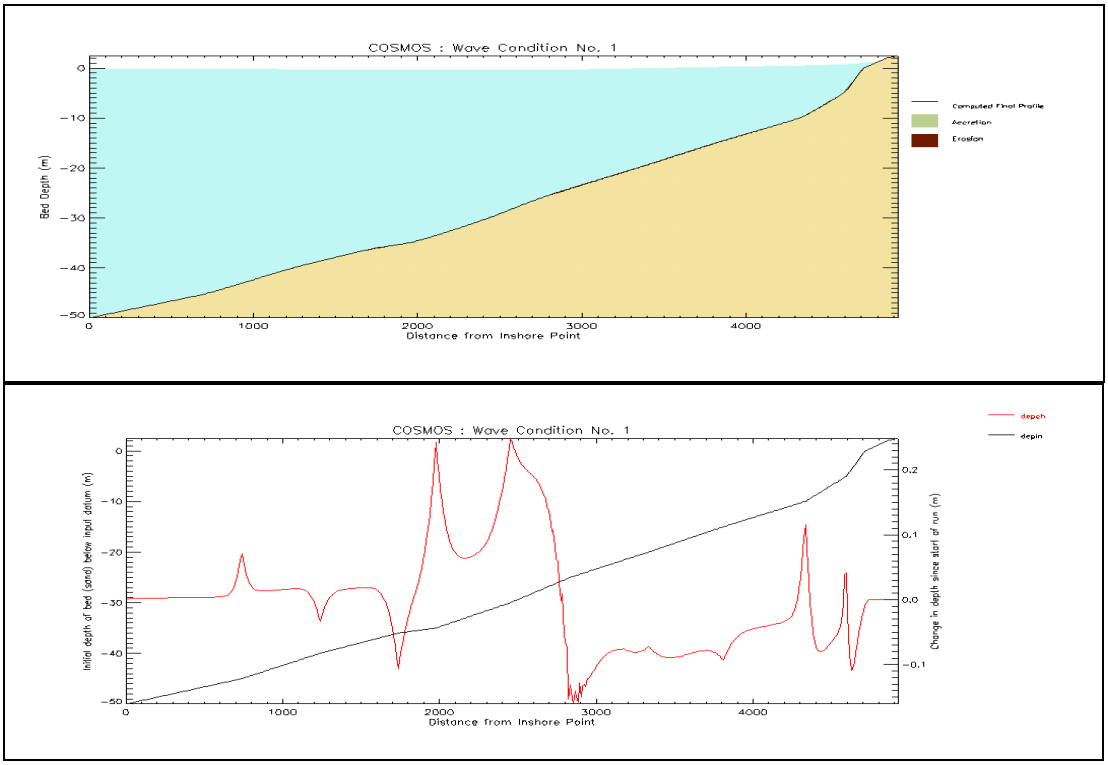
Şekil B.6a Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 1 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



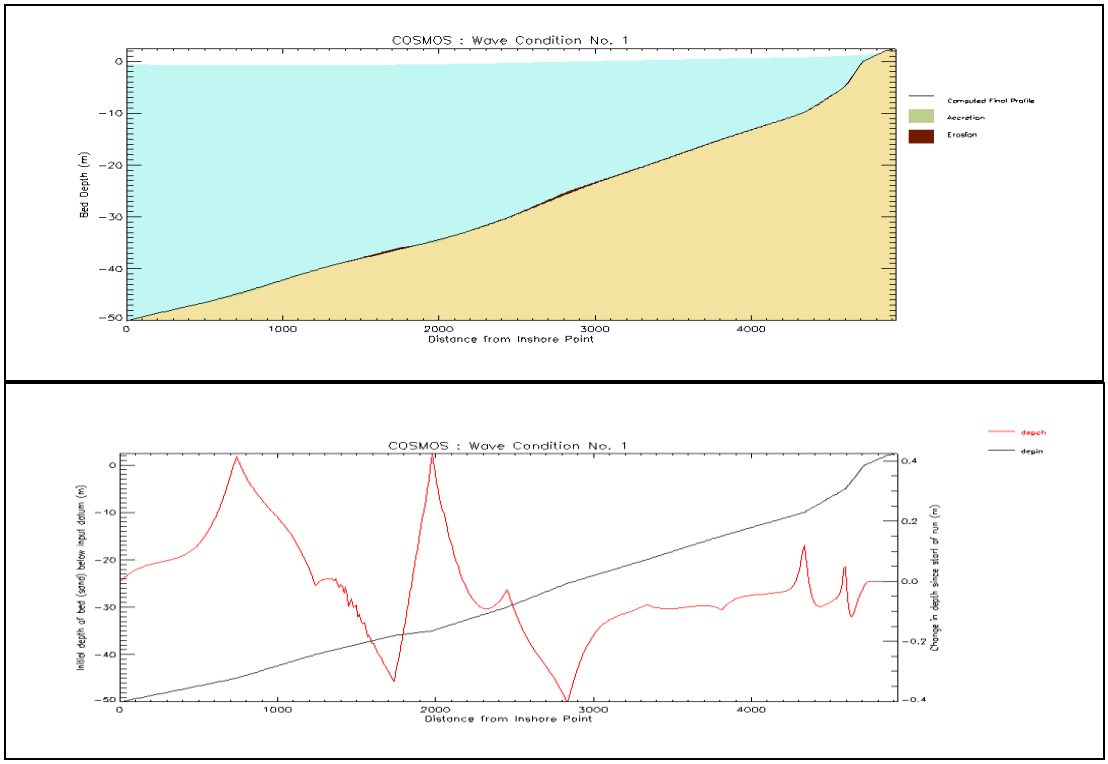
Şekil B.6b Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 5 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



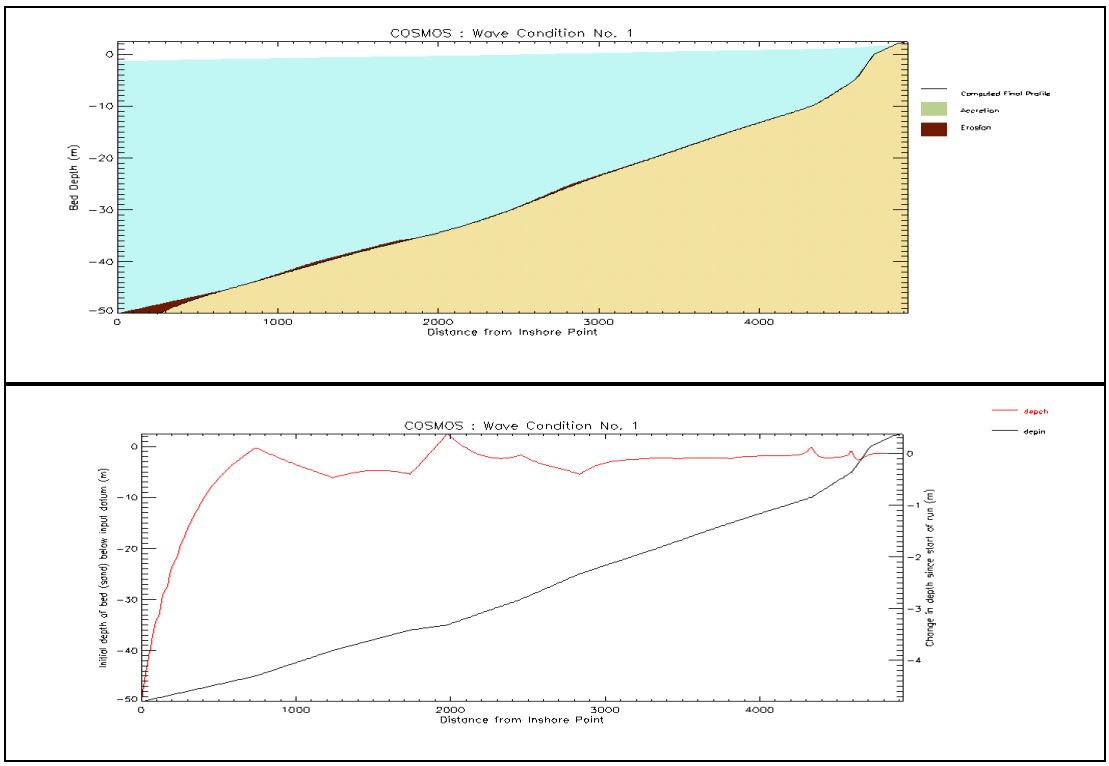
Şekil B.6c Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



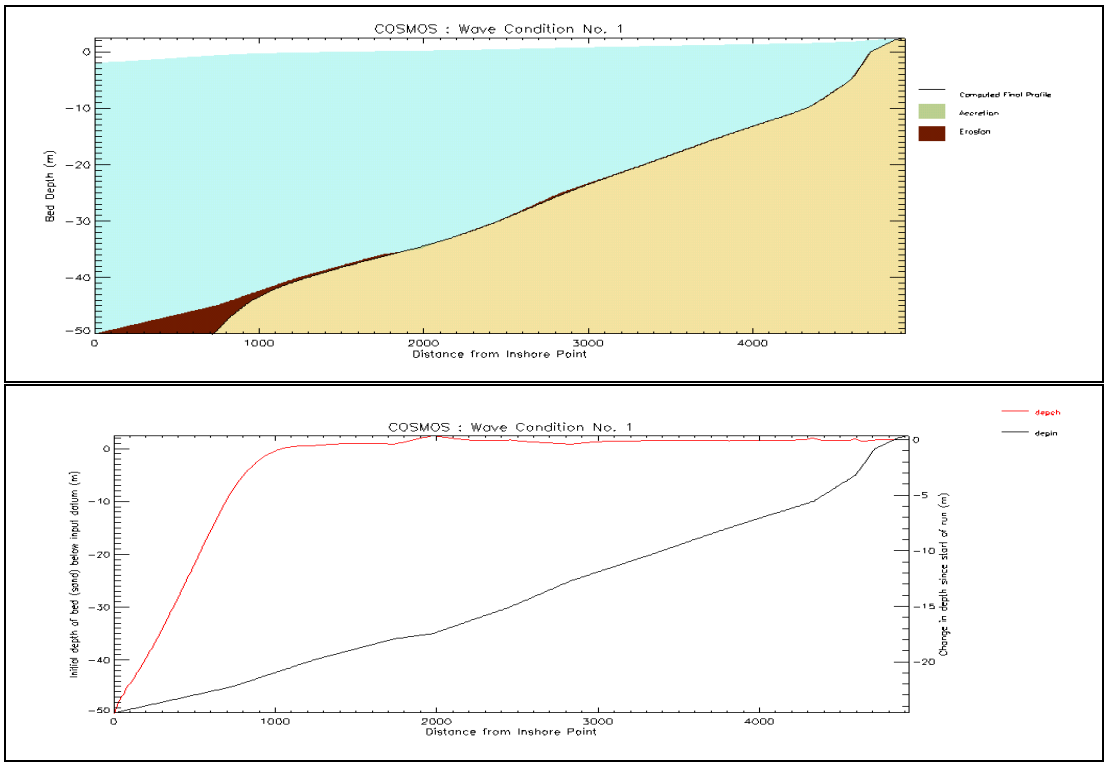
Şekil B.6d Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 30 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



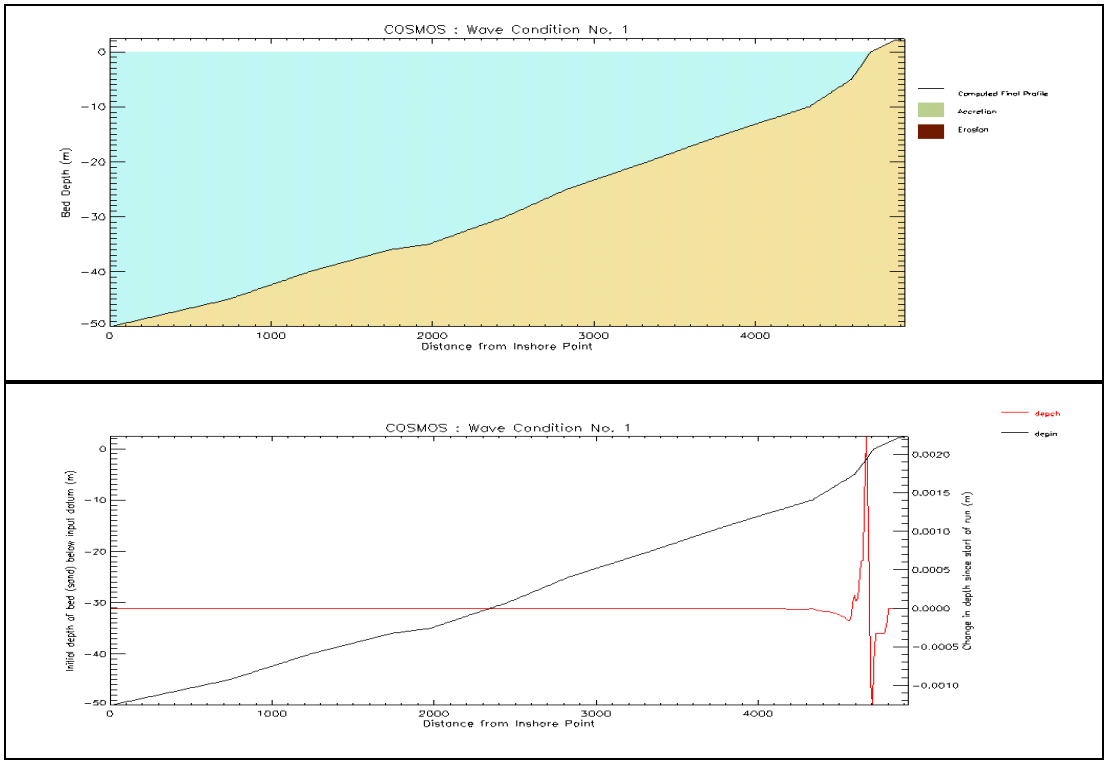
Şekil B.6e Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 50 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



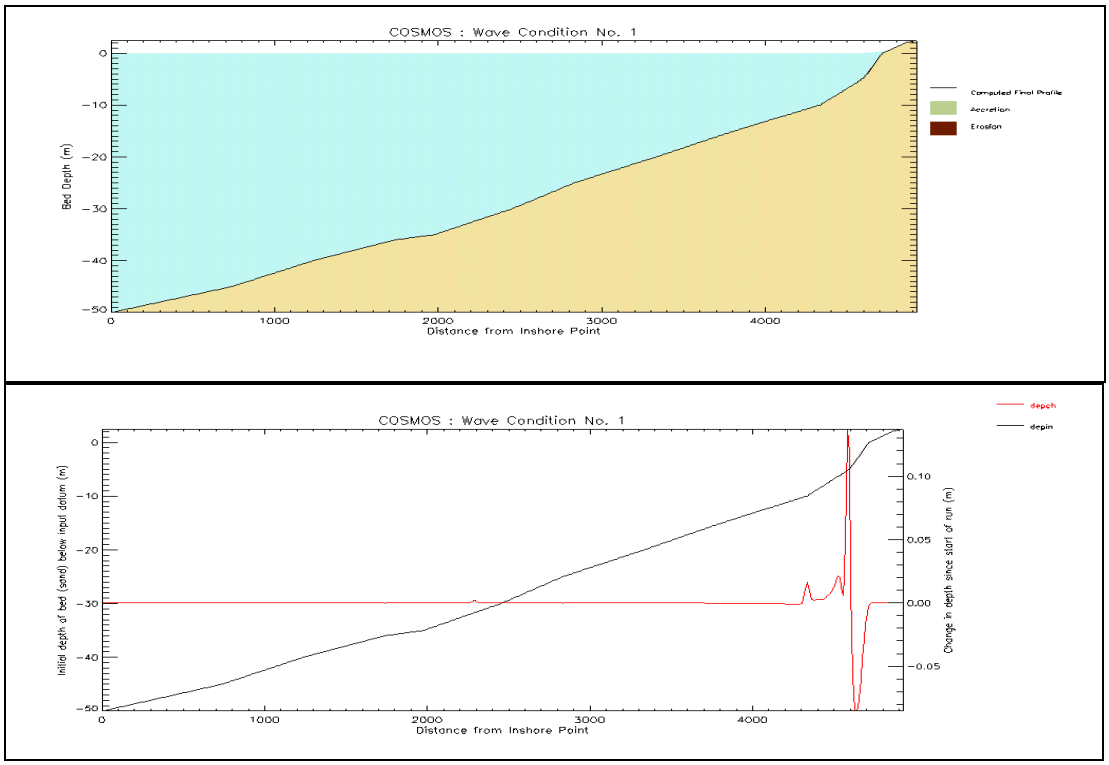
Şekil B.6f Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 70 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



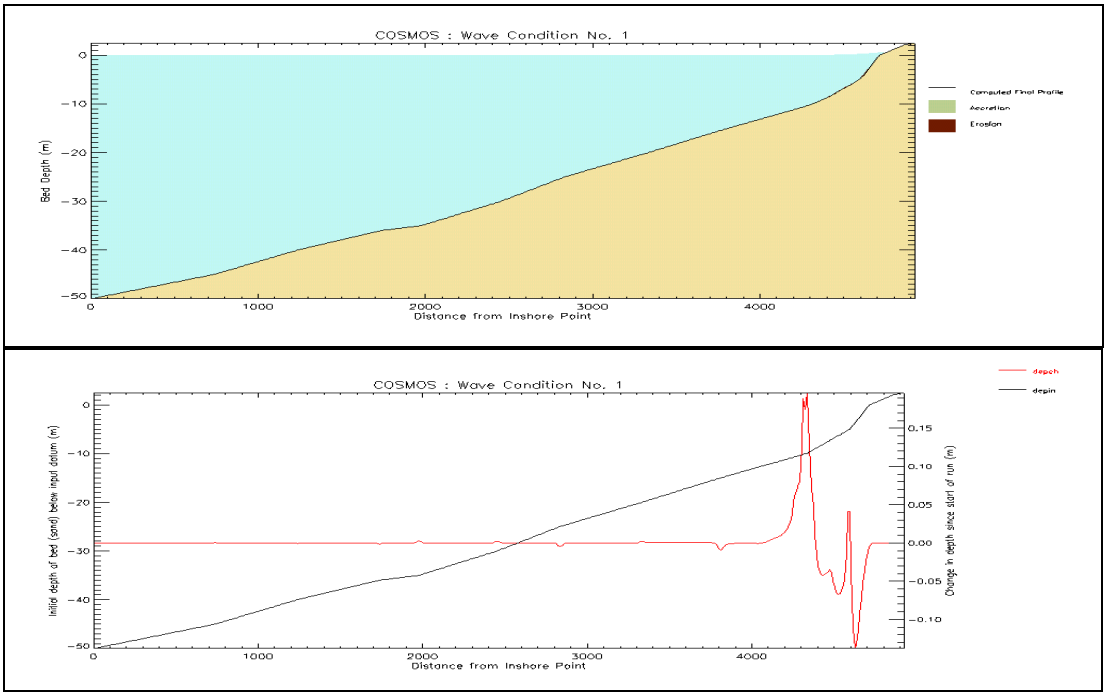
Şekil B.6f Kadıköy derinlik profilinin, 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 100 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



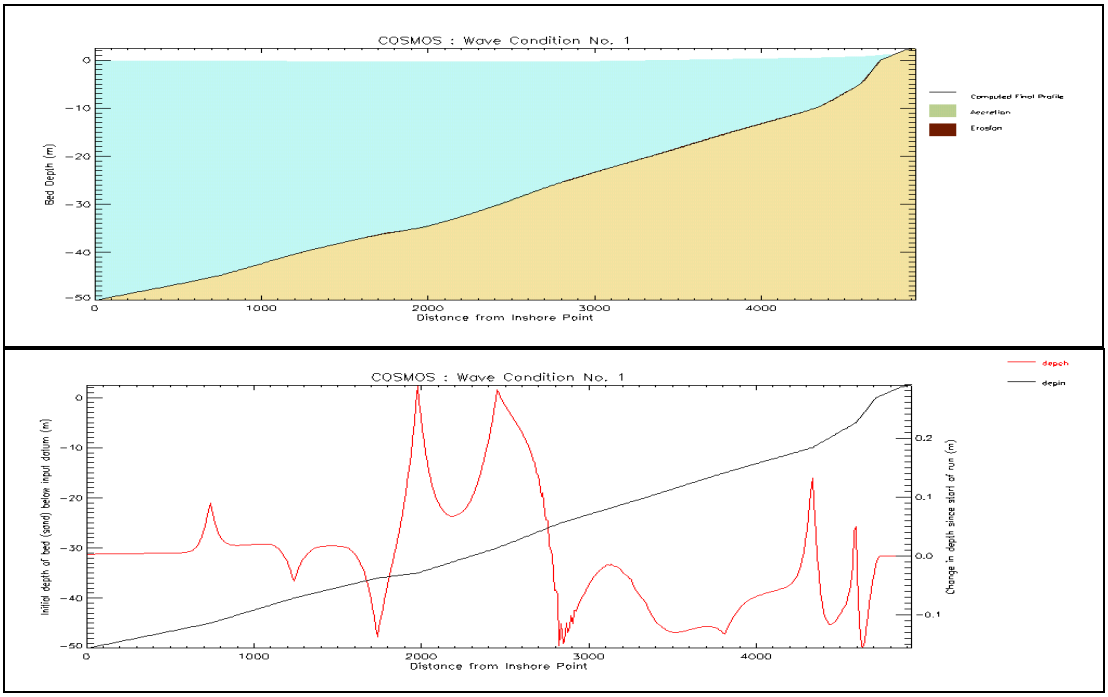
Şekil B.7a Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 1 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



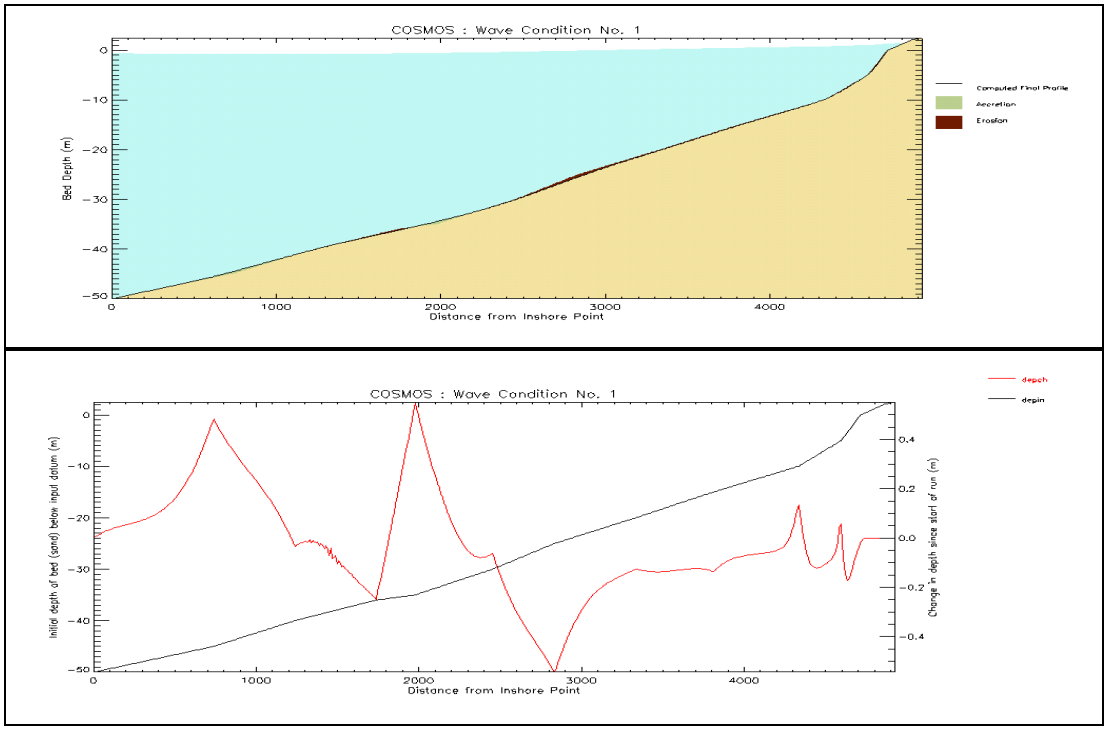
Şekil B.7b Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 5 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



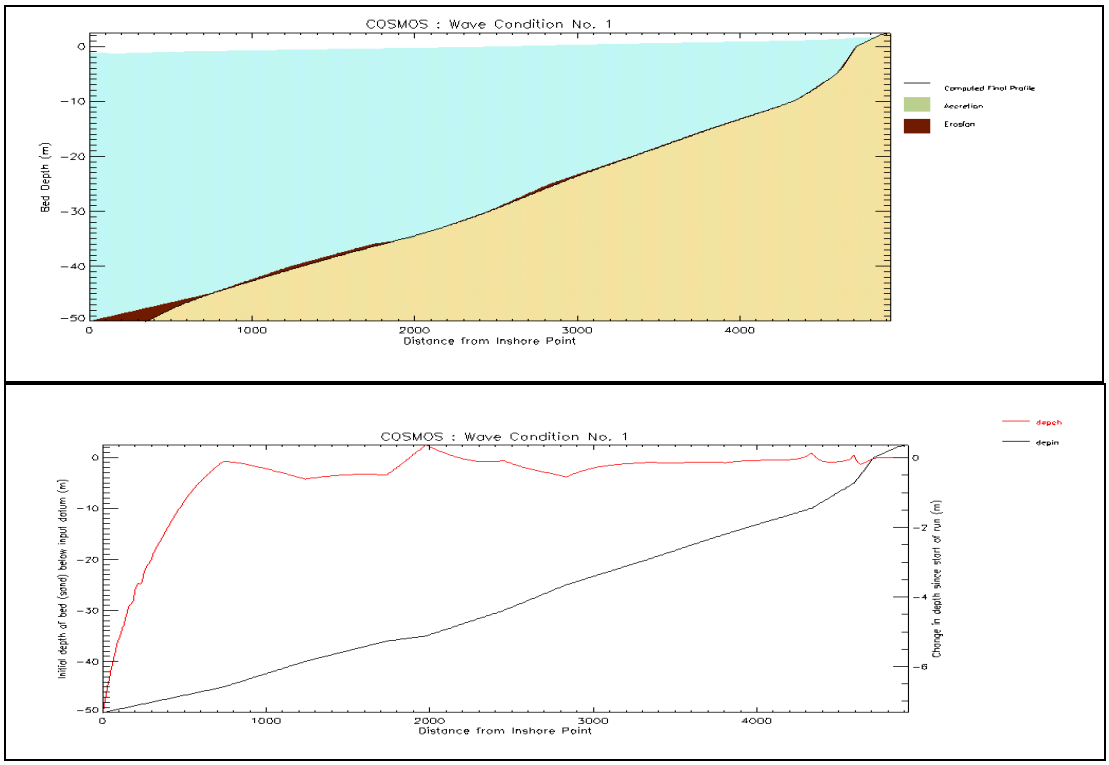
Şekil B.7c Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



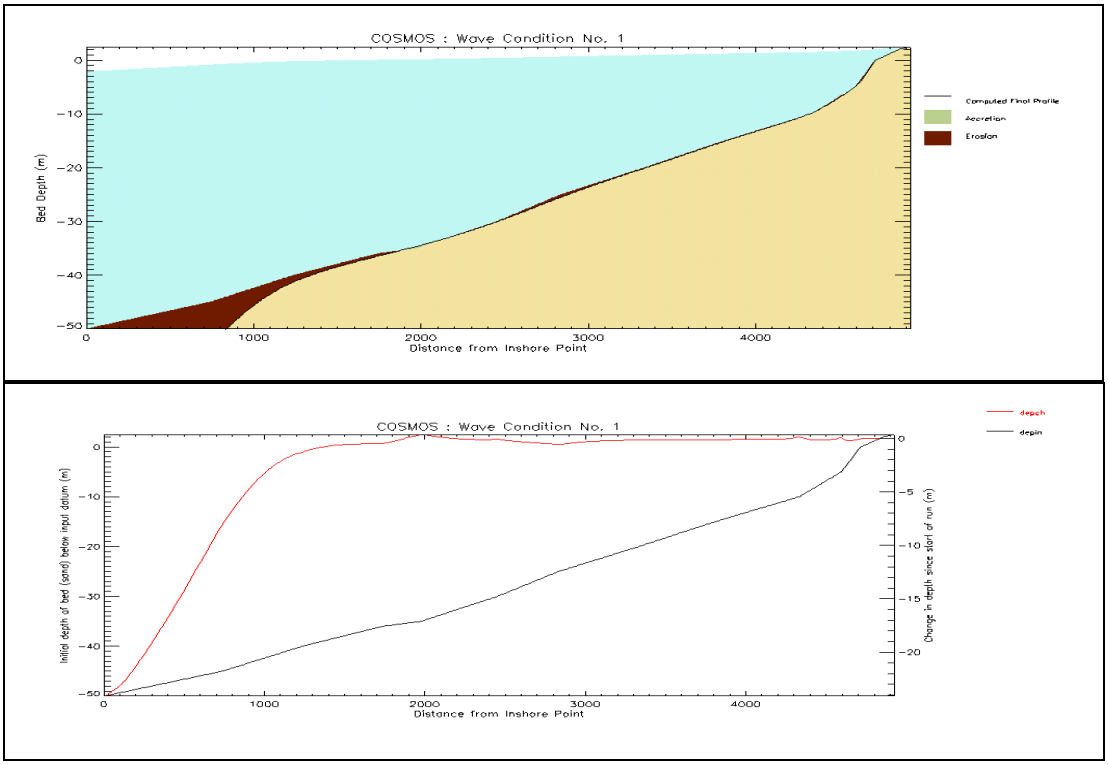
Şekil B.7d Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 30 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



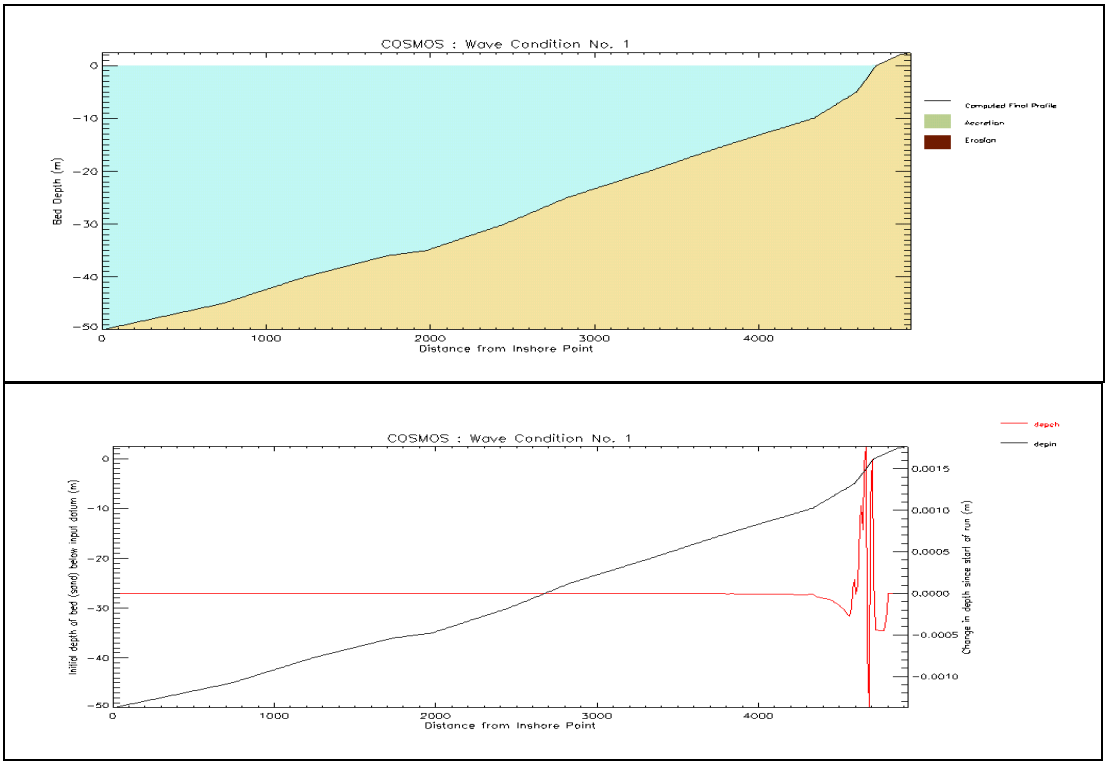
Şekil B.7e Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 50 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



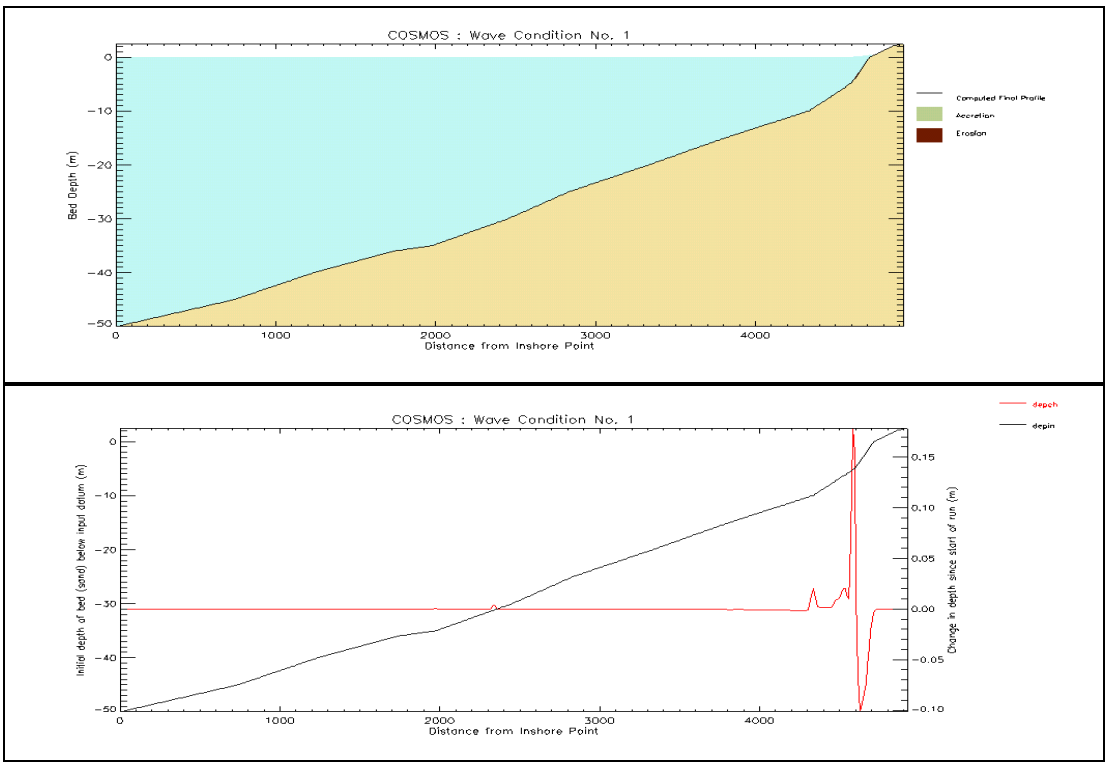
Şekil B.7f Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 70 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



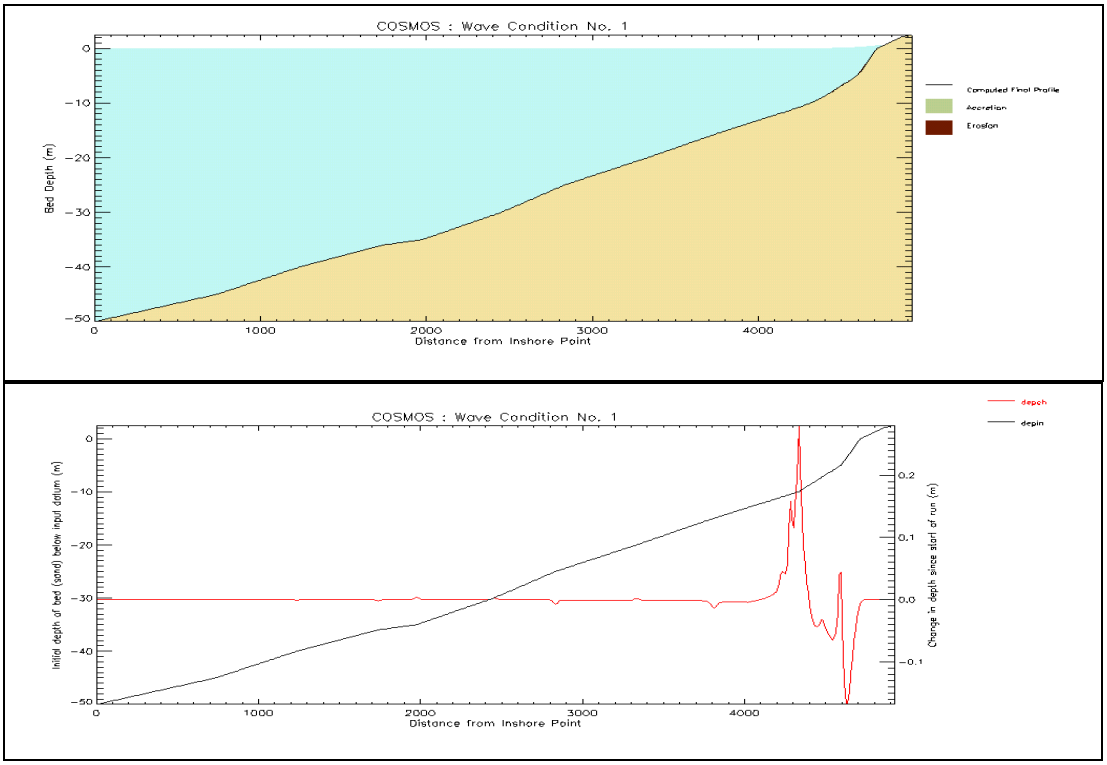
Şekil B.7g Kadıköy derinlik profilinin, 2 saat boyunca etkiyen 1 saat periyotlu ve 100 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



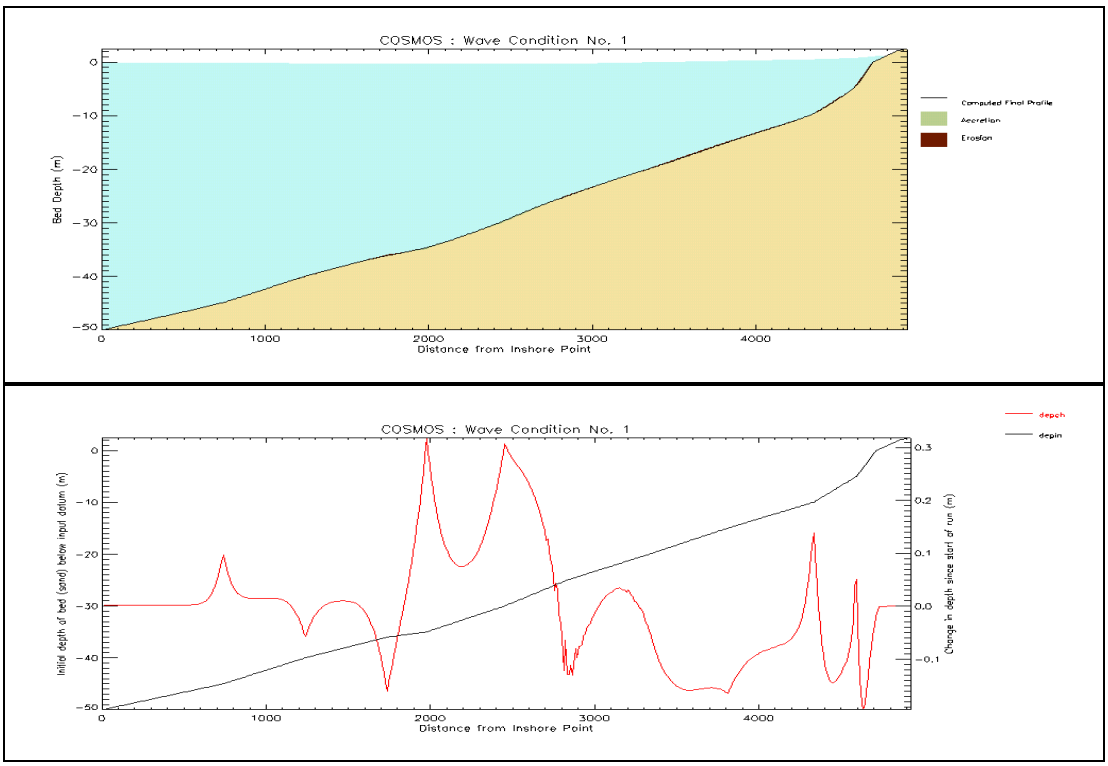
Şekil B.8a Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 1 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



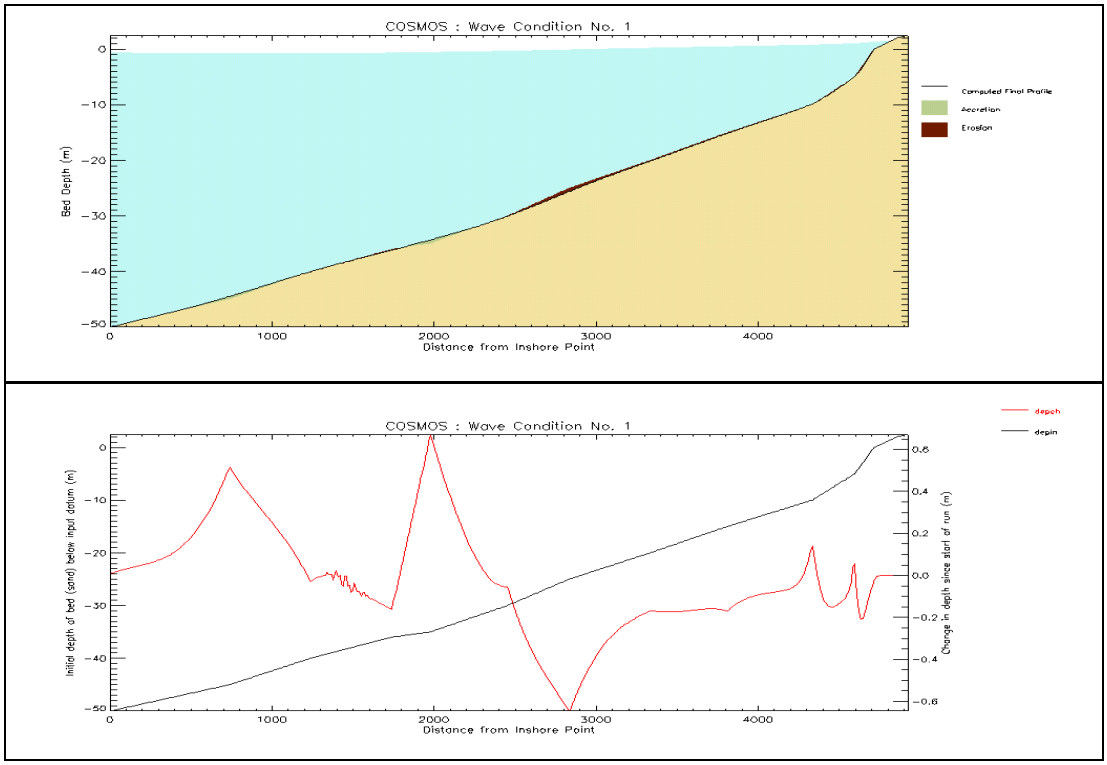
Şekil B.8b Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 5cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



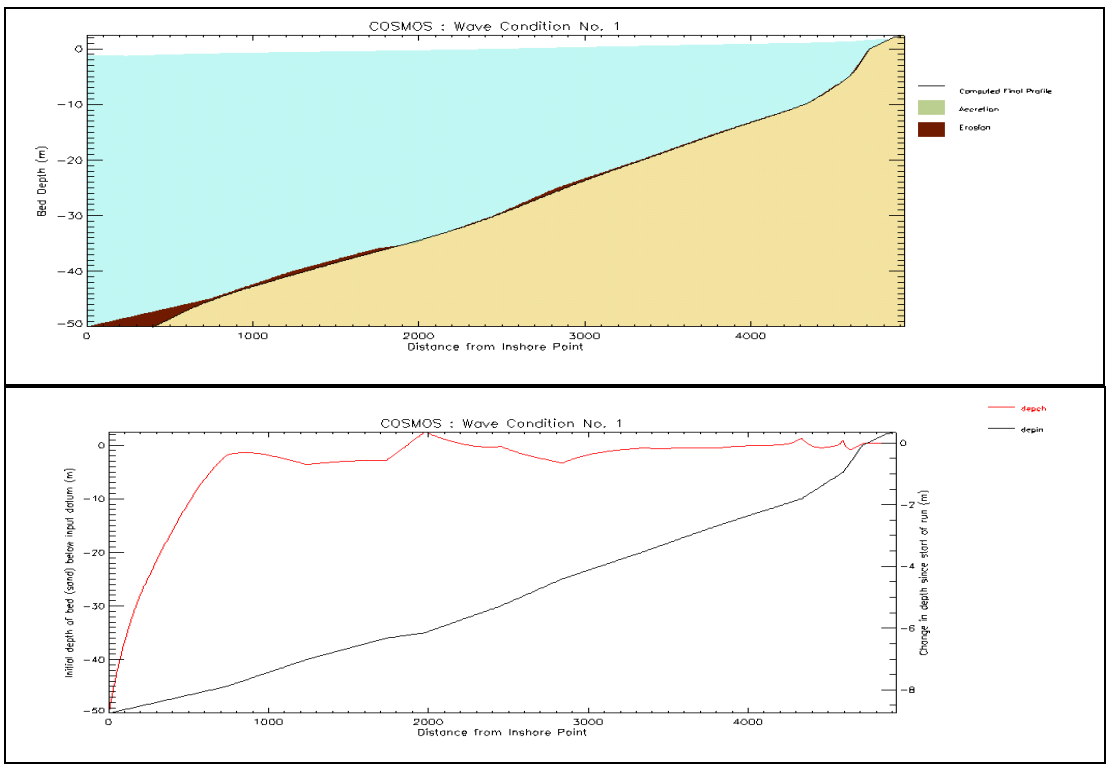
Şekil B.8c Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 10cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



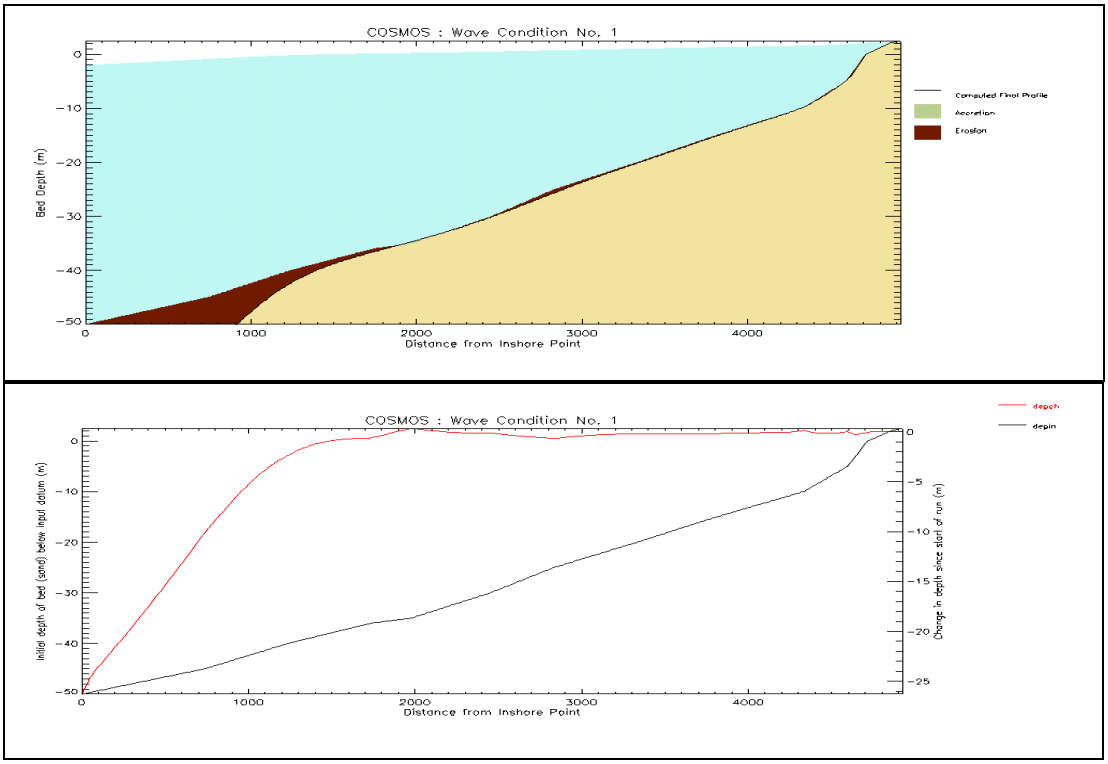
Şekil B.8d Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 30 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



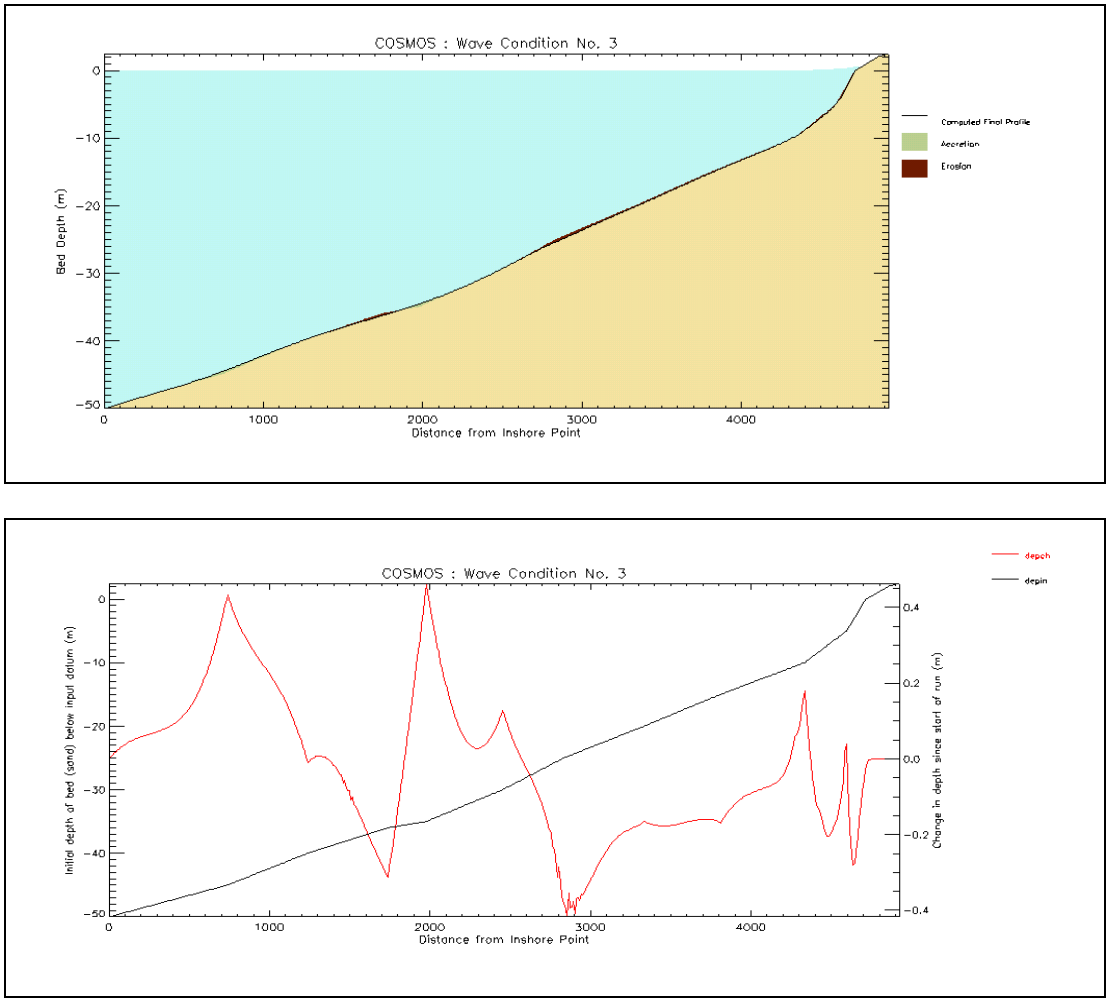
Şekil B.8e Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 50 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



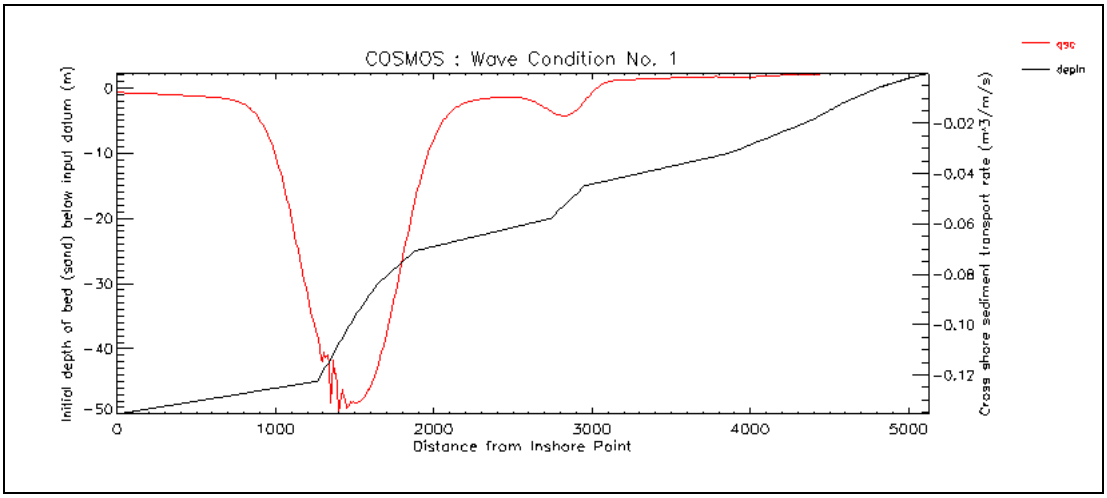
Şekil B.8f Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 70 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



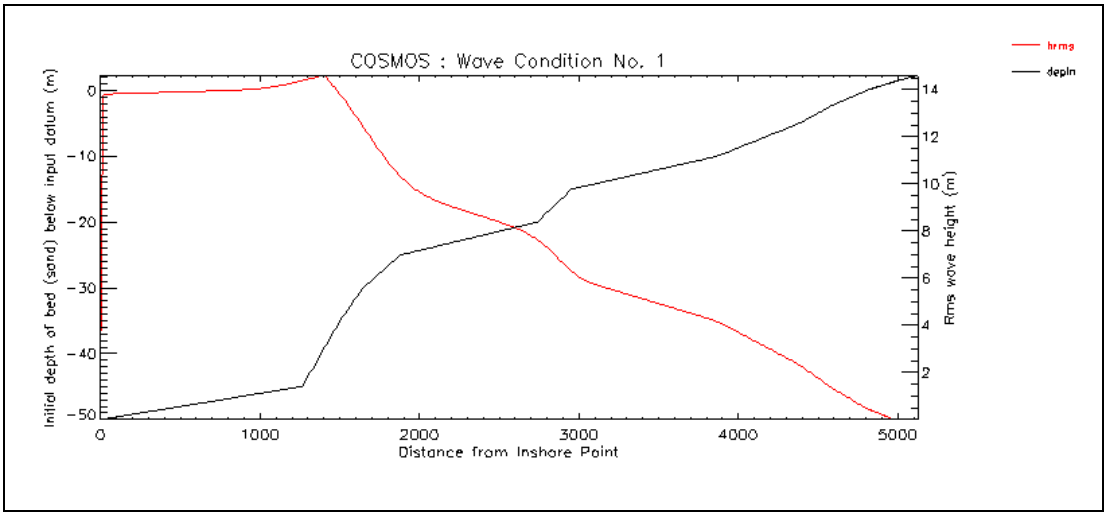
Şekil B.8g Kadıköy derinlik profilinin, 3 saat boyunca etkiyen 1.5 saat periyotlu ve 100 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



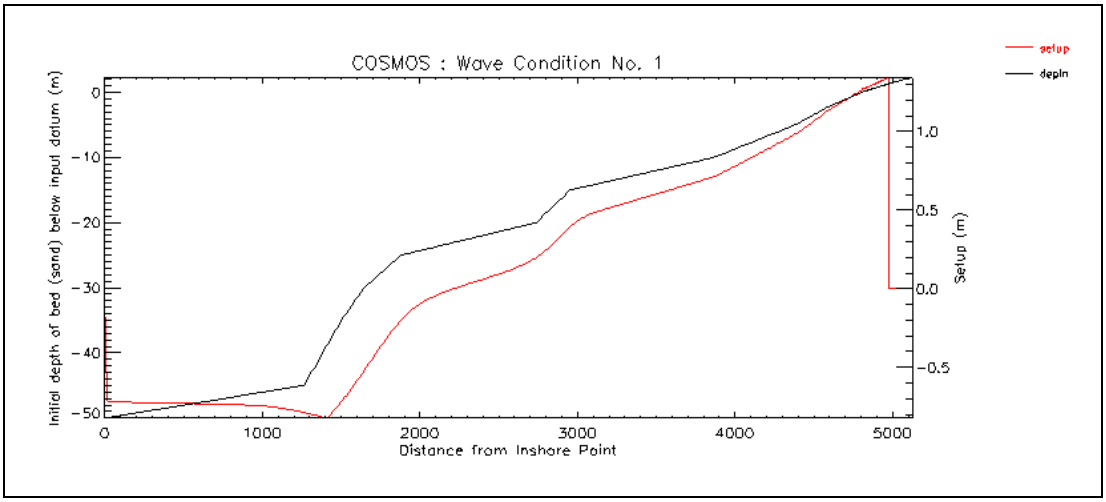
Şekil B.9 Kadıköy derinlik profilinin, 1.0 saat boyunca ard arda etkiyen 0.5 saat periyotlu ve sırasıyla 50 cm, 30 cm ve 10 cm yükseklikli kıyı çizgisine 75^{o} yönünden gelen deprem dalgaları sonucu değişimi (Kıyıdan 5000 m açığa kadar) Kahverengi kesit oyulmayı, yeşil kesit birikmeyi gösterir. Grafikteki siyah çizgi ilk deniz tabanı derinliğini, kırmızı çizgi de deniz tabanındaki derinlik değişimini gösterir (+ birikme, - oyulma).



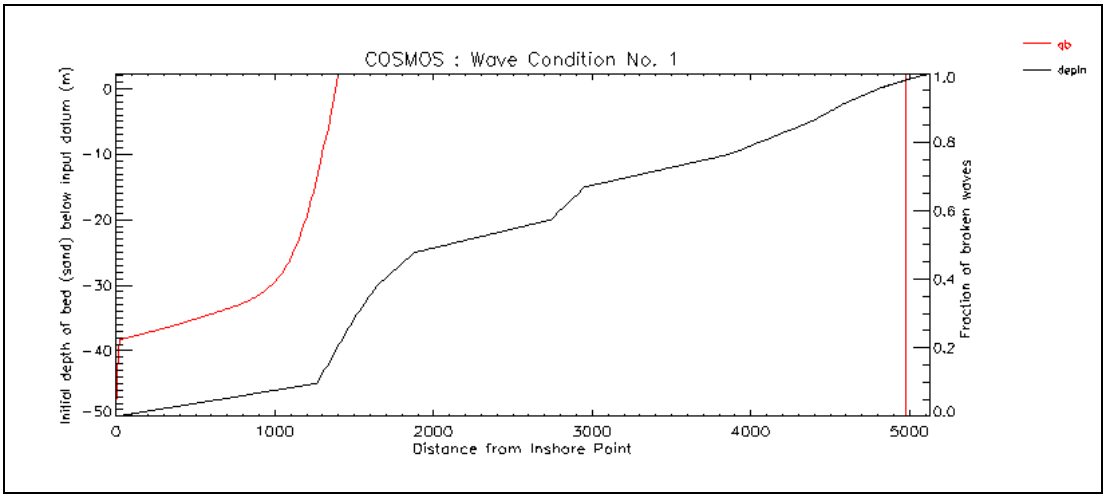
Şekil B.10a Tuzla'da 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 0.5 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgası sonucu oluşan kıyıya dik taban malzemesi debisi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit taban malzemesi debisini gösterir.



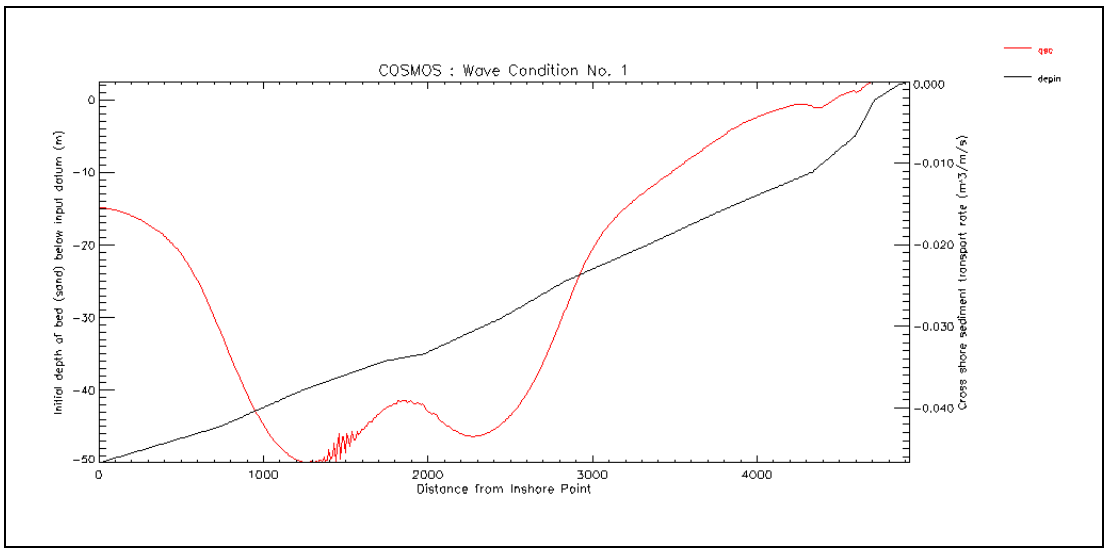
Şekil B.10b Tuzla'da 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 0.5 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgasının derinlik boyunca ortalama yüksekliğinin değişimi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit dalga yüksekliğini gösterir.



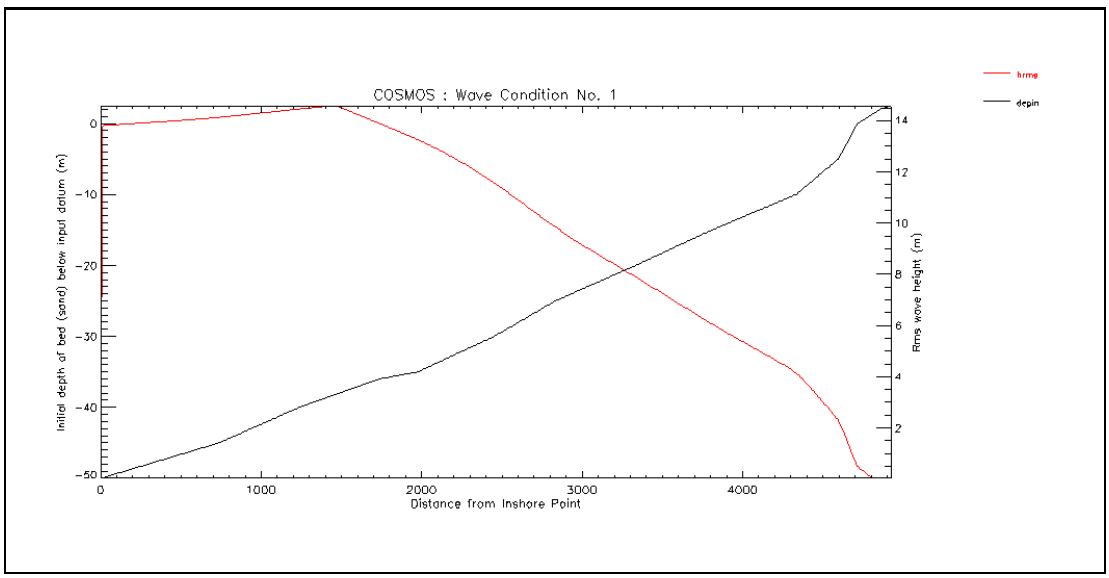
Şekil B.10c Tuzla'da 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 1 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgasının su seviyesinde yol açtığı değişim (Setup). Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit seviye değişimini gösterir.



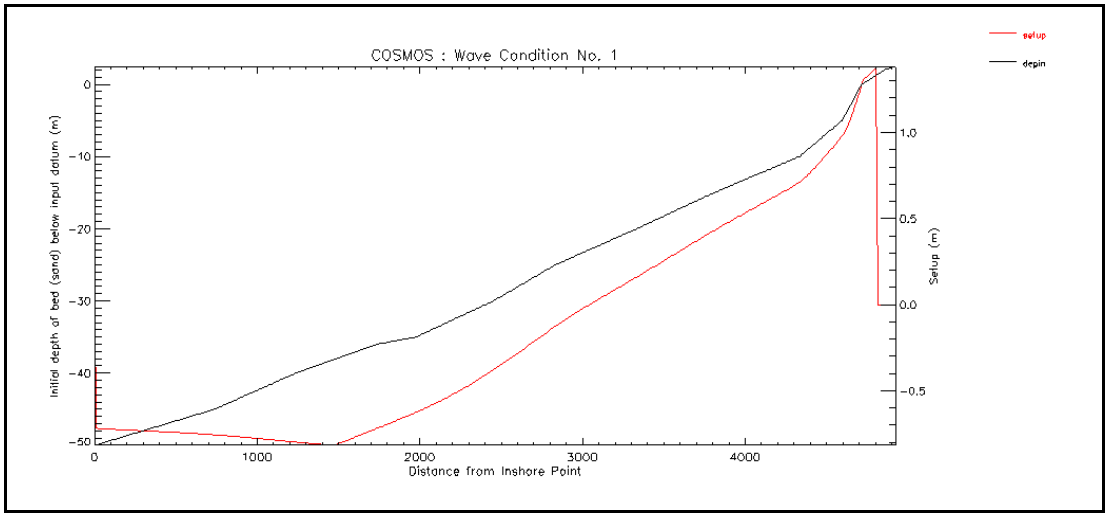
Şekil B.10d Tuzla'da 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 0.5 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgasının kırılan dalga oranının profil boyunca değişimi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit kırılan dalga oranını gösterir.



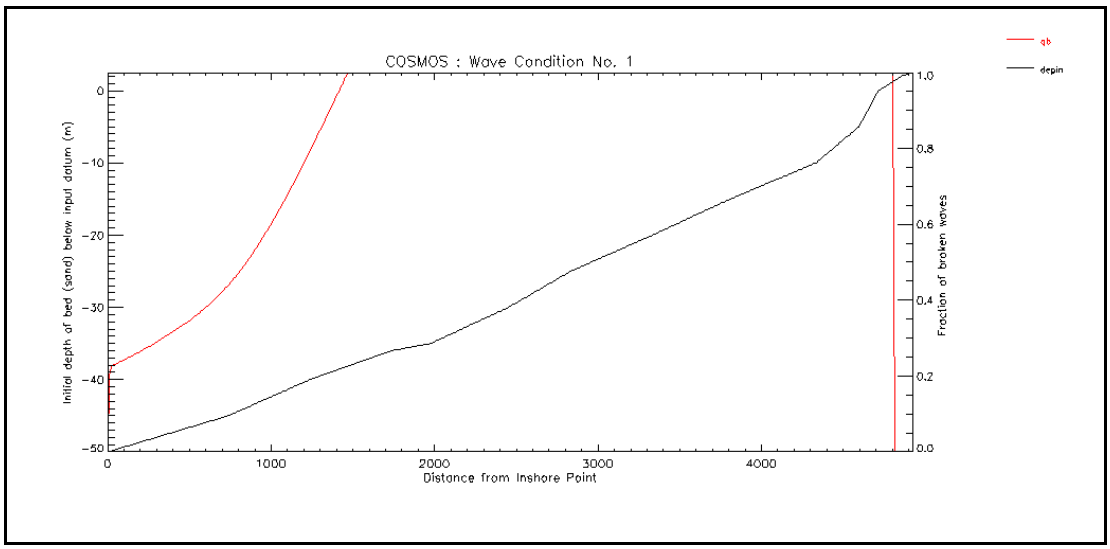
Şekil B.11a Kadıköy'de 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 0.5 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgası sonucu oluşan kıyıya dik taban malzemesi debisi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit taban malzemesi debisini gösterir.



Şekil B.11b Kadıköy'de 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 0.5 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgasının derinlik boyunca ortalama yüksekliğinin değişimi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit dalga yüksekliğini gösterir.



Şekil B.11c Kadıköy'de 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 1 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgasının su seviyesinde yol açtığı değişim (Setup). Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit seviye değişimini gösterir.



Şekil B.11d Kadıköy'de 1 saat boyunca etkiyen 0.5 saat periyotlu ve 0.5 m yükseklikli kıyıya 75^{o} açıyla gelen deprem dalgasının kırılan dalga oranının profil boyunca değişimi. Siyah kesit derinliği, kırmızı kesit kırılan dalga oranını gösterir.

ÖZGEÇMİŞ

Veysel Şadan Özgür Kırca 1977'de Ankara'da doğdu. İlköğrenimini bu şehirde tamamladıktan sonra 1992 yılında Ankara Atatürk Anadolu Lisesi ortaokul kısmından ve 1995'te de aynı okulun lise kısmından mezun oldu. 2000 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Su Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

2000-2001 yılları arasında Vinsan A.Ş.'de, 2002 yılında da Dolsar Ltd. Şti.'nde İnşaat Mühendisi olarak çalıştı. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik A.B.D.'da araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.