

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT KÖRFEZİ İÇİN TSUNAMİ SENARYOLARI, DALGA
TIRMANMA VE KIYI İÇİ SU BASMA UZAKLIKLARININ
BELİRLENMESİ**

AHMET UTKU ÇAYIR

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT KÖRFEZİ İÇİN TSUNAMİ SENARYOLARI, DALGA
TIRMANMA VE KIYI İÇİ SU BASMA UZAKLIKLARININ
BELİRLENMESİ**

AHMET UTKU ÇAYIR

Doç.Dr. Ergin ULUTAŞ
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Orhan POLAT
Jüri Üyesi, Dokuz Eylül Üniv.

.....

Prof.Dr. Şerif BARIŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.01.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması kapsamında, Marmara Denizinin orta ve doğu kısmında olası deprem senaryolarına göre İzmit Körfezini etkileyebilecek tsunami dalga yayılım modelleri oluşturulmuş ve İzmit Körfezi içinde su basma mesafeleri ile tırmanma yükseklikleri hesaplanmıştır.

Çalışma aşamasında, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile yol gösteren ayrıca tez boyunca bana desteğini esirgemeyen danışman öğretim üyesi Doç. Dr. Ergin ULUTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimin boyunca, beni destekleyen arkadaşlarıma ve verdikleri bilgiler ile tecrübeler için Kocaeli Üniversitesi öğretim üyesi olan hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve aldığım kararları destekleyen babam Erol ÇAYIR, annem Nesrin ÇAYIR, kardeşim Umut Onur ÇAYIR'a çok teşekkür ederim.

Ocak – 2021

Ahmet Utku ÇAYIR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. ÇALIŞMA ALANIN JEOLojİSİ	6
1.1. Marmara Denizi Jeoloji ve BatimetriSi	6
1.2. İzmit Körfezi Jeoloji ve BatimetriSi	8
2. MARMARA BÖLGESİNİN DEPREMSELLİĞİ VE TEKTONİĞİ	11
3. DEPREM KAYNAKLI TSUNAMİ MODELLEME	16
3.1. Tsunami Dalga Yayılım Modellemesi	22
3.1.1. Sığ su teorisi	23
3.1.2. Coriolis kuvveti	23
3.1.3. Batimetri	24
3.1.4. Sürtünme	24
4. MARMARA DENİZİ'NDE TSUNAMİ	25
5. MARMARA DENİZİ DOĞUSUNDA TSUNAMİ SİMULASYONLARI	28
5.1. Senaryo Deprem 1	28
5.2. Senaryo Deprem 2	30
5.3. Senaryo Deprem 3	33
5.4. Senaryo Deprem 4	35
5.4. Senaryo Deprem 5	38
5.5. Senaryo Deprem 6	40
6. TSUNAMİ KIYI İÇİ SU BASMASI VE TIRMANMA YÜKSELİKLERİ	44
7. İZMİT KÖRFEZİ KIYI İÇİ SU BASMA MESAFELERİ VE TIRMANMA YÜKSEKLİKLERİ	47
8. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	66
EKLER	76
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	80
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Marmara Bölgesi Diri Fay, Marmara Deniz İçi Faylar, Marmara Bölgesi Batimetri ve Topografya Haritası	7
Şekil 1.2.	Marmara Denizinin kuzeyinde bulunan çukurların 3 boyutlu olarak ana faylanma hattının izleri ile gösterimi.....	8
Şekil 1.3.	Çalışma alanı olan İzmit Körfezi ve kıyılarının Marmara Denizine göre haritadaki konumu	9
Şekil 1.4.	İzmit Körfezi Batimetri Haritası (su derinlik konturları m cinsinden)	9
Şekil 2.1.	(a) Kuzey Anadolu Fayında 1912-1999 yılları arasında oluşan depremlerin yıllara göre faylanma yüzey kırığı uzunlukları ve Bölgede Bulunan Sismik Boşluk, (b) Türkiye kuzey bölgesindeki aktif faylar	11
Şekil 2.2.	$M_w > 3.0$ den büyük olan depremlerin derinlik dağılımları (Deprem verileri KOERİ web sayfasında indirilmiştir)	12
Şekil 2.3.	$M_w > 5.0$ den büyük olan deprem dağılımları (Deprem verileri KOERİ web sayfasında indirilmiştir)	12
Şekil 2.4.	$M_w > 7.0$ den büyük olan deprem dağılımları (Deprem verileri KOERİ web sayfasında indirilmiştir)	13
Şekil 2.5.	$M > 7.0$ den büyük tarihsel deprem dağılımları	14
Şekil 2.6.	Çınarcık Baseninin Kuzey ve Güneye eğimli alanlarında denizaltı yelpaze çökelleri	15
Şekil 3.1.	Tsunami dalgala yükseklik türleri, periyotları T ve su basma mesafesi şematik gösterimi	17
Şekil 3.2.	Fay Türleri. (A) Doğrultu atımlı fay, (B) Ters Fay, (C) Normal Fay.....	18
Şekil 3.3.	Farklı odak mekanizması türlerine göre fay blok diyagramları	19
Şekil 3.4.	Fay bloğu üzerinde fay parametreleri şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.5.	Fay eğimi ve uzunluklarına göre su hacmi değişimi şematik gösterimi.....	22
Şekil 5.1.	a) Deprem senaryo 1 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.....	29
Şekil 5.2.	Deprem Senaryo 1 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.....	29
Şekil 5.3.	Deprem Senaryo 1 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	30

Şekil 5.4.	a) Deprem senaryo 2 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti	31
Şekil 5.5.	Deprem Senaryo 2 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri	32
Şekil 5.6.	Deprem Senaryo 2 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	32
Şekil 5.7.	a) Deprem senaryo 3 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti	34
Şekil 5.8.	Deprem Senaryo 3 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri	34
Şekil 5.9.	Deprem Senaryo 3 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	35
Şekil 5.10.	a) Deprem senaryo 4 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti	36
Şekil 5.11.	Deprem Senaryo 4 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri	37
Şekil 5.12.	Deprem Senaryo 4 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	37
Şekil 5.13.	a) Deprem senaryo 5 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti	39
Şekil 5.14.	Deprem Senaryo 5 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri	39
Şekil 5.15.	Deprem Senaryo 5 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	40

Şekil 5.16. a) Deprem senaryo 6 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yüksekliği, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti	41
Şekil 5.17. Deprem Senaryo 6 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri	42
Şekil 5.18. Deprem Senaryo 6 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	42
Şekil 6.1. Tsunami tırmanma yüksekliği diyagramı, maksimum dalga yüksekliği Y_s , kıyı eğimi S_0 , su basma mesafesi L , tırmanma yüksekliği R , dalga cephesi yüksekliği kırmızı çizgi (Smart ve diğ., 2015'den derlenmiştir)	46
Şekil 7.1. İzmit körfezi kıyı hattı boyunca belirlenen noktalarının harita üzerinde gösterimi	48
Şekil 7.2. İzmit körfezinde seçilen kıyı noktalarına gelen maksimum dalga yükseklikleri	50
Şekil 7.3. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (a) Dilovası 17 numaralı konum, (b) Körfez 33 numaralı konum, (c) Derince 33 numaralı konum, (d) İzmit 53 numaralı konum, (j) Altınova 99 numaralı konum, (k) Altınova 100 numaralı konum	51
Şekil 7.4. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (g) İzmit 57 numaralı konum, (h) Başiskele 64 numaralı konum, (i) Başiskele 65 numaralı konum, (ı) Başiskele 96 numaralı konum, (j) Altınova 99 numaralı konum, (k) Altınova 100 numaralı konum	52
Şekil 7.5. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (l) Altınova 101 numaralı konum, (m) Altınova 102 numaralı konum, (n) Altınova 103 numaralı konum, (o) Altınova 105 numaralı konum, (ö) Taşköprü 106 numaralı konum, (p) Taşköprü 108 numaralı konum	53
Şekil 7.6. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (s) Taşköprü 109 numaralı konum, (ş) Taşköprü 110 numaralı konum	54
Şekil 7.7. İzmit körfezi kıyıları boyunca tsunami dalga tırmanma yüksekliklerinin sütun bar gösterimi	57

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Kayma açlarına göre Faylanma türleri	19
Tablo 5.1. Senaryo deprem 1 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü	28
Tablo 5.2. Senaryo deprem 1 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri	30
Tablo 5.3. Senaryo deprem 2 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü	31
Tablo 5.4. Senaryo deprem 2 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri	32
Tablo 5.5. Senaryo deprem 3 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü	33
Tablo 5.6. Senaryo deprem 3 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri	35
Tablo 5.7. Senaryo deprem 4 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü	36
Tablo 5.8. Senaryo deprem 4 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri	37
Tablo 5.9. Senaryo deprem 5 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü	38
Tablo 5.10. Senaryo deprem 5 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri	40
Tablo 5.11. Senaryo deprem 6 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü	41
Tablo 5.12. Senaryo deprem 6 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri	42
Tablo 6.1. Pürüzlülük değerleri	46
Tablo 7.1. İzmit Körfezinde seçilen kıyı noktalarının konumları	47
Tablo 7.2. İzmit Körfezinde kıyı noktalarının koordinatlarında hesaplanan maksimum dalga yükseklikleri	49
Tablo 7.3. İzmit Körfezin kıyı içi eğim değerleri	55
Tablo 7.4. İzmit Körfezi kıyı hattı boyunca hesaplanan su basma mesafeleri	56
Tablo 7.5. İzmit Körfezi kıyı hattı boyunca hesaplanan tırmanma yükseklikleri	58
Tablo 7.6. Belirlenen kıyı noktaları ile hesaplanan su basma çizgileri arasındaki ölçülen yükseklik değerleri	58
Tablo A.1. İzmit Körfezindeki önemli liman işletme tesisleri ile buldukları bölgeler	77
Tablo B.1. İzmit Körfezindeki vapur iskeleri ile buldukları ilçeler	78
Tablo C.1. İzmit Körfezi boyunca seçilen noktaların koordinatları	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm	: Santimetre
dk	: Dakika
km	: Kilometre
f	: Coriolis Kuvveti
g	: Yer çekimi ivmesi, (m/s ²)
h,D	: Derinlik (m)
M _w	: Moment Magnitüdü (dyn.cm)
m	: Metre
sn	: Saniye
U	: Hız (m/s)

Kısaltmalar

GEBCO	: General Bathymetric Chart of the Oceans (Okyanusların Genel Batimetrik Çizelgesi)
IHO	: International Hydrographic Organization (Uluslararası Hidrografi Örgütü)
IOC	: Intergovernmental Oceanographic Commission (Hükümetlerarası Okyanus Bilimi Komisyonu)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration (ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KOERİ	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SWAN	: Simulating Waves Near-Shore (Yakın Kıyı Dalgaları Simulasyonu)
TBMM	: Türkiye Büyük Millet Meclisi
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu
TUISAD	: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği

İZMİT KÖRFEZİ İÇİN TSUNAMİ SENARYOLARI, DALGA TIRMANMA VE KIYI İÇİ SU BASMA UZAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında Marmara Denizi doğu kesiminde tektonik yapıya uygun 6 adet olası deprem oluşum modeli belirlenmiş ve İzmit Körfezi kıyıları için tsunami yayılım modelleri oluşturulmuştur. Olası depremlerin fay parametrelerinin belirlenmesinde bölgenin tektonik yapısı ve geçmiş deprem dağılımları irdelenmiştir. Bölge tektoniğine uygun olarak fay parametreleri belirlenen senaryo depremlerden Yalova'nın kuzeyinde dışmerkezi seçilen ve doğrultu atım özelliği gösteren 6 numaralı senaryo deprem; körfez içinde tsunami su basma mesafelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu senaryo deprem için fay parametreleri: deprem büyüklüğü $M_w:7.2$, fay boyu 40 km, fay eni 15 km, fay doğrultusu: 77 (derece), eğim açısı 66 (derece) ve kayma açısı 210 (derece) olarak alınmıştır. Fay parametreleri; statik elastik yer değiştirme teorisi yaklaşımı ile deniz tabanının düşey deformasyonunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Deniz tabanı için hesaplanan düşey deformasyon, deniz yüzeyindeki başlangıç dalga yükselimi ile özdeş kabul edilerek batimetri ve topografya için GEBCO 30 grid veri yapısı ile birlikte kullanılarak dalga yayılım hesaplamaları SWAN-JRC kodu kullanılarak yapılmıştır. Körfeze kıyı alanlar için su basma uzaklığı tahminleri ise kıyı eğimi, pürüzlülük derecesi ve kıyıya en yakın başlangıç maksimum dalga yaklaşımı ile hesaplanmıştır.

Olası deprem oluşumlarından İzmit Körfezi içini etkilemesi beklenen 6 numaralı hipotetik fay modeline göre kıyılarda hesaplanan en yüksek dalga Darıca civarında ve en düşük dalga da Hersek Deltasının doğusuna doğru sırasıyla 0,92 m ve 0,16 m olarak bulunmuştur. Tsunamilerin kıyıda yüksek dalga etkilerinin yanında en önemli hasar verici özellikleri; kıyıdan içeri doğru girebilmeleri ve ulaştıkları alanın eğimine bağlı olarak tırmanma yükseklikleri (run-up) ve su basma mesafeleridir. Körfezin çeşitli lokasyonlarında kıyıdan içeri eğimin %1' in altında olduğu yerleşim alanlarında 270 metre su basma mesafeleri ve eğimin %15 üzerinde olduğu alanlarda da birkaç metrelik su basma mesafeleri hesaplanmıştır. Faylanma türünün normal bileşen özellikleri, deprem sonrası heyelan tetiklenmeleri ve detaylı veri kullanımı ile beklenen dalga yükseklikleri daha fazla olabilir.

Anahtar Kelimeler: İzmit Körfezi, Senaryo Deprem, Su Basma Mesafesi, Tırmanma Yüksekliği, Tsunami Simulasyonu.

TSUNAMI SCENARIOS, RUN-UP AND INUNDATION FOR THE GULF OF IZMIT

ABSTRACT

In this thesis, six possible scenario earthquakes were chosen in order to simulate tsunami propagation according to the responsiveness and coherence with tectonic regime of the Marmara Region. Previous earthquake distributions of the earthquakes and faults in the literature were examined in determining the fault parameters of the earthquakes. A scenario earthquake (named in this thesis as scenario 6) in the north of Yalova, strike slip with little normal component, were used to simulate tsunami inundation distances and run-up heights along the bay of İzmit. The fault parameters for this scenario earthquake are: earthquake magnitude M_w : 7.2, fault length 40 km, fault width 15 km, strike of the fault 77 (degree), dip angle 66 (degree) and slip angle 210 (degree). Fault parameters have been used to calculate the vertical deformation of the sea floor by using an approach of elastic dislocation theory. It was assumed that the initial height for tsunami model is to be identical to the vertical component of sea floor dislocation. Then, wave propagation calculations were made using SWAN-JRC code using GEBCO 30 grid data structure for bathymetry and topography. Inundation areas along the bay of İzmit were calculated by using shore slope, roughness aperture parameter and maximum heights arrived the closest distance to the shoreline.

The highest tsunami waves were predicted around Darıca and the lowest waves towards the east of Hersek Delta are 0,92 m and 0,16 m respectively according to the hypothetical fault model named “scenario 6” which is expected to effect the bay of İzmit from possible earthquake occurrences. The most important damaging features of tsunamis compared to the maximum heights on the coast are inundation distances and run-up heights depending on the slope of the shore and roughness of the inundated area. The inundation distances were calculated 270 m where the slope is below 1% and 1-5 m where the slope is over % 15. The modeling results were made by using the above-mentioned fault types and bathymetry data with 30 arc-second resolution. The wave heights predicted in this study may be higher that of those increased normal faulting component, induced landslides and the use of detailed bathymetry. With the normal component characteristics of the faulting type, landslide triggers after the earthquake and the use of detailed data, the expected wave numbers may be higher.

Keywords: İzmit Bay, Earthquake Scenario, Inundation, Run-up, Tsunami Simulation.

GİRİŞ

Marmara bölgesi Türkiye'nin en fazla nüfus yoğunluğuna sahip bölgesidir. Bölgede yer alan ve bir iç deniz olan Marmara denizi, sahip olduğu konumu ve geçiş bölgesi olması sebebiyle yoğun bir deniz trafiğine sahiptir. Çalışma alanı olan İzmit körfezi, Marmara Denizi'nin doğusunda bulunmaktadır. İzmit Körfezi kıyıları 129.7 km'lik uzunluğu, doğal ortam özellikleri, beşeri yapısı, sanayi faaliyetleri, ulaşım yolları gibi birçok etken altında oldukça yoğun kıyı alanı kullanımına maruz kalmış bir bölgedir (Garipağaoğlu ve Uzun, 2014). Ülkemizde köyden kente göçün bir sonucu olarak yıllar içerisinde nüfusu artan Marmara Bölgesi'nde yapılaşma ve sanayileşmeye bağlı olarak doğal yapısı değişmiş ve sel, heyelan, deprem gibi doğa kaynaklı olayların sonuçlarından daha fazla etkilenir hale gelmiştir. Bölgede sanayi kuruluşlarının yanı sıra, Kocaeli Üniversitesi ve Gebze Teknik Üniversitesi, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu) ve 5 adet aktif teknopark gibi önemli bilimsel kuruluşların bulundurulması bölgede oluşabilecek doğa kaynaklı olayların etkilerini en aza indirmenin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sanayi ve Bilimsel kuruluşların yoğun olarak yer bulduğu Körfez ve çevresi Kocaeli ve Yalova illeri sınırlarındadır.

İzmit Körfezi olarak isimlendirilen bu kıyı alanının büyük çoğunluğu Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bu körfezi çevreleyen Kocaeli ili; 2018 yılında ülkemizde kişi başı 'Gayrisafi Yurt İçi Hâsıladan' en yüksek payı alan şehir olup ülke ekonomisinin adeta temel taşlarından birini oluşturmaktadır (TUIK, 2020). Resmi kayıtlara göre İzmit Körfezi çevresinde bulunan yerleşim yerlerinin 2019 yılında nüfus toplamı 1.727.785'dir (URL-1). Bu toplam nüfusun 1.645.666 sı Kocaeli İlinde ve 71.119 ise Yalova İlinde olduğu resmi kaynaklarda yer almaktadır (URL-1). Buradaki toplam nüfus sadece İzmit körfezi çevresinde bulunan Kocaeli'nin 9 ilçesi ve Yalova'nın 2 ilçesinde kayıtlı olan nüfus sayısı hesaplanarak verilmiştir. Nüfus kayıtları incelendiğinde özellikle İzmit körfezinin kuzeyinde kalan kesimde sanayileşmenin artmasıyla beraber nüfus yoğunluğu güneyde kalan bölgelerine göre yüksek olduğu gözlenmektedir.

İzmit Körfezi kıyı şeridinde çok sayıda çeşitli sanayi tesisleri ve tersanelerin yoğun olarak bulunması nedeniyle ulusal ve uluslar arası düzeyde deniz ticaret ağına sahiptir. Bu tesislerin kullanımı Kocaeli Valiliğinin (2011, 2012) de yaptığı çalışmalara göre, bu tesisler olarak kimya endüstrileri için depolama tankları, otomobil üretimi ve petrol rafinelerinden oluşmakta olup birçoğunun da ürünlerini ihraç etmek için kendi özel rıhtımlara sahip olduğu raporda yer almaktadır (Alponat, 2020). İzmit Körfezi'nin kuzey kısmında özellikle daha yoğun bir ticaret liman sahasına sahiptir. Kocaeli'nde bulunan 14 adet organize sanayi bölgesinde üretilen ürünlerin yurt dışına çıkartılması için bölge de bulunan 36 liman aktif olarak kullanılmaktadır.

Kocaeli Sanayi Odası rakamlarına göre, Türkiye'nin imalat sanayi üretiminde %13, dış ticaretinde %18,5'lik bir kısmını bu bölge kapsamaktadır (URL-2). İzmit Körfezinde toplamda 36 adet büyük ticari limandan, 35 tanesi aktif halde 1 tanesi de inşaat halindedir. Bu limanlara balıkçı limanları ve özel limanlar dâhil olmamaktadır. Körfez ilçesinde inşaatı devam etmekte olan limanla beraber toplam limanların 18 tanesi burada bulunmasıyla beraber en yoğun kıyı kullanımına sahip ilçe olmaktadır. Kıyı şeridi boyunca önemli ticari tesisler EK-A'da verilmektedir.

Kocaeli serbest bölgede bulunan tesisler ve tersaneler ile Yalova Altınova'da bulunan tersaneler yukarıda bahsedilen ticari limanlardan ayrı tutulmuştur. Tersaneler genel olarak İzmit Körfezinin kuzey kıyısında bulunan MARMARA tersanesi hariç, bölgedeki donanma tersanesi dâhil geri kalan tüm tersaneler güney kıyılarında toplanmaktadır. Bu ticari liman tesisleri haricinde Atabey Yat limanı ve balıkçı barakalarının birçoğu Körfez içersinde bulunmaktadır. Bölgede 11 adette deniz ulaşımında kullanılan iskeleler bulunmakta bunlar EK-B'de verilmektedir.

Ayrıca bölgenin kıyı kesimde Donanma Komutanlığına ait alanlarda bulunmaktadır. Bunlar Gölcük donanma komutanlığı, Askeri Tersane, Altınova'daki Askeri Eğitim merkezi, Taşköprü'deki askeri hava uçuş sahası, Halidere-Ulaşlı arasındaki Yıldızlar su üstü komutanlığı, İzmit'te bulunan gemi müzesi, Derince'deki ve Darıca'daki askeri alanların tamamı kıyı alanda bulunmaktadır.

Bölgedeki en büyük alanı kapsamakta olan Gölcük Deniz Üssü Komutanlığı ve içersinde barındırdığı Gölcük Tersanesi Komutanlığı 400 bin metrekarelik bir alanı kaplayan yerleşke aynı zamanda denizaltı yapım ve onarım merkezi durumunda olmaktadır (URL-3). Bu kadar aktif sanayi kuruluşu, liman işletmesi, Askeriye özel Tersaneler ve nüfusun yoğun olarak yaşadığı il ve ilçe merkezleri düşünüldüğünde Körfez ve çevresi aktif sismik hareketliliğin olası olumsuz sonuçlarından etkilenme potansiyeli yüksek bir bölgedir.

Kuzeyinde Avrasya plakası güneyinde Afrika-Asya plakalarının arasında kalan Anadolu bloğu Batıya doğru hareket etmekte ve bunun sebebi olarak da Marmara Denizi üzerinde büyük bir stres birikmesine neden olmaktadır. Bu nedenle Marmara bölgesinde tarih boyunca birçok yıkıcı ve büyük depreme maruz kalmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda sadece İzmit Körfezi içersinde 1500'li yıllardan itibaren 1719, 1894, 1999 yıllarında 3 büyük deprem olduğu belirlenmiştir (Ambraseys ve Jackson, 2000). Bunlardan en yakın ve bilineni 17 Ağustos 1999 depremidir.

Bu deprem ayrıca bölgede kayıt altına alınan en fazla hasar ve can kaybı yaratan deprem olma özelliğine sahiptir. İzmit körfezinde yakın tarihte meydana gelen $M_w=7.4$ olan 17 Ağustos 1999 tarihli deprem aletsel dönemde kayıt altına alınan en büyük ikinci deprem olmasına rağmen verdiği ekonomik ve can kayıpları açısından ise en büyük depremdir. Ayrıca bu deprem oluşturduğu etkileri günümüzde hala görebilmekteyiz. Bu deprem Bolu, Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Sakarya, Yalova ve İstanbul şehirlerinde can ve mal kaybına neden olmuştur. Deprem sonucu resmi kaynaklar 18.373 kişinin öldüğünü, 48.901 kişi yaralandığını, 5.840 kişide kaybolduğunu belirlemiştir (URL-4). 2010 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) araştırma komisyonu tarafından yapılan bir araştırma sonucuna bu depremde toplamda 364.908 bina hasar görmüş bunların 112.735 yıkık-ağır hasarlı, 124.131 orta hasarlı, 128.042 az hasarlı olduğu belirlenmiştir (URL-5). Özellikle bölgede bulunan en büyük petrol rafinesi TÜPRAŞ da çıkan yangının söndürülmesi günlerce sürmüştür. Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının geçtiği bu bölgede bu depremden 87 gün sonra aynı fay hattı üzerinde Düzce merkezli $M_w=7.2$ büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Nüfus ve sanayinin yoğun olduğu Marmara bölgesinde bu iki depremden sonra birçok kalıcı hasar oluşmuştur.

1999 Depreminin oluşturduğu maliyeti Dünya Bankası da 12-17 milyar dolar, Devlet Planlama Teşkilatı 15-19 milyar dolar, Türk Sanayici ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD) ise 17 milyar dolar olarak hesaplıklarını açıkladılar (URL-4). Bölgede bulunan sanayi kurumlarının depremin verdiği hasarları iyileştirilmesi kapsamında üretime ara vermesi ülkenin o dönemki dışa ihtiyacın artması ve ekonominin küçülmesine sebep olmuştur (URL-4). Ayrıca 17 Ağustos 1999 depremi karada olmasına rağmen İzmit körfezi içerisinde etkili olan küçük çaplı bir tsunami'ye sebebiyet vermiştir.

1999 depremi sonrasında tsunami oluşumunu gösteren kanıtlardan biri depremin hemen sonrasında İzmit Körfezinin her iki kıyısında oluşan deniz çekilmesidir (Altınok ve diğ., 2001b). 17 Ağustos 1999 depreminden sonra oluşan tsunaminin izlerine yönelik çalışmalar İzmit Körfezi boyunca en fazla 300 m ile Gölcük Kavaklı sahilinde kıyıdan içeri tsunaminin ilerlediğini rapor edilmiştir (Altınok ve diğ., 2001b). Kavaklı'da oluşan yüksek su basması İzmit Körfezi'nin diğer kıyı yerleşim alanlarına göre çok daha fazla olmuştur (Altınok ve diğ., 2001b). Bu bölgedeki su basmasının fazla olması sadece tsunami'den kaynaklanmaz, jeolojik yapısından dolayı kıyı yenilmesinin oluşması ve normal faylanma şeklinde bir çökme alanının oluşmasıdır (Altınok ve diğ., 2001b, Rothaus ve diğ., 2004). Burada yapılan çalışmalar, deprem esnasında bölgede bulunan normal bileşenli sağ yanal atımlı olan Kavaklı fayının da kırıldığını göstermektedir (Demirtaş ve diğ., 2008). 1999 Kocaeli depremi sonucunda bu bölgede oluşan fay kırığı Ford Otosan'ın 500 km kuzeybatısından, 2 km güneydoğusuna kadar 3–3,5 km boyunca uzanmakta olduğu verilmiştir (Demirtaş ve diğ., 2008). Ayrıca kırığın kuzeydoğu tarafının, güneybatı tarafına göre maksimum 2,35 m düşmüş olması sebebiyle gelen tsunami dalgaları normalden çok daha fazla içeri girmiştir (Demirtaş ve diğ., 2008). Bu durumu gösteren en belirgin izler özellikle Kavaklı bölgesinde depremin devirsel sarsınımına bağlı olarak sediman (çökel) malzemenin yenilmesi ve yenilme sonucu çökmenin olduğu bölümlere tsunami dalgalarının kıyıdan içeri girmesidir (Rothaus ve diğ., 2004).

Marmara bölgesinde tarihsel kayıtlarda birçok tsunami raporlanmıştır (Altınok ve Ersoy, 2000, Altınok ve diğ., 2001a, Yalçiner ve diğ., 2002, Hébert ve diğ., 2005). Bu nedenle bölgede deprem ile yapılacak her türlü çalışma önem sarf etmektedir.

Bu alışma kapsamında bölgede oluşmuş depremler irdelenmiş, bölgedeki tsunami tehlikesini belirlemek için bölge tektoniği, kıyı batimetri ve kıyı şeridi eğimi gibi bilgilerden yararlanılmıştır. Ülkemizin önemli bir sanayi ve yerleşim alanı olan, nüfusun yüksek olduğu İzmit Körfezi boyunca olası senaryo depremlerden yararlanılarak kıyıda beklenen maksimum dalga ykseklileri, deprem sonrası dalgaların kıyılara varış zamanları ve körfez civarındaki bölgenin morfolojik özelliklerine bağlı olarak kıyı içi tsunami su basma mesafeleri bulunmuştur.

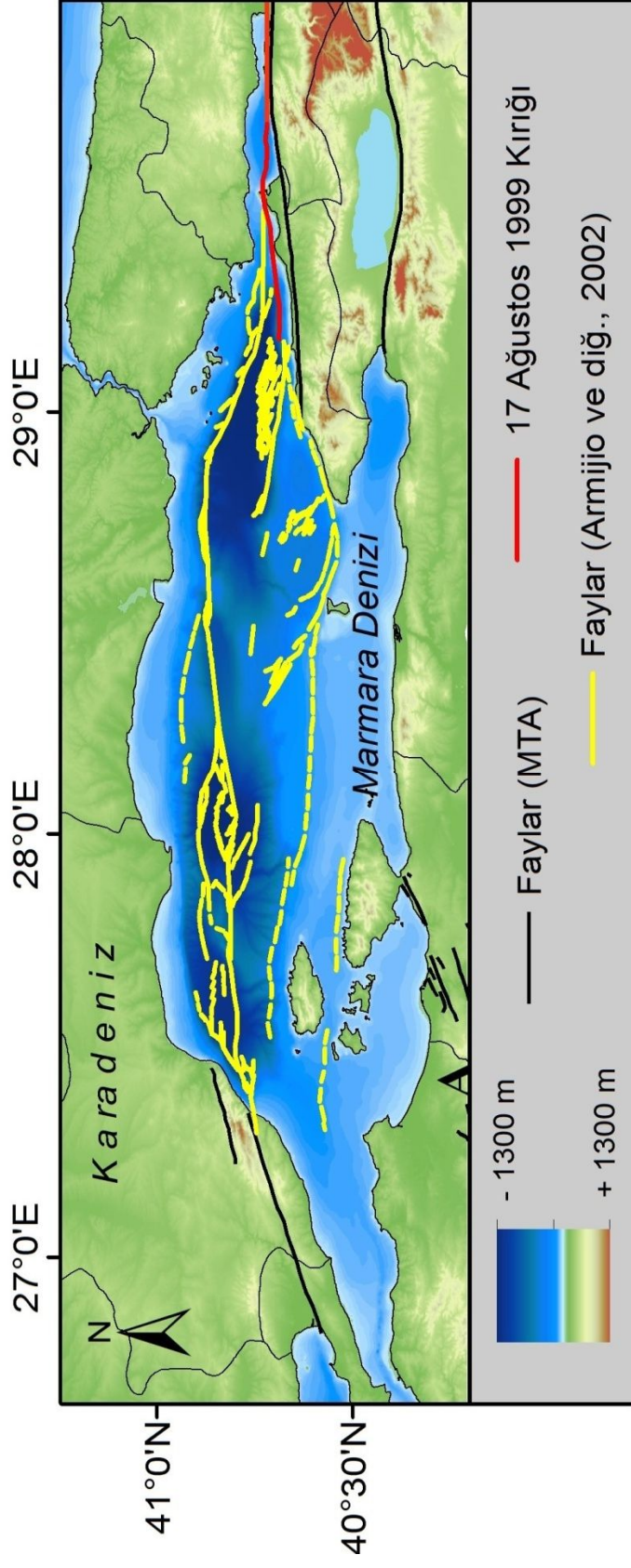
Çalışmanın sonuçları ile ülkemizin önemli sanayi kuruluşları ve yoğun yerleşim alanlarının bulunduğu bir alanda tsunami simülasyonları ve kıyı içi su basma mesafelerinin modellenmesi gerekli önlemlerin alınması ile tsunami kaçış güzergâhlarının belirlenmesi gerekli yerlerde dalga kıranların inşa edilmesi açısından önemlidir.

1. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

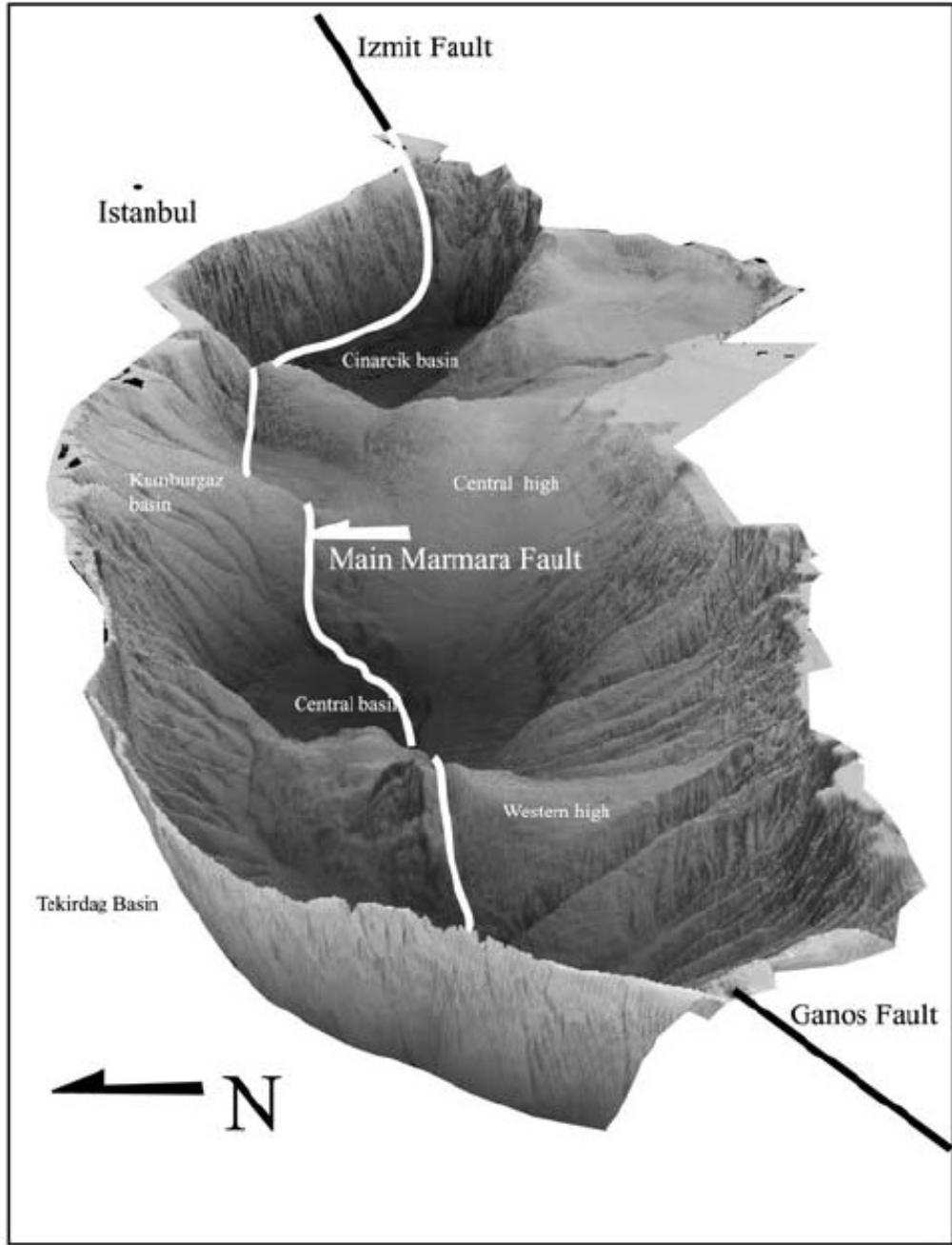
1.1. Marmara Denizi Jeoloji ve Batimetri

Marmara Denizi yaklaşık Kuzey ve Güney (K-G) yönünde yaklaşık 80 km, Doğu ve Batı (D-B) yönünde ise yaklaşık 280 km uzunluğunda bir iç denizdir. Batimetrik özelliklerine göre Kuzey ve Güney olarak ikiye ayrılan Marmara Denizi; Kuzey'deki şelf alanlarına göre, Tekirdağ, Silivri, Çekmece ve Adalar olmak üzere dört alt bölgede sınıflandırılabilir (Yaltrak, 2002). Güney şelf alanı kuzeye göre daha geniş bir alanı kapsamaktadır buna neden olarak o bölgedeki akarsuların zamanla alüvyonları aşındırması ve KAF hattının kuzey kolunun Marmara Denizinin kuzey bölgesinin altından geçmesidir (Kazancı ve diğ., 2014). Marmara Denizi'nin güney bölgesi, kuzey bölgesine göre daha sığ bir derinliğe sahiptir. Kuzey kesiminde şelf kırılmasında hemen sonra 7° den yüksek eğim profilleri gözlemlenebilirken, güney kesimde ise şelf kırılmaları 4° - 8° arasında değişmekte, havzalarda ise yerel olarak artarak 10° bulabilir (Gazioğlu ve diğ., 2002).

Marmara Denizinin kuzey bölgesinde derinliği 1100 m'yi geçen 3 büyük çukurluk bulunmaktadır. Bu çukurluklar; Batı Marmara (Tekirdağ) çukuru (-1221 m), Orta Marmara Çukuru(-1273 m), ve Doğu Marmara (Çınarcık) çukuru (-1270 m) dir. Marmara Denizinin kuzeyindeki çukurların Şekil 1.2 de 3 boyutlu gösterimi yapılmıştır. Tektonik hareketlerin oluşturduğu deniz sırtları, bu çukurları birbirinden ayırmaktadır (Yalçın ve diğ., 2002). Şelf kırılmalarının eğim etkisiyle oluşturduğu havzalar; doğrusal ve dik şekilde olmak üzere 2 şekilde gelişir (Gazioğlu ve diğ., 2002). Tekirdağ çukurunun batısı ile Çınarcık çukurunun doğusundaki yamaçlar çok daha dik yapıdadır (Gazioğlu ve diğ., 2002). Özellikle Çınarcık havzası'nın doğusu ile İzmit Körfezi'nin girişinde kuzey yamacın eğimleri 20° (yerel olarak yaklaşık 80°)'ye çıkmaktadır (Gazioğlu ve diğ., 2002). Marmara Denizi batimetrik haritası üzerinde; Armijio ve diğ., (2002) tarafından verilen deniz içi fay izleri Şekil 1.1 de verilmiştir.



Şekil 1.1. Marmara Bölgesi Diri Fay (MTA, 1992), Marmara Deniz İçi Faylar (Armijio ve diğ., 2002), Marmara Bölgesi Batimetri ve Topografiya Haritası (GEBCO-BODC,2012).



Şekil 1.2. Marmara Denizinin kuzeyinde bulunan çukurların 3 boyutlu olarak ana faylanma hattı izi ile gösterimi. (Rangin ve diğ., 2004).

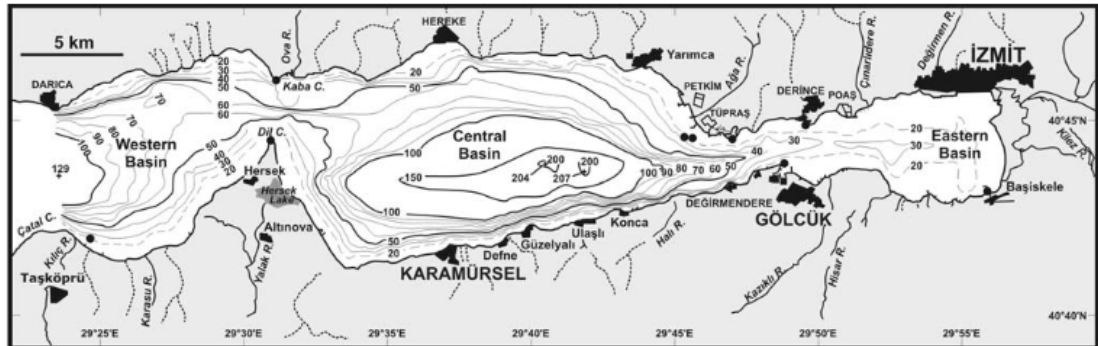
1.2. İzmit Körfezi Jeoloji ve Batimetrisi

Çalışma alanı olan İzmit Körfezi ve kıyıları; $40^{\circ}41'$ – $40^{\circ}48'$ K enlemleri ile $29^{\circ}20'$ – $29^{\circ}57'$ D boylamları arasında Marmara Denizinin doğusundadır(Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Çalışma alanı olan İzmit Körfezi ve kıyılarının Marmara Denizine göre haritadaki konumu.

Kara içine doğru sokulmuş olan yaklaşık 50 km uzunluğa sahip İzmit körfezi'nin en dar yerleri Dil Burnu-Hersek Burnu arası 2,7 km, Derince-Değirmendere arası 1,8 km'dir (Hoşgörün, 1995, Garipağaoğlu ve Uzun, 2014). Körfez içerisinde batıdan doğuya doğru derinlik azalmaktadır. İzmit Körfezi batimetri özelliklerine göre, doğu, merkez ve batı havzası olmak üzere 3 bölgeye ayrılabilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. İzmit Körfezi Batimetri Haritası (su derinlik konturları m cinsinden) (Okyar ve diğ., 2008).

Doğu havzası, Derince–Gölcük arasında olan dar alanın doğusunda kalmaktadır. Doğu havzası yaklaşık D-B yönünde 16 km ve K-G yönünde 2-5 km uzunluğundadır (Tuğrul ve diğ., 1989). Bu havza, 30 m derinliğe ulaşan D-B yönünde uzanan bir deniz altı çöküntüsüdür (Okyar ve diğ., 2008). Havzada çoğunlu çevresindeki aşınmış alüvyon tortullar oluşturmaktadır (Okyar ve diğ., 2008). Derince – Gölcük arasındaki 30 m derinliğe sahip boğazdan merkez havzaya bağlanmaktadır.

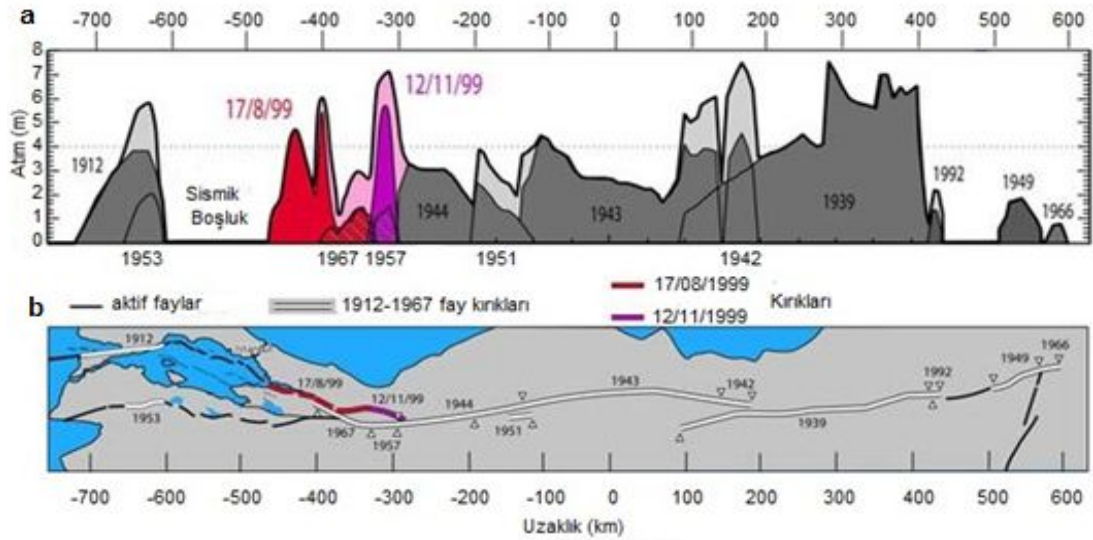
Merkez havzası, Derince – Gölcük arasındaki dar alan ile Dil burnu – Hersek burnu arasında kalmaktadır. Merkez havza ise yaklaşık D-B yönünde 20 km ve K-G yönünde 3-10 km uzunluğundadır (Tuğrul ve diğ., 1989). Bu havzada batimetri haritasına göre 207 m derinliğe ulaşmaktadır. Kuzey kıyısından Hersek deltası ve batı havzasının getirdiği tortullar ile merkez havzasında toplanmaktadır (Okyar ve diğ., 2008). Dil burnu – Hersek burnu ile batı havzaya bağlantısı sağlanmaktadır.

Batı havzası İzmit Körfezinin sınır kısmında Marmara denizi ile direk etkileşime girmektedir (Okyar ve diğ., 2008). Yaklaşık olarak D-B yönünde 27 km ve K-G yönünde 3-3,5 km uzunluğundadır (Tuğrul ve diğ., 1989). Kuzey güney kıyılarından 50 km derinliğe olan eş derinlik eğrileri bir birine paralellik göstermektedir (Okyar ve diğ., 2008). Batı havzası Marmara Denizi, kısmen Merkez havzadan gelen çökelleri almaktadır (Algan ve diğ., 1999).

İzmit Körfezi kıyıları ve yakın çevresinde alüvyal topraklar, kireçsiz kahverengi topraklar ve kahverengi orman toprakları, toprak yapısını oluşturmaktadır (Garipağaoğlu ve Uzun, 2015). Bölgede bulunan KAF hattının kuzey kolu Körfez içerisinden geçmekte olup Marmara Denizine doğru uzanmaktadır.

2. MARMARA BÖLGESİNİN DEPREMSELLİĞİ VE TEKTONİĞİ

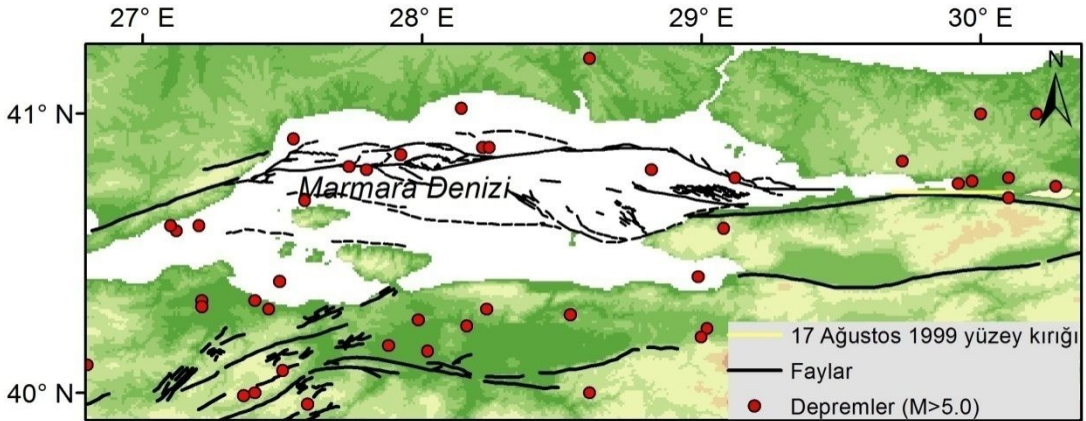
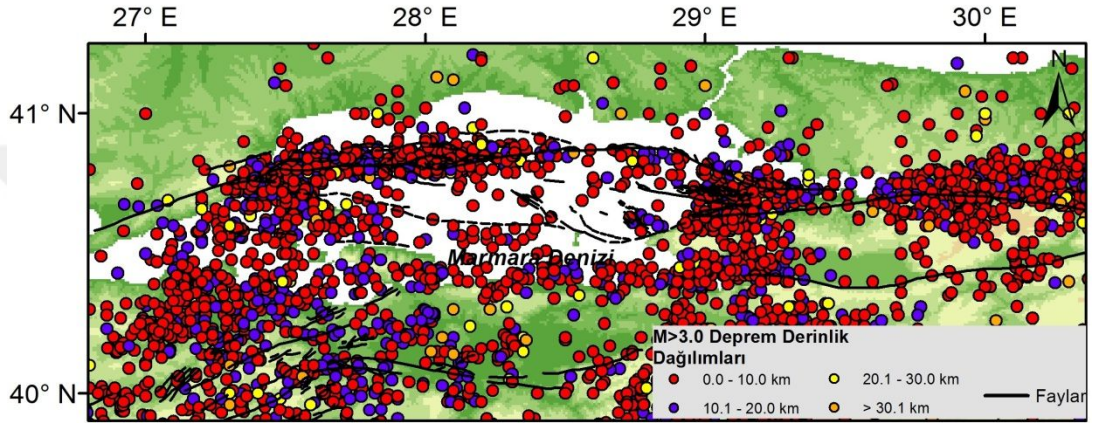
Marmara Denizi içinde yer alan İzmit körfezi boyunca Türkiye'nin en önemli fay kuşaklarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) geçmektedir. Yaklaşık doğu-batı doğrultulu olan Kuzey Anadolu Fay Kuşağı, doğuda Bingöl' ün Karlıova ilçesinden başlar, batıda Biga Yarımadası ve Saros Körfezine kadar yaklaşık 1200 km uzunluğu ile Türkiye'nin kuzeyini kat eder. 1912 yılından bugüne kadar $M > 6.5$ üzerinde 10 büyük yıkıcı ve ölümlü sonuçlanan deprem oluşturan bu fayda en son yıkıcı deprem 12 Kasım 1999 Düzce' de oluşmuş ve fayın Yalova ile Şarköy Tekirdağ arasındaki bölümü sismik boşluk alanı olarak tanımlanmaktadır Şekil 2.1 de gösterilmiştir.

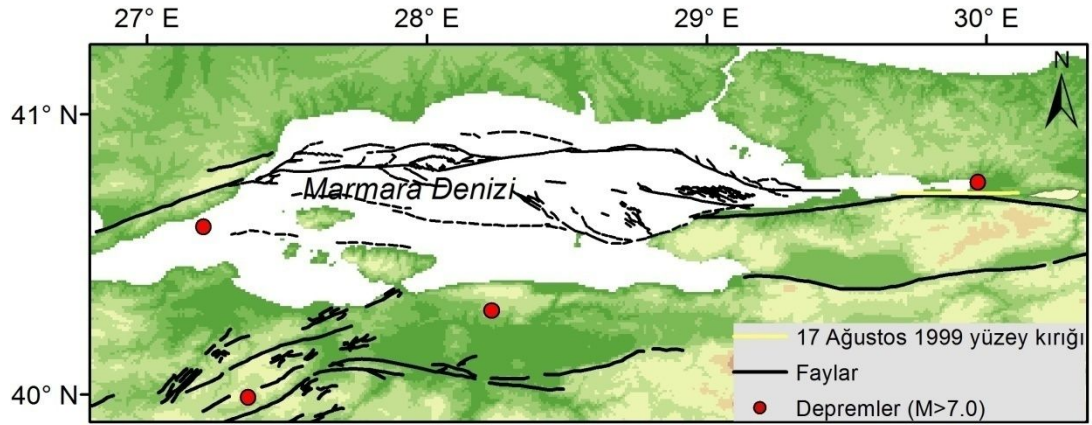


Şekil 2.1. (a) Kuzey Anadolu Fayında 1912-1999 yılları arasında oluşan depremlerin yıllara göre faylanma yüzey kırığı uzunlukları (Armijo ve diğ., 2000) ve bölgedeki sismik boşluk (Demirtaş ve Yılmaz, 1996, Polat ve diğ., 2002), (b) Türkiye kuzey bölgesindeki aktif faylar (Şengör ve diğ., 1985, Barka 1992, Saroğlu ve Kuşçu, 1992, Armijo ve diğ., 2000).

KAF Marmara bölgesine geldiğinde, 33° boylamının batısında birbirine paralel ilerleyen 3 kola ayrılmaktadır. Kuzey kolu Marmara Denizi içerisinden Saros Körfezine uzanır. Güney kolu Yenişehir (Bursa) boyunca güneye doğru devam etmektedir.

Orta kol Gemlik körfezinden Marmara açıklarını takip ederek Bandırma üzerinden Ege Denizine ulaşmaktadır. Marmara'daki deprem dağılımlarına değinilecek çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Marmara Bölgesi'nde 1980-2020 tarihleri arasında olan depremlerin derinliklerine göre dağılımları Şekil 2.3-2.5 de gösterilmektedir. Deprem kayıtları, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ) tarafından oluşturulan deprem sorgulama sisteminden 25,5 – 31,5 Boylamı ve 39 - 42 Enlemi aralığında kalan bölgedeki kayıtlar kullanılmıştır (URL-6).



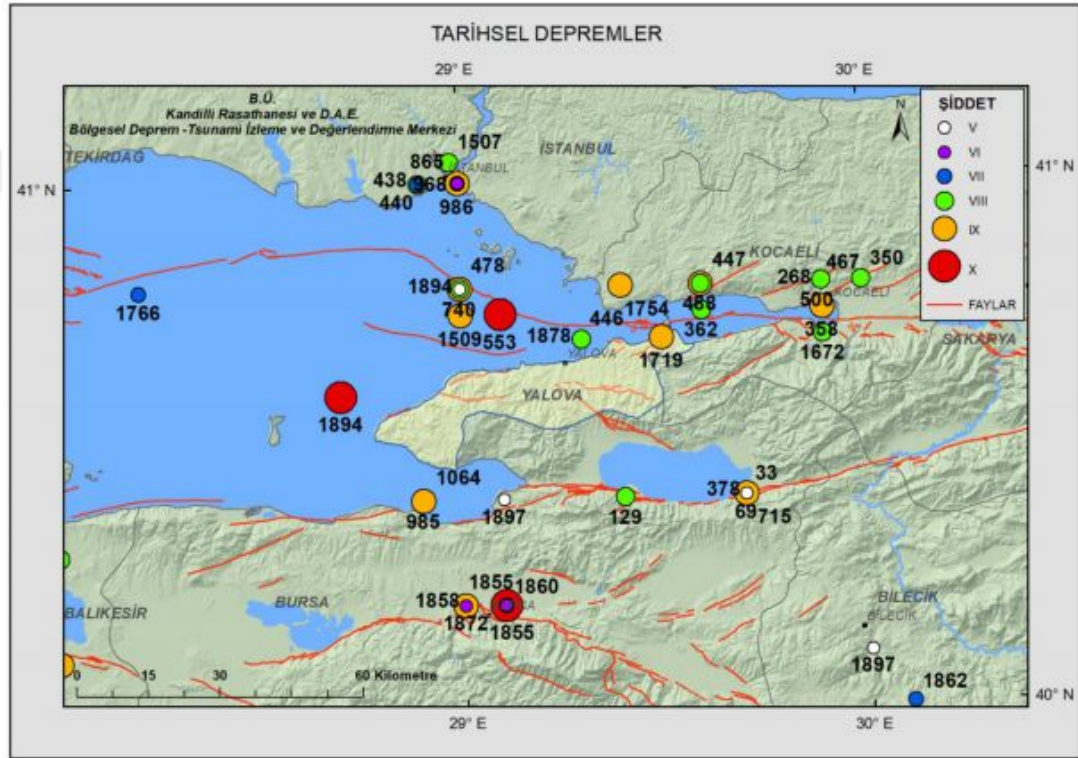


Şekil 2.4. $M_w > 7.0$ den büyük olan deprem dağılımları (Deprem verileri KOERİ web sayfasından indirilmiştir (URL-6)).

Sağ yanal atımlı olan KAF kuşağı 31° doğu boylamının batısına kadar sağ yanal hareketini korur ancak Marmara Denizinde daha karmaşık bir hal alarak birkaç segmente ayrılır ve deformasyon alanı 120 km lik genişliğinde bir bölgeye yayılır (Barka ve Kadinsky-Kade, 1988, Taymaz ve diğ., 1995, Smith ve diğ., 1995, Taymaz, 1999, Okay ve diğ., 1999, İmren ve diğ., 2001, Le Pichon ve diğ., 2001, Sato ve diğ., 2004). Anadolu levhasının batıya doğru hareketi, Marmara denizi ve çevresindeki bu fay sistemlerinin yardımıyla Kuzey Ege bölgesinde de etkinliğini sürdürmektedir (Taymaz ve diğ. 1991, Taymaz, 1995). Marmara Denizi'nde yapılan sismik kırılma çalışmaları sonuçları; deniz içindeki fay kuşağının normal faylanma içeren segmentlere ayrıldığını göstermektedir (Smith ve diğ., 1995, Okay ve diğ., 1999, Parke J.R. ve diğ., 2000, Gürbüz ve diğ., 2000). Marmara denizi içerisindeki bu normal faylanma içeren segmentler büyük olasılıkla açılma rejiminden kaynaklanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü batimetrik ve derin sismik yansıma çalışmaları sonucu elde edilen Marmara Denizi içerisinde aktif fayların bulunduğu yerler ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Le Pichon ve diğ., 2001). Kuzey Anadolu Fayına ilişkin yapılan GPS çalışmaları ise Doğu-Batı yönlü makaslama kuvvetlerinin yılda 24 mm civarında olduğunu göstermektedir (Straub ve diğ., 1997, McClusky ve diğ., 2000).

Marmara Denizi içerisinde bulunan aktif fayların tarihsel dönemde bir çok büyük deprem olduğu bilinmekte ve bu depremler Şekil 2.5.'de gösterilmiştir (Soysal ve diğ., 1981, Ambraseys ve Finkel, 1990, Ambraseys ve Finkel, 1995, Barka, 1995, Ambraseys ve Jackson, 2000, Gurbuz ve diğ., 2000).

1500 ve 1900 yılları arasında kayıtlara giren daha güvenilir bilgiler Marmara denizi içinde oluşan depremlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile büyüklüklerinin $M > 6.8$ olduğunu göstermektedir (Ambraseys, 1970, Ambraseys ve Jackson, 2000). Buradaki depremlerden en çok bilinenlerinden biri 1896 yılındaki depremdir. Bu tür bir depremin aynı fay segmentinde $M > 6.5$ oluşması halinde bugün metropol kent boyutunda İstanbul ve dalgaların İzmit körfezinde ilerlemesi ile körfeze kıyı yerleşim alanlarının ve sanayi kuruluşlarının zarar görmesi kaçınılmazdır.

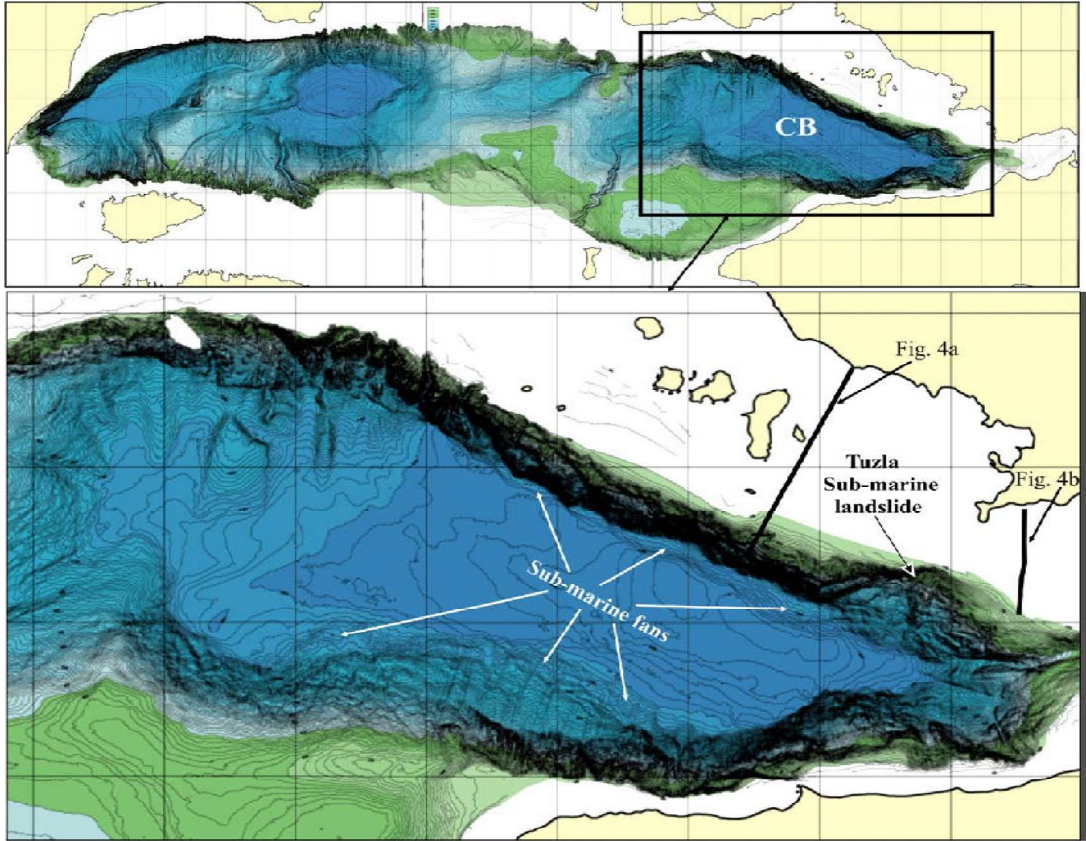


Şekil 2.5. $M > 7.0$ den büyük tarihsel deprem dağılımları (URL-6) .

Bölgede yapılan sismik çalışmalar; Marmara Denizi'nin Çınarcık havzasında deniz içi heyelanların varlığını Şekil 2.6.'de göstermekte ve bu heyelan alanlarının dinamiklerini belirleyerek deniz altı morfolojisi üzerindeki etkileri ortaya koymuştur (Gökçeoğlu ve diğ., 2009).

Gelecekte oluşacak depremlerin zamanları, konumları ve magnitüdlerinin tahmini için çeşitli çalışmalar olsa da bugüne kadar depremlerin tahmini tam olarak yapılamamaktadır ancak çeşitli istatistiksel yaklaşımlarla, standart sapma dâhilinde depremlerin oluşma zaman aralıkları tahmin edilmektedir (Kalyoncuoğlu ve Özer, 2005).

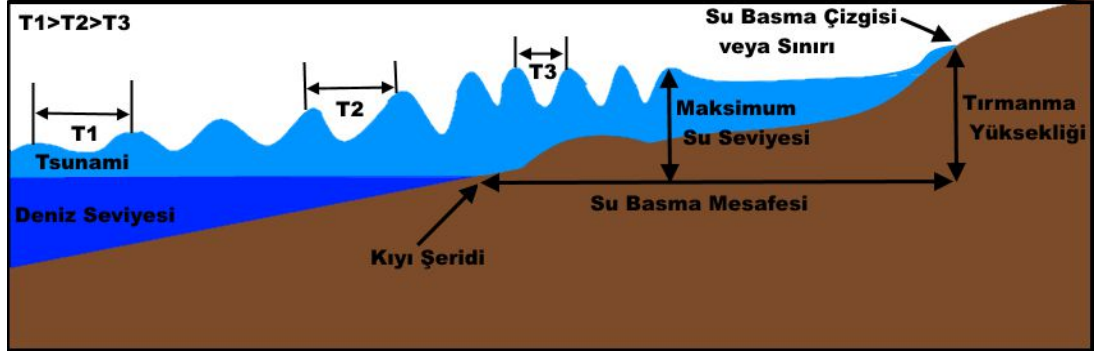
Meydana gelebilecek depremlerin oluşma olasılıkları ve zamanları istatistiksel modellerle belirlenebilmektedir. Kullanılan bu istatistiksel modeller için sağlıklı deprem kayıtlarına ihtiyaç vardır. Bu kayıtların doğruluğu ile miktarı ne kadar çok olursa oluşturulan model yaklaşımları bir o kadar daha standart sapmaları düşük veri arası ilişki katsayılarının yüksek olduğu çalışmalar olacaktır. Bu çalışma kapsamında büyük ve küçük magnitüdü tüm depremlerin istatistiksel yaklaşımları ile geri dönüş periyotları hesaplamak yerine; 17 Ağustos 1999 depreminden sonra stres transferinin yoğun olduğu Çınarcık ve Tuzla arasında olası; yukarı da detayları anlatılan bölge tektoniğine uyumlu normal faylanma bileşeni olan doğrultu atımlı senaryo depremler büyüklükleri de $M_w:7.2$ olarak seçilmiştir. Bu değer bölge ve normal faylanma bileşenli doğrultu atımlı bir fay için öngörülmüştür.



Şekil 2.6. Çınarcık Baseninin Kuzey ve Güneye eğimli alanlarında denizaltı yelpaze çökelleri (Gökçeoğlu ve diğ., 2009).

3. DEPREM KAYNAKLI TSUNAMİ MODELLEME

Tsunami kelimesi Japonca kökenli olup, liman(tsu) ve dalga(name) kelimelerin birleşiminden gelmektedir. Okyanus veya Deniz gibi çok büyük hacimli su kütlelerinin tabanındaki ani ve büyük yer değiştirmelerden kaynaklı oluşan uzun periyotlu dalgalardır. Tsunami oluşum nedenleri; depremler, heyelanlar, volkanik aktiviteler ve göktaşı düşmeleridir. Dünya çapında tsunamiye en çok neden olan doğa kaynaklı olay ise deniz veya okyanus tabanlarında oluşan depremlerdir. Tsunami hareketi dalganın altında bulunmakta olan su moleküllerinin birbirini iterek yer değiştirmesi sonucunda olur (Gedik ve diğ., 2005). Tsunami dalga yayılımları ve periyotlarının diğer deniz dalgaları bazı benzer özellikleri olmasına rağmen aynı değildir. Tsunamileri diğer dalga türlerinden ayıran farklar ise dalga boyu, periyod ve genlik gibi özelliklere sahip olmasıdır. Tsunami dalgalarının hızları ve periyotları derinlikle doğru orantılıdır. Derinlik arttıkça dalgaların hızları ve periyotları yüksek olmaktadır. Okyanusun derin bölgelerinde hızları 500-1000 km ve periyotları ise dakikalar, saatleri bulmaktadır. Kıyıya yaklaştıkça ise dalgaların hızları ve dalga boyları azalırken genlikleri ise yükselmektedir. Bunun nedeni ise enerji kaybının kıyıya gelene kadar çok düşük olmasıdır. Tsunami dalgalarındaki yer değiştiren su miktarı (yüksek hacim) diğer dalga türlerine (örn. rüzgar dalgası) kıyasla yüksek olduğundan açık denizde ve derinde ilerlerken enerji kayıpları düşük olmaktadır. Tsunamilerin kıyılara ve yerleşim alanlarına verdikleri en büyük zararlardan biri kıyıya varışlarındaki yükseklik değerleri değil, kıyıdan içeri metrelerce hatta kilometrelerce ilerleyebilmeleridir. Kıyı içi etkilerini belirten bir diğer önemli göstergelerinden biri de tırmanma yükseklikleridir. Bu yükseklik; deniz seviyesinden itibaren hacim değişimi ile kıyılara ulaşan ve eğime bağlı olarak içerilere tırmanan tsunami dalgalarının deniz seviyesinden yüksekliklerini tanımlar (Şekil 3.1). Kıyı şeridi ve kıyıdan içeriye olan bölgenin eğimine bağlı olarak tırmanma yükseklikler değişiklik gösterebilir ve kıyıya gelen maksimum dalga yüksekliğinden daha büyük değerlere ulaşır.



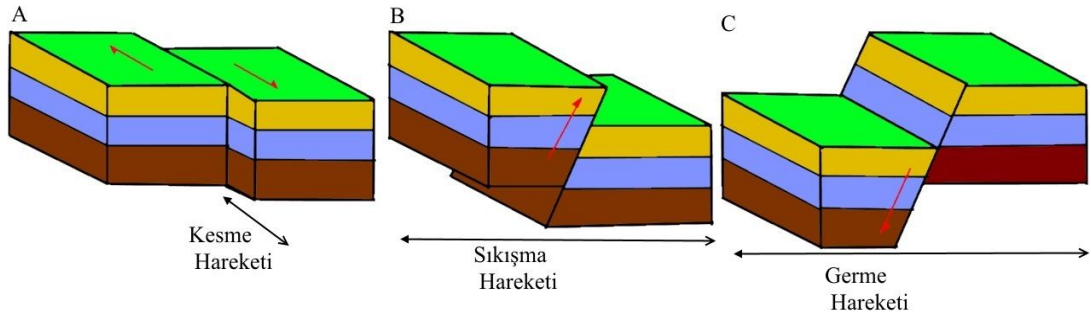
Şekil 3.1. Tsunami dalga yükseklik türleri, T periyotları ve su basma mesafesi şematik gösterimi.

Tsunamiler; yerel ve uzak olmak üzere iki şekilde gruplandırılabilir. Yerel tsunamiler; dalgaların sahile 1 saatten daha kısa sürede ulaşan tsunamilerdir ve bu nedenle depremden sonra kıyılara varış zamanları az olduğu için yerleşim yerleri için erken uyarı bilgilendirme süreleri uzak alan tsunamilere göre kısadır. Uzak tsunamilerde ise kıyıya varış zamanları fazla olduğundan dolayı kıyıya yakın yerleşim alanlarında erken uyarı yapılması için yeterli zaman vardır ve kaçış zonu güzergâhlarından şehir sakinlerinin uzaklaşması sağlanabilir. Erken uyarı sistemleri insanların kıyılardan uzaklaşmasını sağlamasına rağmen tek başına yetersiz bir önlemdir. Kıyılarda bulunan mühendislik yapılarında oluşabilecek hasarı en aza indirgeyebilmek ve kaçış yollarının oluşturulması için, bölgede oluşabilecek tsunamilerin daha önceden modellenmeleri yapıp kıyılar boyunca oluşturabileceği etkilerine dair ön bir bilgi edinilmesi gerekmektedir (Ulutaş ve diğ., 2012). Deprem kaynaklı tsunami modelleri yapılırken, bölgedeki aktif tektoniğin ve tektoniğe uygun oluşabilecek kırılma şeklinin daha iyi çözümlenmesi kıyılardaki tsunami riskini azaltmak için önemlidir.

Deprem esnasında fay kaymasından kaynaklı, deniz tabanında oluşan deformasyon tsunami kaynağı olarak kullanılır (Fuji ve Satake., 2007, Ulutaş., 2013). Deniz tabanının fay türüne göre yükselme veya düşme hareketi tsunami oluşmasına neden olur (Ulutaş., 2013). Oluşan tsunami dalgalarının başlangıç yüksekliklerinin hesaplanabilmesi için deniz tabanında oluşan dikey deformasyon değerinin bilinmesi gerekmektedir (Yolsal-Çevikbilen ve diğ., 2018). Bu deformasyon fay hattı boyunca oluşmaktadır. Maksimum dalga yüksekliği ile tsunami varış zamanı için yapılan sayısal dalga simülasyonlarında deprem kaynak parametreleri ve fay düzlem modelleri kullanılır (Ulutaş., 2013).

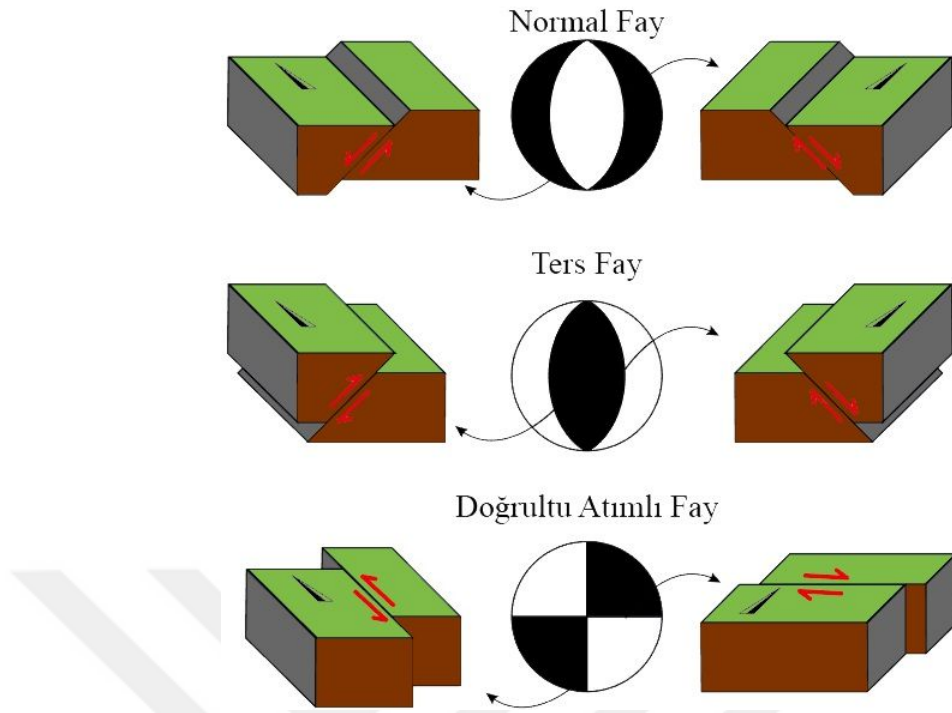
Genel modelleme yaklaşımlarında, tsunami başlangıç dalgası ile deniz tabanı yer değiştirmesiyle aynı şekilsel biçime sahip olduğu kabul edilmesidir (Yalçın ve diğ., 2004, Gica ve diğ., 2007, Titov ve diğ., 2005, Okal ve diğ., 2009, Yolsal ve Taymaz, 2010, Yolsal-Çevikbilen ve Taymaz, 2012, Ulutaş, 2011, 2013). Deniz tabanında oluşan yer değiştirme miktarını bulabilmek için fay boyunca oluşan kırıkların incelenmesi gerekmektedir. Depremler esnasında blokların hareketleri sonucu oluşan kırıklara fay adı verilmektedir (Şekil 3.2.). Faylar atım yönlerine göre,

1. Eğim Atım Faylar(Dip-Slip Faults): Ters Fay ve Normal Fay,
2. Doğrultu Atımlı Faylar(Strike Slip Faults): Sağ Yanal Atımlı Fay(Dextral) ve Sol Yanal Atımlı(Sinistral),
3. Oblik-Verev Faylar(Oblique Faults): Oblik faylar ise fay düzleminin tek bir yönde değil hem düşey hem yatay hareketi sonucu oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Fay Türleri. (a) Doğrultu atımlı fay, (b) Ters Fay, (c) Normal Fay

Faylanma türü; deprem kayıtlarından odak mekanizması çözümü adı verilen ters çözüm modellemeleri sonucunda elde edilmektedir. Odak mekanizması çözümlerinde çift eşlenik (Double Couple) yönteminden birine dik iki fay düzlemi elde edilmektedir (Şekil 3.3.). Her iki fay düzlemi de bu yöntem ile çözülen doğrultuyu vermesine karşın iki düzlemden hangisi ana fay düzlemi olarak kullanılacağını harita üzerindeki konumu, jeolojik, tektonik özelliklerine bakılarak karar verilir (Ulutaş, 2013). Faylanma türü, kayma açısı değerlerine bakılarak sınıflandırılabilir. Farklı kayma açılara karşı gelen faylanma türleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

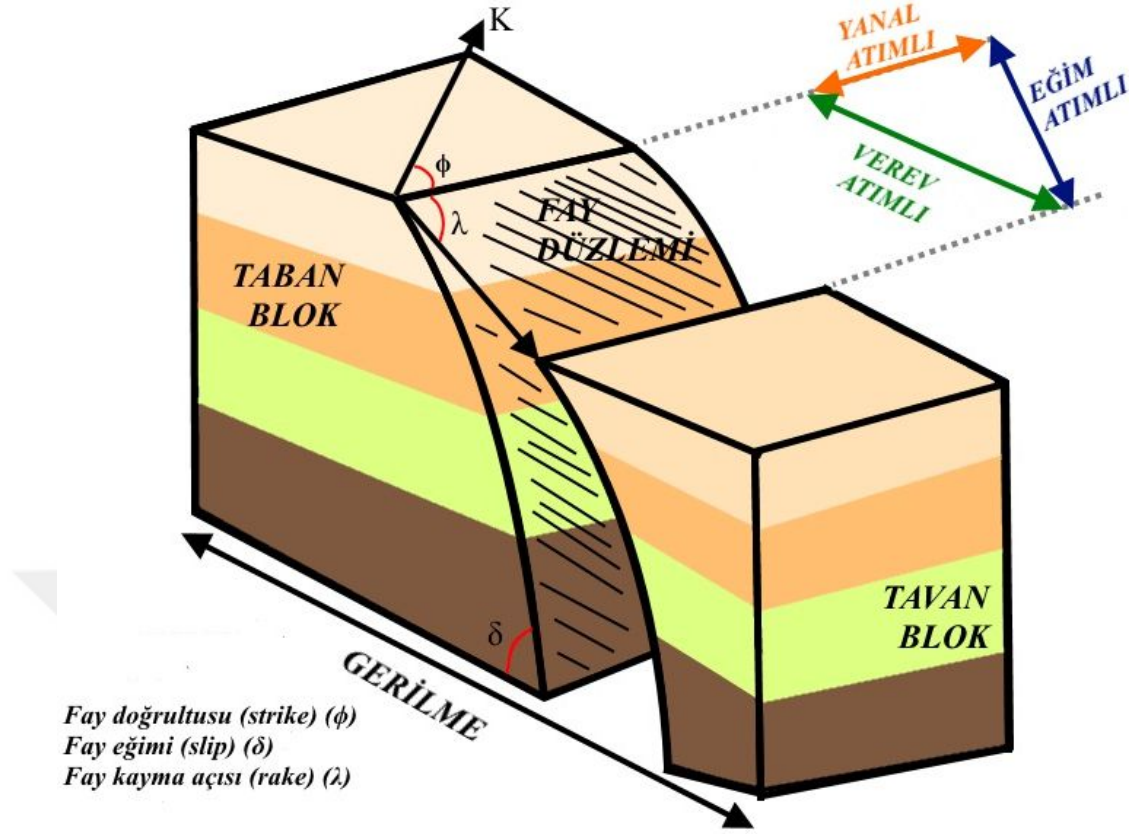


Şekil 3.3. Farklı odak mekanizması türlerine göre fay blok diyagramları (Yagi ve diğ., 2004'ten derlenmiştir).

Her iki düzlemin kendine ait doğrultu, eğim(dalım) ve kayma açısı değeri vardır (Kikuchi ve Kanamori, 1982, 1996; Satake, 1987; Taymaz ve diğ., 1990; Johnson ve diğ., 1996; Ji ve diğ., 2002; Lay ve diğ., 2011, Polat ve Özyalın, 2018). Fayın kuzeyle yaptığı açıya doğrultu (azimuth), fayın yatay düzlemlerle yaptığı açıya eğim, kırılma esnasında tavan bloğun taban bloğa göre hakaret yönünde azimut ile yaptığı açı kayma açısı olarak adlandırılır.

Tablo 3.1. Kayma açılarına göre Faylanma türleri (Polat O., 2005).

Kayma Açısı(°)	Faylanma Türü
0 veya 180	Tam Doğrultu Atım
90	Tam Eğim Atımlı Ters
-90	Tam Eğim Atımlı Normal
-20	Sol Yönlü Doğru Atım
20 - 70	Sol Doğrultu Atımlı Ters Oblik
70 - 110	Ters
110 - 160	Sağ Doğrultu Atımlı Ters Oblik
-160 - 160	Sağ Yönlü Doğru Atım
-110 - 160	Sağ Doğrultu Atımlı Normal Oblik
-70 - 110	Normal
-20 - 70	Sol Doğrultu Atımlı Normal Oblik



Şekil 3.4. Fay bloğu üzerinde fay parametreleri şematik gösterimi.

Tsunami modelleme yapılabilmesi için odak mekanizması sonucu bulunan ana düzleme ait fay parametreleri dikkatli bir şekilde seçilmeli ve hesaplanmalıdır. Her bir fay parametresinin tsunami üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır (Burbidge ve diğ., 2015). Fay doğrultusu, başlangıç dalga yüksekliğine etkisi olmamasına rağmen dalganın yayılış yönünü doğrudan etkilemektedir. Fay eğimi ve fay kayma açısı, oluşan tsunami dalgasının yayılış yönü ile başlangıç dalga yüksekliğini doğrudan etkilemektedir. Özellikle normal faylanma türlerinde eğim düştükçe yakın alanda kıyıya ulaşan dalgaların daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum; düşük eğimli fayların yüksek hacimli başlangıç dalgası oluşturduklarından kaynaklanmalıdır. Aynı parametrelere sahip iki fayın sadece eğim açısındaki değişikliğin başlangıç dalga üzerindeki etkisi Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.

Özellikle senaryo depremlerde fay boyu ve fay eni değerlerini sismik moment yaklaşımı ile çözümlenebilmektedir. Sismik moment kullanılarak moment magnitudü (M_w) hesaplanabilir (Hanks ve Kanomori, 1979).

$$M_w = \left(\frac{3}{2} \log M_0 \right) - 10,7 \quad (3.1)$$

Burada M_0 sismik moment olup, birimi dyn.cm olarak alınmalıdır. Sismik moment; fay boyu, fay eni ve fayın ortalama kayma miktarı kullanılarak da belirlenebilir (Aki, 1966).

$$M_0 = \mu SLW \quad (3.2)$$

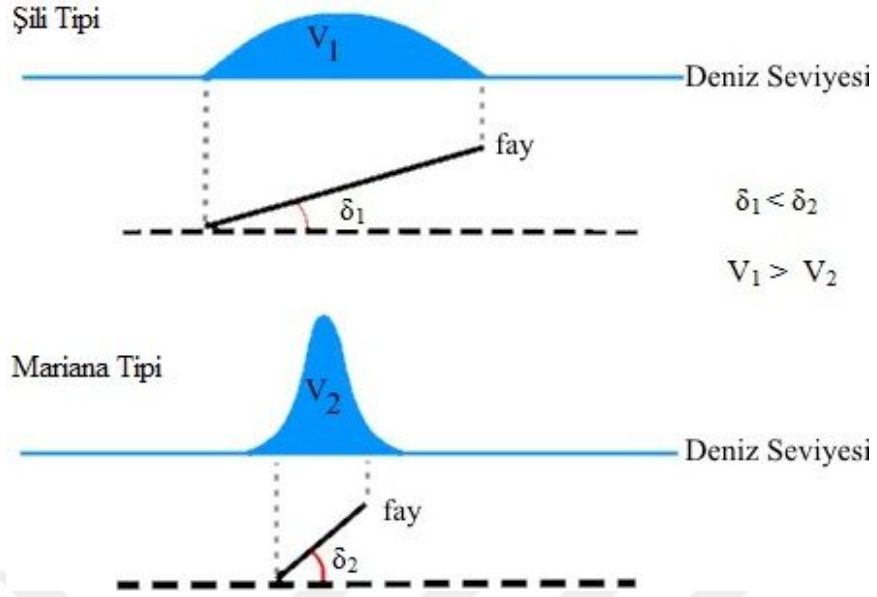
Burada M_0 moment magnitudü (dyn.cm), S kayma miktarı (cm), μ rijidite (dyn/cm²), L fayın uzunluğu (cm) ve W fayın genişliğidir (cm). Moment magnitudünden dikdörtgen fayın uzunluğu ve genişliği, ölçeklendirme yaklaşımları kullanılarak çıkarılabilir (Wells ve Coppersmith, 1994). Bu tez çalışmasındaki senaryo depremlerin düşünülen deprem büyüklüğü kullanılarak Wells ve Coppersmith (1994) tarafından doğrultu atımlı faylanmalar için önerdikleri aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\log L = -2,57 + 0,62M \quad (3.3)$$

$$\log W = -0,76 + 0,27M \quad (3.4)$$

Rijidite(μ), fay bölgelerindeki ve buna bağlı olarak tüm Dünya'nın kabuğundaki jeodinamik koşulları karakterize eden anahtar parametrelerden biridir. Fayın bulunduğu bölgedeki jeolojik yapıya göre rijidite değişir. Dünya genelinde rijidite değeri ortalama olarak 1 ile 6 x 10¹¹ dyn/cm² arası değişmektedir (Gica ve diğ., 2007). Tsunami çalışmalarında ise genel olarak rijidite değeri 3-4 x 10¹¹ dyn/cm² arasındaki değerler kullanılmaktadır (Johnson, 1996, Gica ve diğ., 2007, Ulutaş, 2013, Ulutaş ve Gürleme, 2019).

Deprem kaynaklı tsunami dalga yayılım modellemeleri yapılırken, depremin büyüklüğü ve derinliği, dışmerkezi, fay boyu ve eni, odak mekanizması sonucu elde edilen fay parametreleri kullanılmaktadır (Ulutaş, 2013).



Şekil 3.5. Fay eğimi ve uzunluklarına göre su hacmi değişimi şematik gösterimi (Uyeda ve diğ., 1979, Gürleme, 2020).

3.1. Tsunami Dalga Yayılım Modellemesi

Tsunami modellemeleri; tsunami yayılım simülasyonları, kıyılarına ulaşabilecek dalga yükseklik tahminleri ve erken uyarı sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Annunziato, 2007, Annunziato ve diğ., 2009, Ulutaş, 2011, 2013, 2018, Yolsal-Çevikbilen ve diğ., 2019). Tsunami dalgaları, dalga boyları okyanus derinliğinden çok daha büyük olmasından kaynaklı kullanılan bu modellemede sığ su teorisi kullanılmaktadır (Yalçınmer ve diğ., 2004, Yolsal-Çevikbilen ve Taymaz, 2012, Ulutaş, 2011, 2013). Bu modelin kabul edilebilirliği yatay hareket değişiminin, su derinliğinden çok olduğu zaman geçerli olmaktadır (Liu ve diğ., 2009). Bu tezde, Okada'nın (1985) düzlemsel fay modeli, KOERİ kuruluşlarından alınan bölgesel deprem verileri ile bölge tektoniğine uygun 6 farklı senaryo deprem ile fay parametreleri kullanılarak modelleme yapılırken JRC-SWAN kodu olarak adlandırılan bir yayılım modeli kullanılmıştır.

Sıvı akışının doğrusal olmayan uzun dalga denklemlerini çözen SWAN (Simulating Waves Near-Shore) kodu Mader (1988, 2001) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan sığ su teorisine ait Mader (1988) tarafından önerilen yaklaşımlar JRC-SWAN kodu olarak adlandırılan bir yayılım modeline adapte edilmiştir (Annunziato, 2007).

Bu tezde SWAN kodu bulunan sürümü Annunziato (2007) tarafından tasarlanmıştır. Tsunami yayılımı için kullanılan temel denklemler aşağıdaki gibidir:

$$u_t + \frac{1}{\cos(\varphi)} + uu_x + vv_y + \frac{g}{\cos(\varphi)} + \eta_x = fv - \frac{g|U|u}{C^2(D + \eta)} \quad (3.3)$$

$$v_t + \frac{1}{\cos(\varphi)} + uv_x + vv_y + g\eta_y = -fu - \frac{g|U|v}{C^2(D + \eta)} \quad (3.4)$$

$$u_t + \frac{1}{\cos(\varphi)} \left\{ [(\eta + D)u]_x + [(\eta + D)v\cos(\varphi)]_y \right\} = 0 \quad (3.5)$$

Bu denklemlerde D derinlik, C taban sürtünme katsayısı u ve v hızın x ve y bileşenleri, μ rijidite (dyn/cm^2), g yerçekimi, η ortalama su seviyesinin üzerindeki dalga yüksekliği, t zaman, f coriolis sabiti, indeks sayıları ise kısmi türevleri belirtir.

Tsunami başlangıç dalga yüksekliği; fayın deniz tabanında oluşturduğu dikey yer değiştirmeyi belirleyebilmek için fayı dikdörtgen bir alan üzerinde düzgün bir kayma öngörür ve statik yer değiştirme modeli kullanılarak hesaplanır (Okada, 1985).

3.1.1. Sığ su teorisi

Sığ su demek için, oluşan dalga boyunun su derinliğinden çok daha yüksek olmalıdır. Bu sebeple tsunami modellenirken sığ su teorisi kullanılır. Matematiksel çözümünde sonlu faklar yöntemi kullanılır.

Herhangi bir yönde saçılma olmadan ilerleyen tsunami dalgasının hızı:

$$c = (gh)^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Burada h su derinliği, g yerçekimi ve c tsunami dalga hızıdır. Bu denklemde su derinliği yerine batimetri koyulduğunda ise;

$$c = \sqrt{(gh(x, y))} \quad (3.7)$$

Burada $h(x, y)$ batimetri, c tsunami dalga hızı ve g yerçekimidir. Doğrusal hale getirilmiş sığ su denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2}(\eta\sqrt{g}) = \nabla[gh\nabla(\eta\sqrt{g})] \quad (3.6)$$

Bu denklemde g yerçekimi ivmesi, η serbest su yüzeyinin serbest yer değiştirmesi, h yüzey ile taban arasında ki mesafe, t zamandır. Kıyıya yaklaştıkça dalga boyunun kısalması ve genliğin artması sebebiyle bu yaklaşım geçerliliğini yitirmektedir. Bu sebeple sadece açık denizde dalga hareketleri modellenmektedir.

3.1.2. Coriolis kuvveti

Yerkürenin kendi ekseninde hareketi sonucunda; okyanuslarda ve atmosferde etkili olan saptırma kuvvetidir. Kuzey yarım küre içersinde soldan sağa doğru hareket etmekteyken, Güney yarım küre içerisinde bu durum tam tersidir. Kutuplara gittikçe kuvvetin etkisi artmaktayken, ekvator da etkisi yok olmaktadır. Bu nedenle Coriolis kuvveti dalga hareketlerini belirlemek için önemli bir etkidir.

3.1.3. Batimetri

Su altı tabanında derinlik belirleme yöntemine batimetrik ölçüm denmektedir. Batimetri; batimetrik ölçümler sonucu sualtı topografya haritaları sayısal veri olarak dijital ortamda oluşturulmasıdır. Bu tezde, IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) ve IHO (International Hydrographic Organization) tarafından ortak geliştirilen General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) kullanılan batimetri modeli kullanılmıştır. Ücretsiz olarak kullanılabilen GEBCO30 Grid batimetri verileri 30 arc saniye çözünürlüğe sahiptir (GEBCO-BODC, 2012, Weatherall ve diğ., 2015). 1 arc saniye demek 30,87 metreye denk gelmesi demektir.

3.1.4. Sürtünme

Manning'in n değeri akışkanın geçtiği yüzeyin pürüzlülüğü veya sürtünme direncini ifade eden bir parametredir (Ding ve diğ., 2004). Ampirik bir parametre olması sebebiyle en ideal şekle getirebilmek için birçok simülasyon ve gözlem gerektirmektedir (Ding ve diğ., 2004).

4. MARMARA DENİZİ'NDE TSUNAMİ

Marmara denizi içerisinde oluşabilecek bir tsunami; kıyılara varış zamanı bir saatten az olduğu için yerel tsunami sınıfında olup; yerleşim ve sanayi alanlarının yoğunluğu nedeniyle risk boyutu fazladır. Özellikle İzmit Körfezi kıyılarındaki önemli ticari limanlar, tersaneler ve sanayi kuruluşlarının ekonomik kayıplara uğraması muhtemeldir. Burada dikkat edilmesi gereken, Marmara Denizi içerisinde oluşan tsunamileri, Pasifik Okyanusuna kıyı şeridi ülkelerde oluşan daha yüksek dalgalı tsunamiler ile kıyaslanmamaktır. Her iki alanda aynı büyüklükte bir deprem oluşsa; Marmara Denizinin derinliği Pasifiğe kıyı ülkelere göre daha az olduğundan dolayı daha küçük dalgalar kıyıya ulaşacaklardır. Bunun aksine Marmara gibi iç denizlerde oluşan dalgaların başlangıç dalga yükseklikleri Pasifiğe komşu ülkelerdeki benzerlerine göre küçük olsa da çukur alanlardan sığ alanlara geçiş, koy yapıları ve denize dökülen dere ve nehirlerin çokluğu nedeniyle bölgede oldukça etkili olabilirler. Marmara bölgesindeki tsunami tehlikesini belirten, bölge tektoniği ve tarihsel kayıtlar incelenerek çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Yalçın ve diğ., 2002, Hébert ve diğ., 2005, Latcharote ve diğ. 2016, Yalçın ve diğ., 2018, Ulutaş ve Çayır., 2018). Yapılan bu çalışmalar bölgedeki tehlikeyi belirten, olası modelleri ortaya koyan, çeşitli fay modellerini içeren çalışmalardır. Bu tez çalışmasının bu çalışmalardan farkı, İzmit Körfez içine yoğunlaşması ve Körfez içerisinde su basma mesafe ile tırmanma yüksekliklerinin hesaplanmasıdır. Bölgede çeşitli kaynaklarda belirtilen sismik boşluklar ve bu alanlarda deprem olma olasılıklarının yüksek oluşunun rapor edilmesi (Demirtaş ve Yılmaz, 1996, Polat ve diğ., 2002, Ergintav ve diğ., 2014) bölgedeki olası bir depremde tsunami oluşumu fikrini güncel tutmaktadır.

Bölgedeki sismik boşluk üzerinde tarihsel kayıtlarla bakılarak en az 7 büyüklüğünde bir deprem olma olasılığı yüksektir (Le Pichon ve diğ., 2001, Cisternas ve diğ. 2004, Parson, 2004, Armijo ve diğ., 2005, Ergintav ve diğ., 2014). Bölgedeki mikro deprem kayıtları ile yapılan çalışmalar sonucunda sismik aktivitenin 15 km derinliği geçmediği belirtirmiştir (Gurbuz ve diğ., 2000, Honkura ve diğ., 2000).

Aletsel dönem odak mekanizması yapılan çözümlenmeler bölgedeki etkin faylanma türlerinin doğrultu atımlı olduğunu göstermektedir (Barka, 1997, Barka ve Kadinsky, 1998, Okay ve diğ., 1999, Le Pichon ve diğ., 2001, Armijo ve diğ., 2002, Yaltrak, 2002, Taymaz ve diğ., 2004, Sato ve diğ., 2004).

Bölgedeki doğrultu atımlı faylar üzerinde olan bu depremlerin tek başına tsunami oluşturup, oluşturamayacağı ve oluşturduğunda ise oluşabilecek dalga yüksekliklerinin belirlenmesi açısından önemli bir çalışma konusudur. Doğrultu atımlı faylanma türlerinde yanal yer değiştirme hâkim'dir bu nedenle bu tür faylanmalarda normal ve ters faylanmalara kıyasla daha küçük genlikli tsunami başlangıç dalgaları oluşturmaktadır (Geist ve Dmowska, 1999, Ulutaş, 2013). Ayrıca, Marmara Denizi'nin her bir havzasındaki sismik verilerde bulunan yüksek türbidit yoğunluğu burada yıkıcı tsunamiler oluşturabilecek eğimli deniz altı heyelanların olduğunu göstermektedir ve deprem hareketleri sonrası tetikleme olasılıkları yüksektir (Yalçınmer ve diğ., 2002).

Bölge geçmişten beri sismik hareketliliğin çok olduğu bir bölgedir ve bu hareketlilik nedeniyle günümüze kadar birçok tarihsel tsunami oluşmuştur (Altinok, 2001, Altinok ve diğ., 2011, Yalçınmer ve diğ., 2002). Marmara denizinde 120 ile 1999 yılları arası 40'dan fazla tsunami meydana gelmiş olabilir (Altinok ve diğ., 2001a). Tarihsel kayıtlarda tsunami olaylarına dair bilgilerin azlığı ve ulaşılabilir kayıtların doğruluğu gibi nedenlerle birçoğunda analiz yapılamaktadır. Altinok ve diğ., (2011)'de hazırladığı tarihsel tsunami katalogundan Marmara bölgesi için güvenilirliği yüksek olarak rapor edilen bazı tsunamiler;

557 yılındaki denizaltı depremi sonucu kıyılarda 3000 m civarında su basma mesafesi yaratmıştır (Soysal, 1985). İstanbul Yenikapıda yapılan arkeolojik çalışmalar sonucu bulgulara göre bulunan bölgenin antik Theodosius limanı olmaktadır (Altinok diğ., 2011).

740 yılında oluşmuş olan denizaltı depremi sonucu bazı yerlerde, deniz kıyılarından çekilmiştir, su basması olarak dönmemiştir (Ambraseys, 2002, Guidoboni diğ., 1994, Papazachos ve Papazachou, 1997). Deniz normal kıyı sınırından geriye çekilmiştir ve bazı şehirlerin sınırlarının yerini değiştirecek kadar yoğundu (Altinok ve Alpar, 2010, Ambraseys, 2002).

1509 yılındaki denizaltı depremi İzmit'te bulunan tersaneyi batırmış ve su baskını meydana gelmiştir (Altınok ve Alpar 2010, Ambraseys ve Finkel 1995, Öztin ve Bayülke 1991). İstanbul'da tsunami dalgaları Galata'daki duvarları aştı ve Yenikapı ve Aksaray ilçelerini sular altında bıraktı (Altınok ve Ersoy 2000, Altınok ve Alpar 2010, Öztin ve Bayülke 1991, Guidoboni ve Comastri, 2005).

1766 yılında oluşmuş olan denizaltı depremi sonucu olan Tsunami dalgaları İstanbul Beşiktaş'taki sahil köyünde ve İstanbul boğazının iç kesimlerinde fark edildi (Altınok ve diğ., 2011). Marmarada Denizi içerisinde bulunan ıssız adacıkların yarı yarıya denize battığı söyleniyordu (Altınok, 2011). İzmit Körfez kıyıları dalgalardan dolayı ağır hasar gördü (Altınok ve Alpar 2010, Ambraseys ve Finkel, 1995, Ambraseys, 2002). Özellikle Mudanya Körfez'nde kuvvetli dalgalar etkisini göstermiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995).

1878 yılındaki depremin karada veya deniz altında olduğu düşünülmektedir (Altınok 2011). İzmit Körfezi içerisinde yaşanan şok, depremin gemilerde de hissedildiği Körfez'in batısına yayılan küçük bir tsunami meydana getirdi ve bazı endişelere sebep oldu (Ambraseys, 2002). İzmit'te ise sözde oldukça güçlü bir tsunami görüldü (Soloviev ve diğ., 2000).

1894 yılında oluşmuş olan deprem Prens adalarının yakınında meydana gelmiştir. Deprem sonucu oluşan Tsunami, Büyükçekmece ile Kartal arasında 50 m'lik bir geri çekilme mesafesi ve 200 m'lik maksimum su basma mesafesi ile meydana geldiği tahmin edilebilir (Altınok ve Ersoy 2000, Öztin 1994).

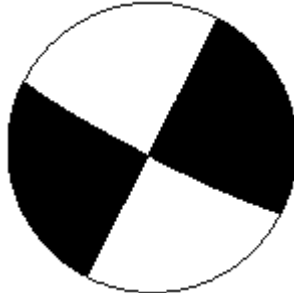
5. MARMARA DENİZİ DOĞUSUNDA TSUNAMİ SİMULASYONLARI

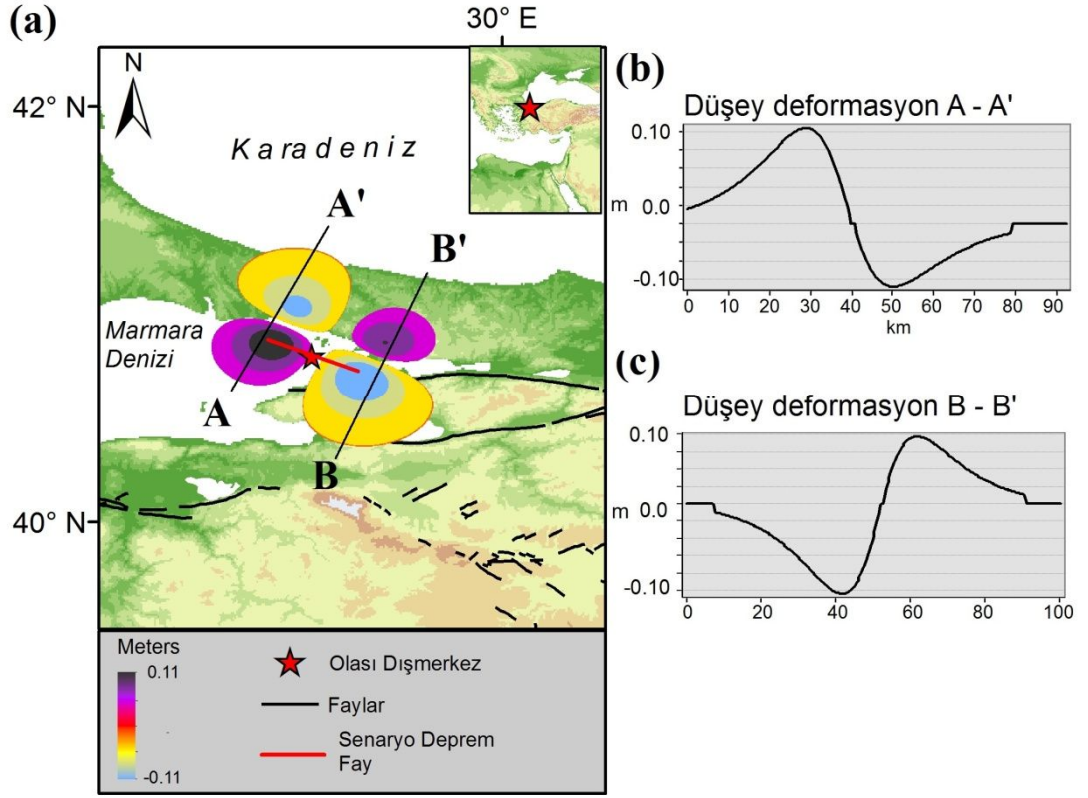
Marmara Denizinin doğusunda bulunan uzun süredir büyük bir deprem üretmeyen aktif fay hatları üzerinde, bölge tektoniğine uygun bir şekilde oluşabileceği öngörülen 6 adet senaryo deprem çeşitli dışmerkezler ve fay boylarına göre tasarlanmıştır. Her bir senaryo deprem için fay parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerden yararlanılarak olası bir tsunami oluşumu için başlangıç dalga modelleri öngörülmüştür. Tez kapsamında yapılan modellemeler ile Güler ve diğ., (2020) tarafından çalışma raporu hazırlanmıştır. Başlangıç dalga modellerinde kullanılan bu senaryo depremlerin oluşturabilecekleri heyelan etkileri hesaplamalara katılmamıştır. Hesaplanan başlangıç dalga yükseklikleri kullanılarak GEBCO30 (GEBCO-BODC,2012) batimetri veri seti ve SWAN (Mader, 1988, Mader, 2001) sıvı su teorisi yayılım kodu kullanılarak dalgaların zamana göre yayılımları ve kıyılarda oluşturacakları maksimum dalgalar hesaplanmıştır.

5.1. Senaryo Deprem 1

Senaryo 1 olarak adlandırılan bu deprem, dış merkezi prens adaları güneyinde bulunan sağ yanal doğrultu atımlı faylanma yapısına sahiptir ve bu depreme ilişkin fay parametreleri Tablo 5.1' de deniz tabanında oluşturduğu deformasyon ve başlangıç dalga yüksekliği Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

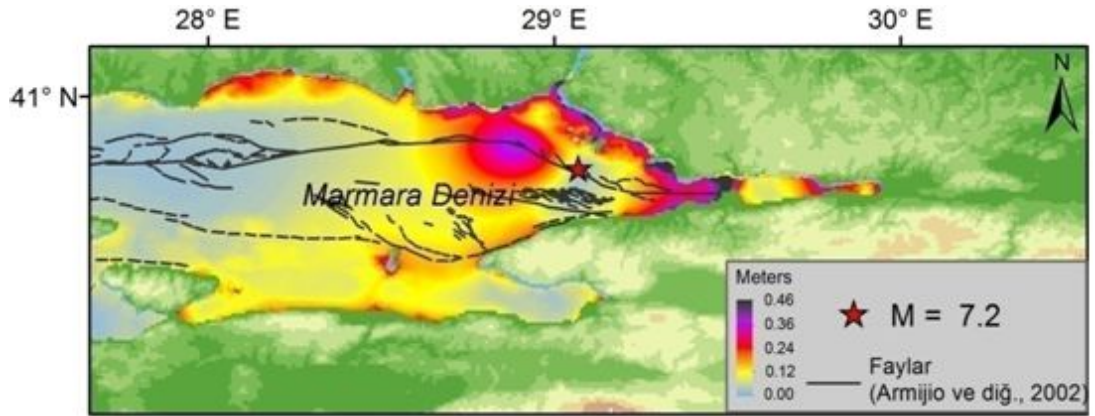
Tablo 5.1. Senaryo deprem 1 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü

Deprem Parametreleri	Değerler	Odak Mekanizma Çözümlemesi (Plaj Topu Görüntüsü)
M_w	7.2	
Dışmerkez - enlem	40,80 K	
Dışmerkez- boylam	29,07 D	
Odak derinliği (km)	10	
Doğrultu/Eğim/Kayma Açısı	117/85/180	
Ortalama kayma (m)	3	
Fay boyu (km)	40	
Fay Eni (km)	15	



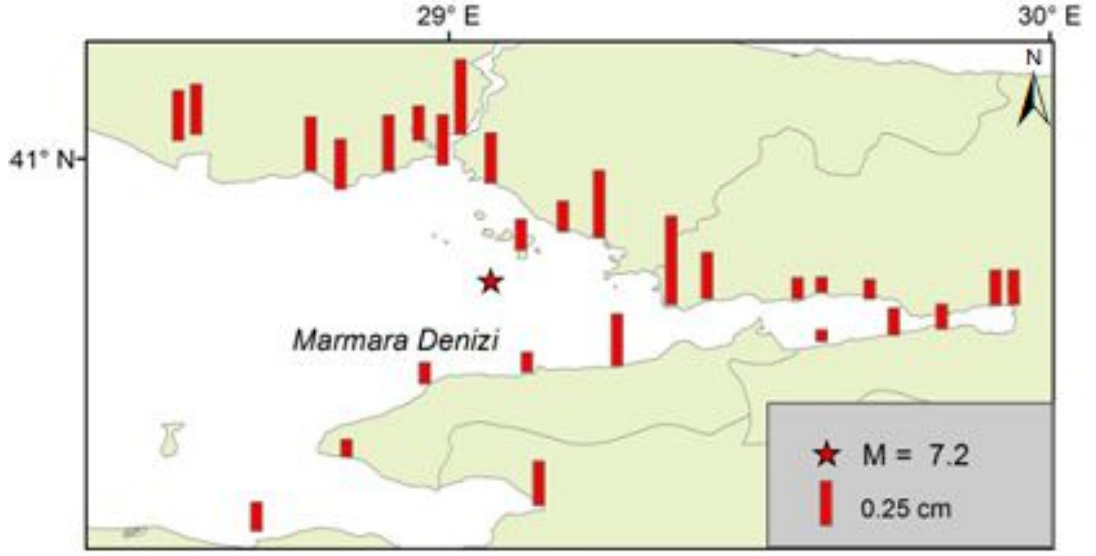
Şekil 5.1. (a) Senaryo deprem 1 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalgı yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.

Şekil 5.2'de senaryo deprem 1 için Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarına ulaşan tsunami dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Senaryo deprem 1 için Okada (1985) başlangıç dalgı algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.

Senaryo deprem 1 için kıyılarda hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri Tablo 5.2'de, harita üzerinde sütun bar gösterimi Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Senaryo deprem 1 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.

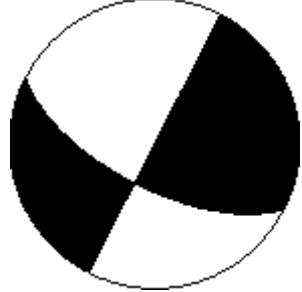
Tablo 5.2. Senaryo Deprem 1 Modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Küçükçekmece	40,98	28,77	0,28
Bakırköy	40,95	28,82	0,26
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,29
Fatih	41,03	28,95	0,18
Haydarpaşa	40,99	29,01	0,26
Büyükkada	40,85	29,12	0,16
Kadıköy	40,96	29,07	0,26
Kartal	40,88	29,19	0,16
Pendik	40,87	29,25	0,35
Darıca	40,76	29,37	0,46
Gebze	40,77	29,43	0,24
Tavşancıl	40,77	29,58	0,11
Hereke	40,78	29,62	0,08
Körfez	40,77	29,70	0,10
İzmit	40,76	29,94	0,18
Gölcük	40,72	29,82	0,13
Değirmendere	40,71	29,74	0,14
Karamürsel	40,70	29,62	0,06

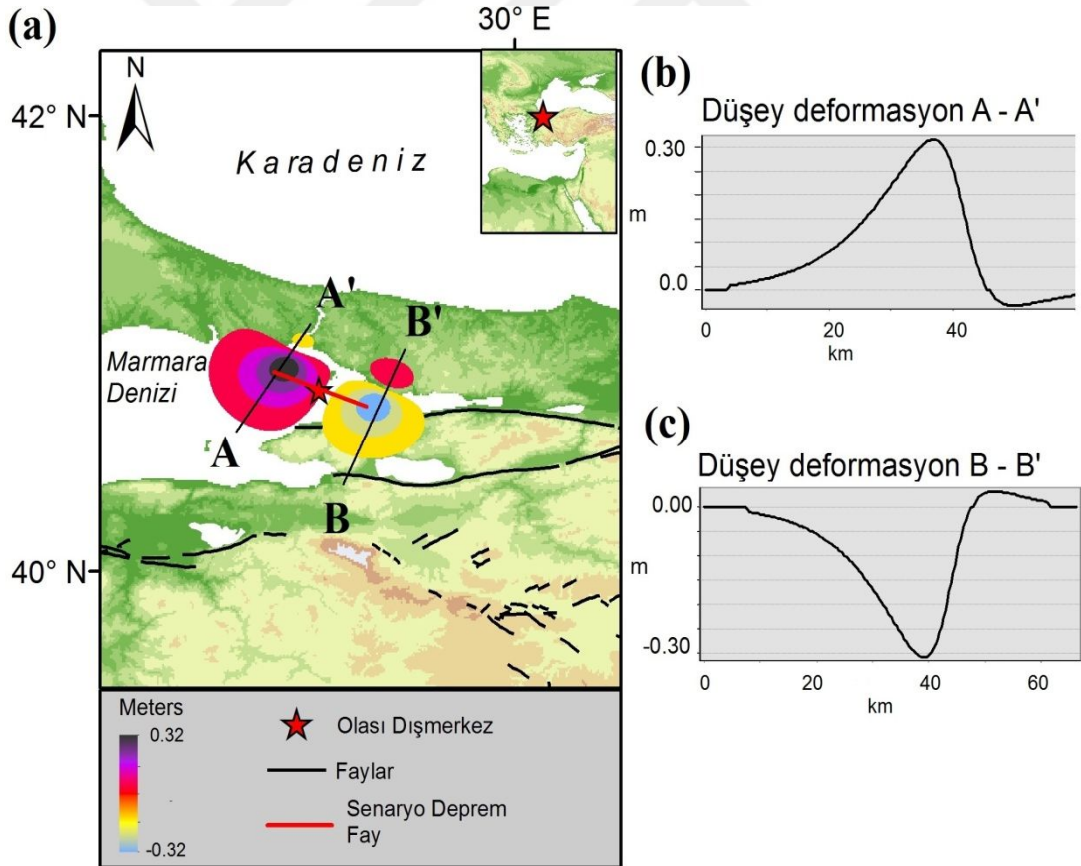
5.2. Senaryo Deprem 2

Senaryo 2 olarak adlandırılan bu deprem senaryo deprem 1'in fay eğimi daha düşük olarak kabul edilmiş modelidir. Senaryo deprem 2'ye ilişkin fay parametreleri Tablo 5.3' de verilmiştir.

Tablo 5.3. Senaryo deprem 2 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü

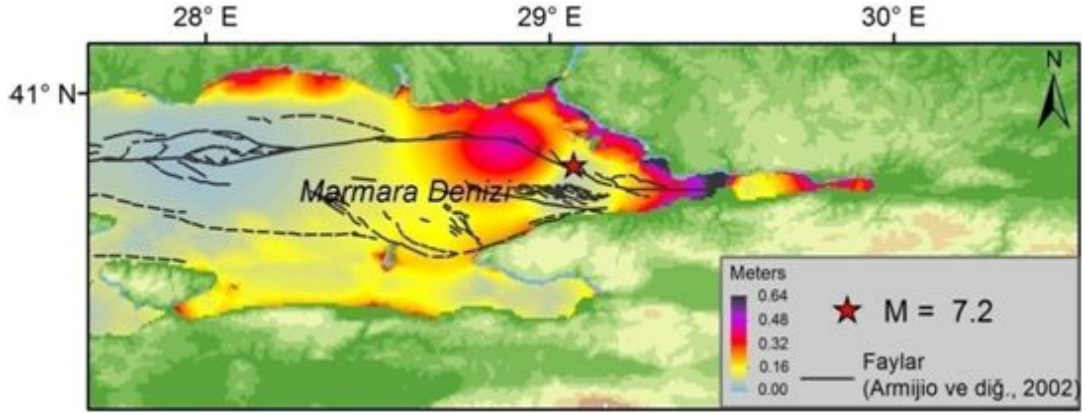
Deprem Parametreleri	Değerler	Odak Mekanizma Çözümlemesi (Plaj Topu Görüntüsü)
M_w	7.2	
Dışmerkez - enlem	40,80 K	
Dışmerkez- boylam	29,07 D	
Odak derinliği (km)	10	
Doğrultu/Eğim/Kayma açısı	117/65/180	
Ortalama kayma (m)	3	
Fay boyu (km)	40	
Fay Eni (km)	15	

Normal birleşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma olan senaryo deprem 2 için, deniz tabanında oluşturduğu deformasyon ve başlangıç dalga yüksekliği Şekil 5.4'de gösterilmektedir.



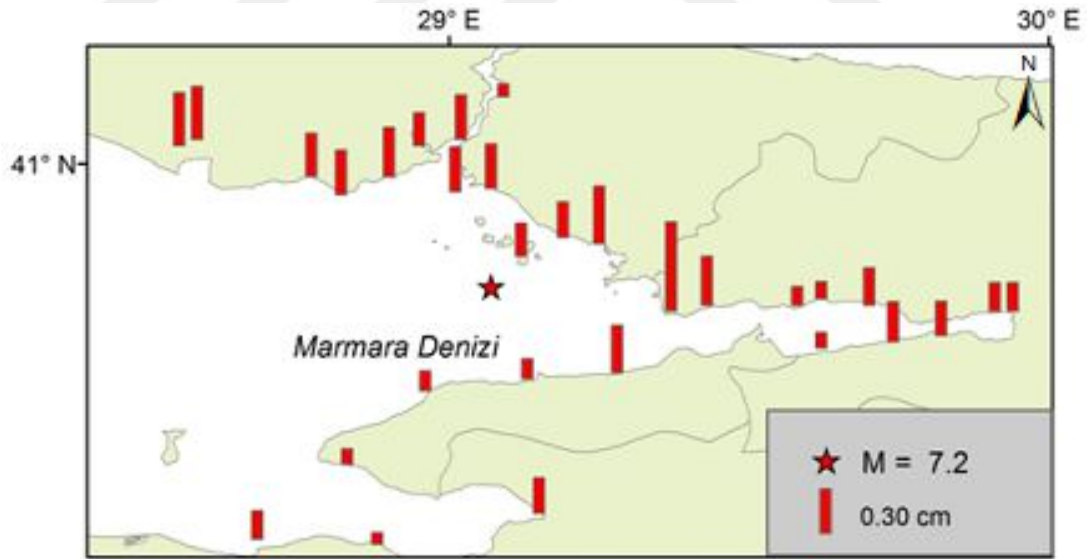
Şekil 5.4. (a) Senaryo deprem 2 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.

Şekil 5.5’de senaryo deprem 2 için kıyılara ulaşan tsunami dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Deprem Senaryo 2 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.

Senaryo deprem 2 için kıyılarda hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri Tablo 5.4’de, harita üzerinde sütun bar gösterimi Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. (a) Deprem Senaryo 2 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.

Tablo 5.4. Senaryo Deprem 2 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Küçükçekmece	40,98	28,77	0,30
Bakırköy	40,95	28,82	0,31


Tablo 5.4.(Devam) Senaryo Deprem 2 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,34
Fatih	41,03	28,95	0,23
Haydarpaşa	40,99	29,01	0,31
Üsküdar	41,11	29,09	0,09
Büyükkada	40,85	29,12	0,23
Kadıköy	40,96	29,07	0,31
Pendik	40,87	29,25	0,40
Darıca	40,76	29,37	0,62
Gebze	40,77	29,43	0,34
Tavşancıl	40,77	29,58	0,13
Hereke	40,78	29,62	0,12
Körfez	40,77	29,70	0,26
İzmit	40,76	29,94	0,20
Gölcük	40,72	29,82	0,24
Değirmendere	40,71	29,74	0,28
Karamürsel	40,70	29,62	0,11

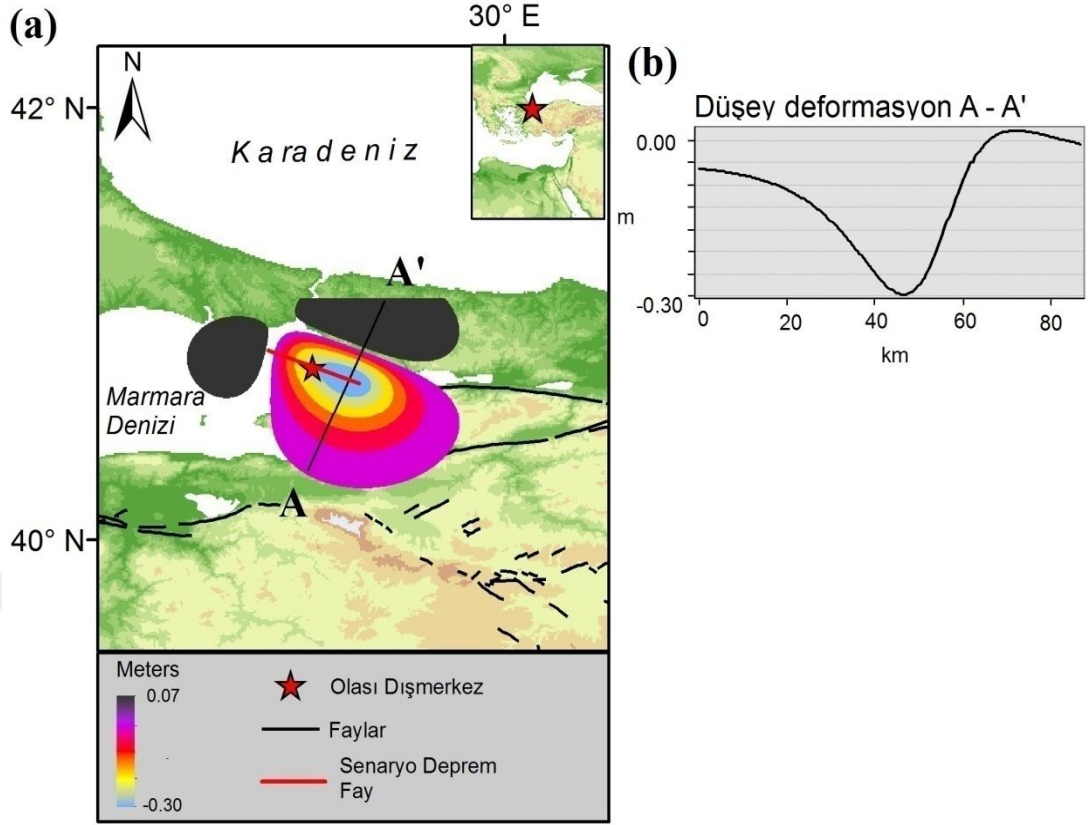
5.3. Senaryo Deprem 3

Senaryo 3 olarak adlandırılan bu deprem senaryo deprem 2'in fay kayma açısının daha yüksek olarak kabul edilmiş modelidir. Senaryo deprem 3'ye ilişkin fay parametreleri Tablo 5.5' de verilmiştir.

Tablo 5.5. Senaryo deprem 3 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü

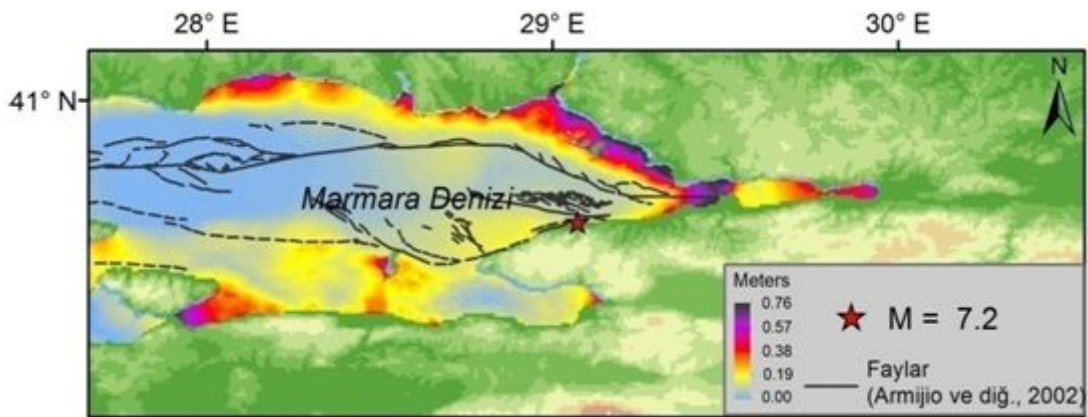
Deprem Parametreleri	Değerler	Odak Mekanizma Çözümlemesi (Plaj Topu Görüntüsü)
M_w	7.2	
Dışmerkez - enlem	40,80 K	
Dışmerkez- boylam	29,07 D	
Odak derinliği (km)	10	
Doğrultu/Eğim/Kayma açısı	117/65/210	
Ortalama kayma (m)	3	
Fay boyu (km)	40	
Fay Eni (km)	15	

Normal birleşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma olan senaryo deprem 3 için, deniz tabanında oluşturduğu deformasyon ve başlangıç dalga yüksekliği Şekil 5.7'de gösterilmektedir.



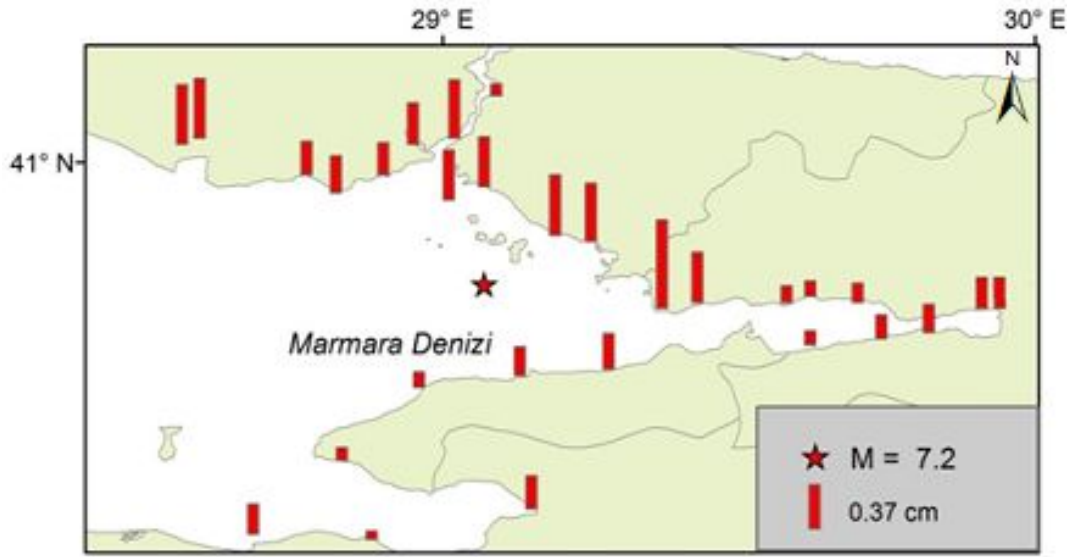
Şekil 5.7. (a) Deprem senaryo 3 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.

Şekil 5.8'de senaryo deprem 3 için kıyılara ulaşan tsunami dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Deprem Senaryo 3 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.

Senaryo deprem 3 için kıyılarda hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri Tablo 5.6'da, harita üzerinde sütun bar gösterimi Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Deprem Senaryo 3 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.

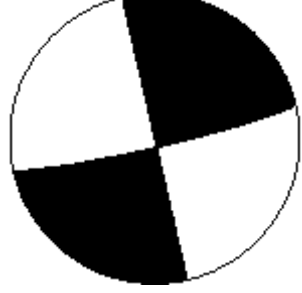
Tablo 5.6. Senaryo Deprem 3 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Bakırköy	40,95	28,82	0,31
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,27
Haydarpaşa	40,99	29,01	0,42
Büyükada	40,85	29,12	0,32
Kadıköy	40,96	29,07	0,42
Kartal	40,88	29,19	0,51
Pendik	40,87	29,25	0,49
Darıca	40,76	29,37	0,74
Gebze	40,77	29,43	0,42
Hereke	40,78	29,62	0,13
Körfez	40,77	29,70	0,16
İzmit	40,76	29,94	0,26
Gölcük	40,72	29,82	0,24
Değirmendere	40,71	29,74	0,20
Karamürsel	40,70	29,62	0,12

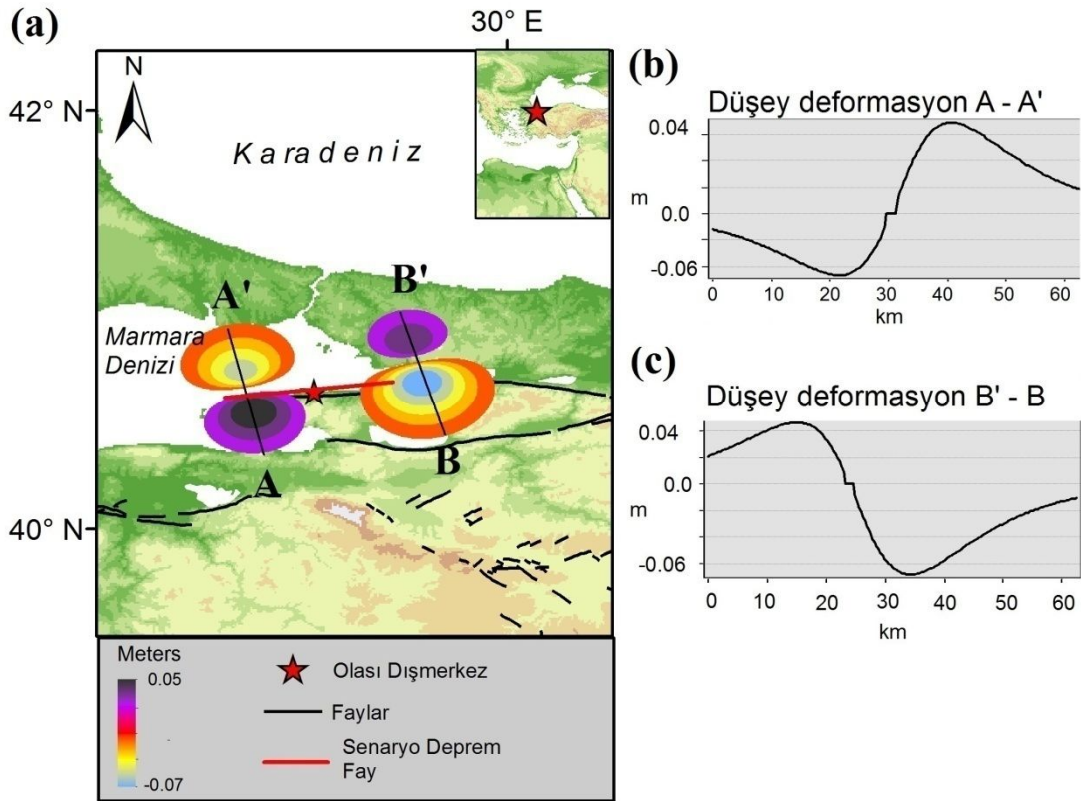
5.4. Senaryo Deprem 4

Bu deprem, dış merkezi çınarcık açıklarında bulunan sağ yanal doğrultu atımlı faylanma yapısına sahiptir. Fay boyunun yüksek olması nedeniyle ortalama kayma miktarı daha düşüktür. Senaryo 4 olarak adlandırılan bu depreme ilişkin fay parametreleri Tablo 5.7' de verilmiştir.

Tablo 5.7. Senaryo deprem 4 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü

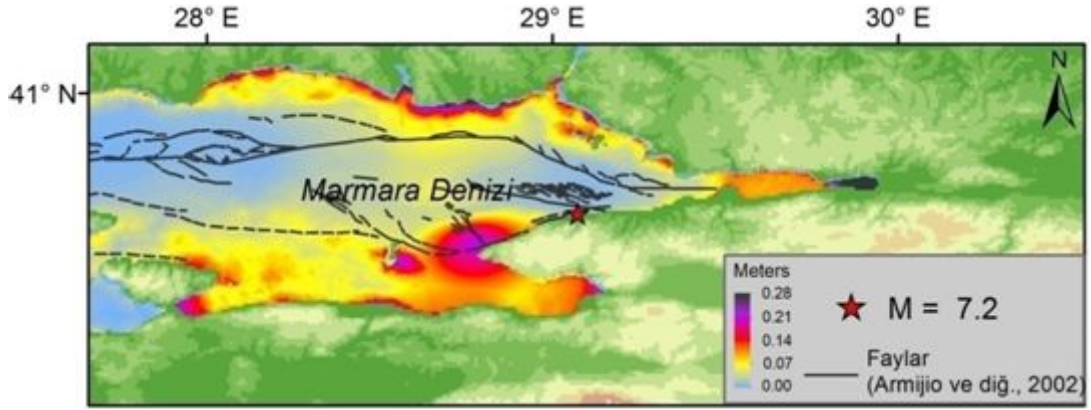
Deprem Parametreleri	Değerler	Odak Mekanizma Çözümlemesi (Plaj Topu Görüntüsü)
M_w	7.2	
Dışmerkez - enlem	40,660 K	
Dışmerkez- boylam	29,074 D	
Odak derinliği (km)	10	
Doğrultu/Eğim/Kayma açısı	77/85/180	
Ortalama kayma (m)	1,69	
Fay boyu (km)	70	
Fay Eni (km)	15	

Sağ yanal doğrultu atımlı faylanma olan senaryo deprem 4 için, deniz tabanında oluşturduğu deformasyon ve başlangıç dalga yüksekliği Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



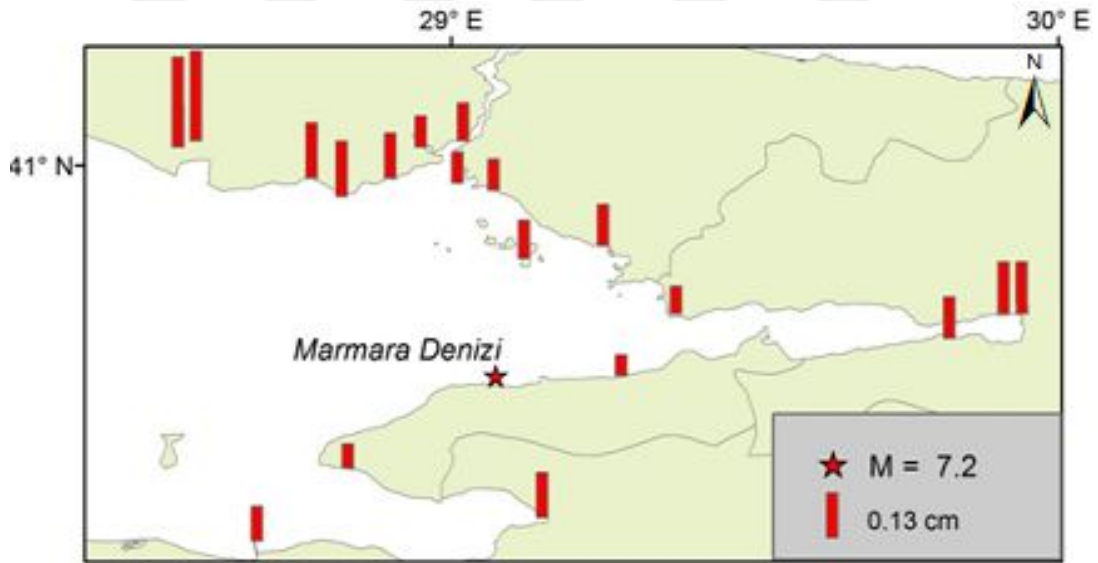
Şekil 5.10. (a) Senaryo deprem 4 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.

Şekil 5.11'de senaryo deprem 4 için kıyılara ulaşan tsunami dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Senaryo deprem 4 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.

Senaryo deprem 4 için kıyılarda hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri Tablo 5.8'de, harita üzerinde sütun bar gösterimi Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Senaryo deprem 4 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.

Tablo 5.8. Senaryo Deprem 4 Modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Büyükçekmece	41,04	28,58	0,26
Küçükçekmece	40,98	28,77	0,16

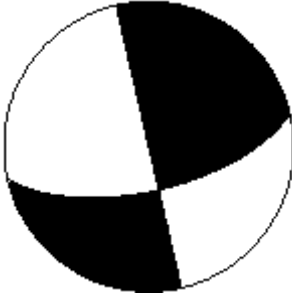
Tablo 5.8.(Devam) Senaryo Deprem 4 Modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Bakırköy	40,95	28,82	0,16
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,13
Fatih	41,03	28,95	0,09
Haydarpaşa	40,99	29,01	0,09
Büyükkada	40,85	29,12	0,11
Kadıköy	40,96	29,07	0,09
Kartal	40,88	29,19	0,11
Pendik	40,87	29,25	0,12
Darıca	40,76	29,37	0,08
Gebze	40,77	29,43	0,08
Körfez	40,77	29,70	0,15
İzmit	40,76	29,94	0,15
Gölcük	40,72	29,82	0,12
Yalova	40,66	29,28	0,06
Armutlu	40,51	28,83	0,07

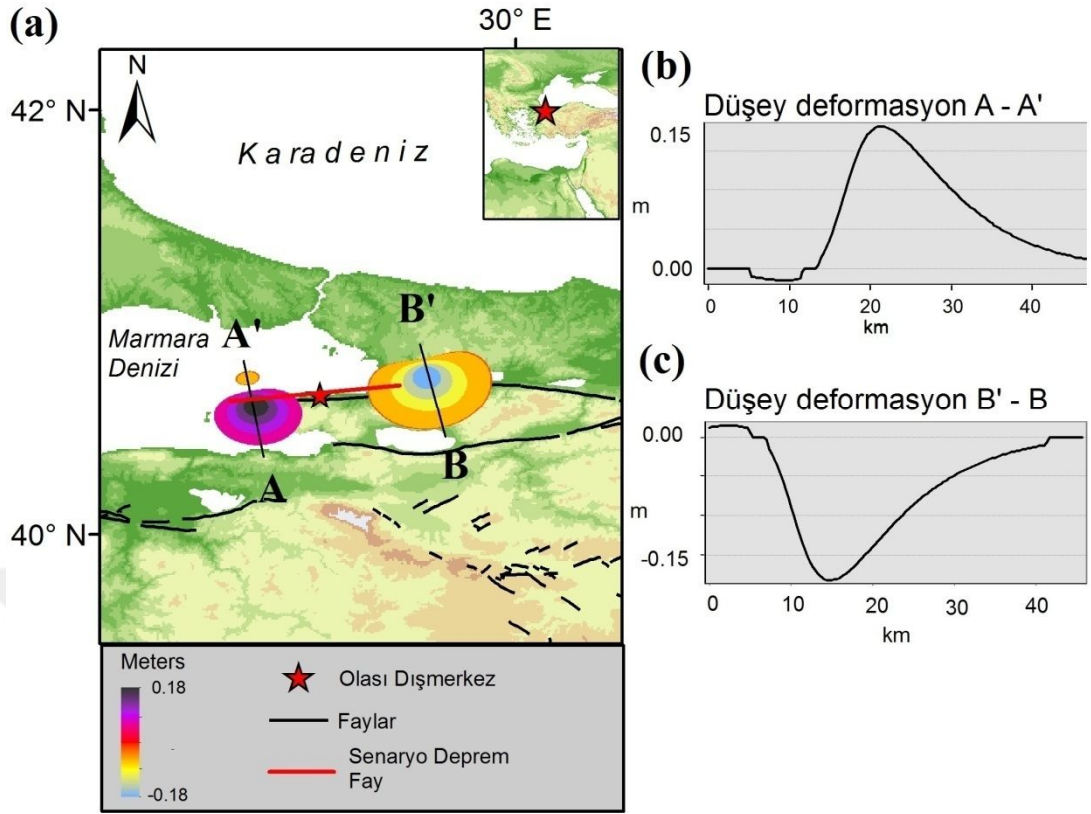
5.5. Senaryo Deprem 5

Bu deprem, 4 numaralı senaryo depremin fay eğimi daha düşük olarak kabul edilmiş modelidir. Senaryo 5 olarak adlandırılan bu depreme ilişkin fay parametreleri Tablo 5.9' da verilmiştir.

Tablo 5.9. Deprem Senaryo 5 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü

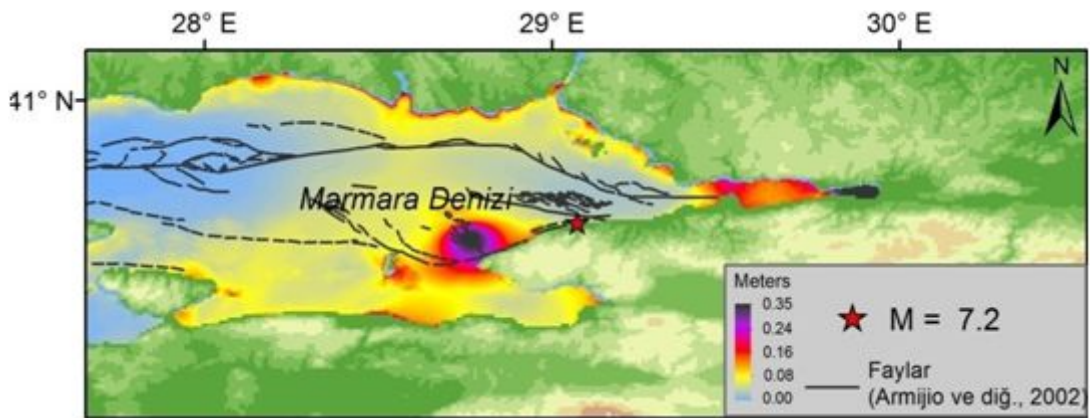
Deprem Parametreleri	Değerler	Odak Mekanizma Çözümlemesi (Plaj Topu Görüntüsü)
M_w	7.2	
Dışmerkez - enlem	40,660 K	
Dışmerkez- boylam	29,074 D	
Odak derinliği (km)	10	
Doğrultu/Eğim/Kayma açısı	77/65/180	
Ortalama kayma (m)	1,69	
Fay boyu (km)	70	
Fay Eni (km)	15	

Normal birleşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma olan senaryo deprem 5 için, deniz tabanında oluşturduğu deformasyon ve başlangıç dalga yüksekliği Şekil 5.13'de gösterilmektedir.



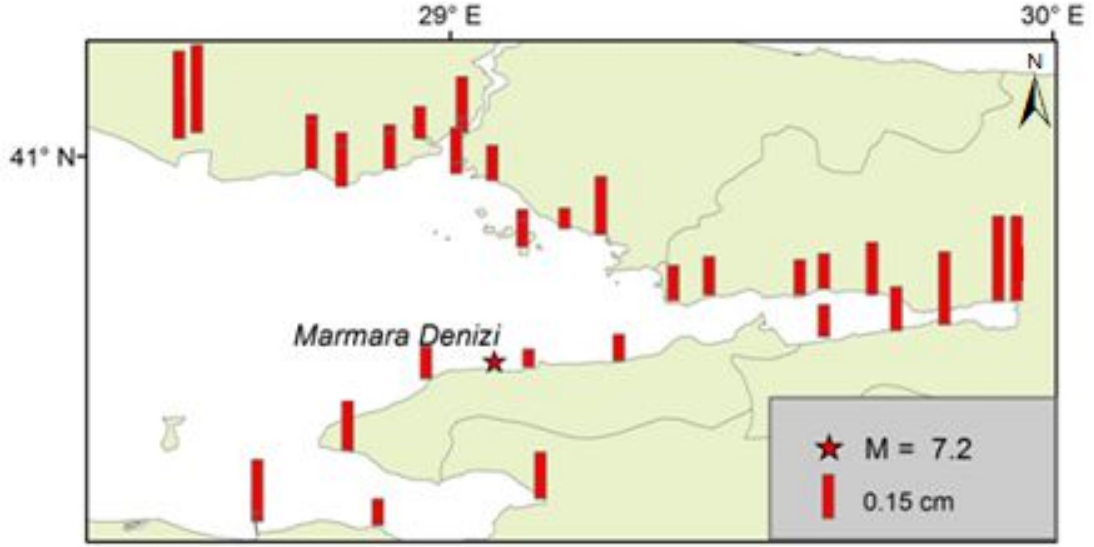
Şekil 5.13. (a) Senaryo deprem 5 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.

Şekil 5.14'de senaryo deprem 5 için kıyılarına ulaşan tsunami dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.14. (a) Senaryo deprem 5 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.

Senaryo deprem 5 için kıyılarda hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri Tablo 5.10'da, harita üzerinde sütun bar gösterimi Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.15. (a) Senaryo deprem 5 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.


Tablo 5.10. Senaryo Deprem 5 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Kucukcekmece	40,98	28,77	0,16
Bakırköy	40,95	28,82	0,14
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,12
Buyukada	40,85	29,12	0,09
Kadikoy	40,96	29,07	0,12
Darıca	40,76	29,37	0,12
Gebze	40,77	29,43	0,13
Tavşancıl	40,77	29,58	0,12
Hereke	40,78	29,62	0,12
Körfez	40,77	29,70	0,18
İzmit	40,76	29,94	0,29
Golcük	40,72	29,82	0,25
Değirmendere	40,71	29,74	0,15
Karamürsel	40,70	29,62	0,11
Çınarcık	40,65	29,13	0,06
Esenköy	40,63	28,96	0,11
Armutlu	40,51	28,83	0,17

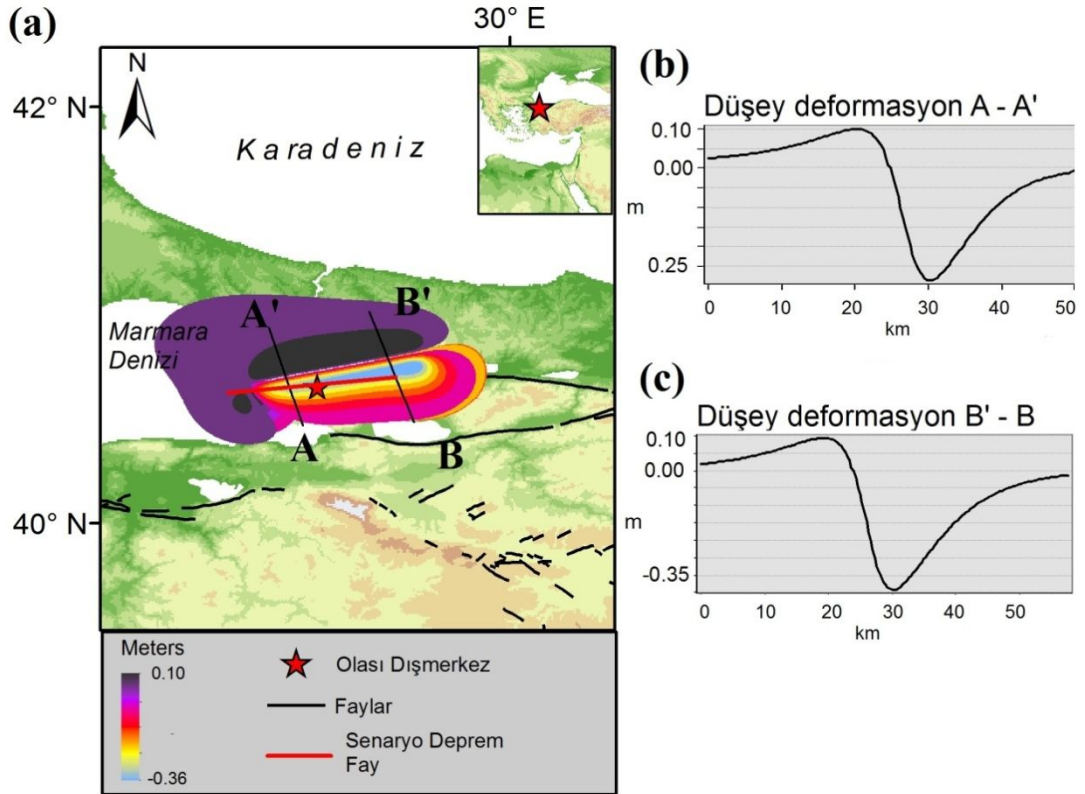
5.6. Senaryo Deprem 6

Senaryo 6 olarak adlandırılan bu deprem 5 numaralı senaryo depremin fay kayma açısının daha yüksek olarak kabul edilmiş modelidir. Senaryo depremler içerisinde hesaplanan tsunami dalgalarının İzmit Körfezi kıyılarında en yüksek olduğu deprem modelidir. Senaryo deprem 2'ye ilişkin fay parametreleri Tablo 5.11' de verilmiştir.

Tablo 5.11. Deprem Senaryo 6 fay parametreleri ve odak mekanizması çözümü

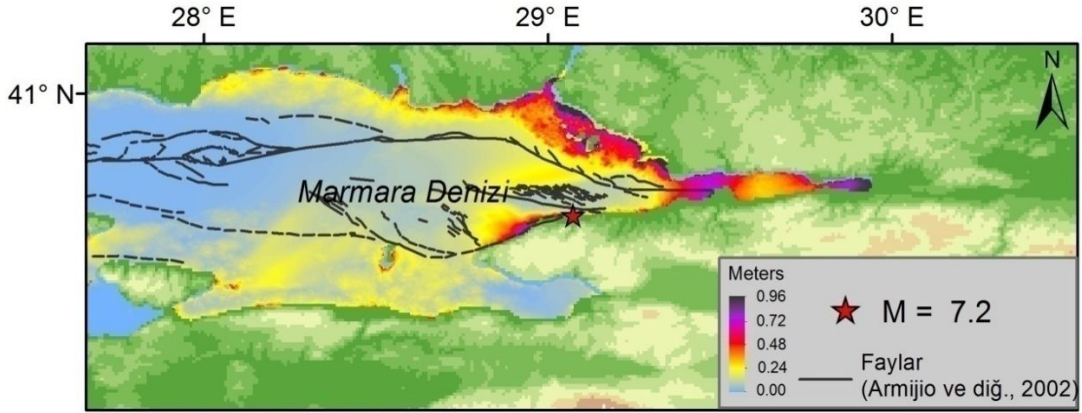
Deprem Parametreleri	Değerler	Odak Mekanizma Çözümlemesi (Plaj Topu Görüntüsü)
M_w	7.2	
Dışmerkez - enlem	40,660 K	
Dışmerkez- boylam	29,074 D	
Odak derinliği (km)	10	
Doğrultu/Eğim/Kayma açısı	77/65/210	
Ortalama kayma (m)	1,69	
Fay boyu (km)	70	
Fay Eni (km)	15	

Normal birleşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma olan senaryo deprem 6 için, deniz tabanında oluşturduğu deformasyon ve başlangıç dalga yüksekliği Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



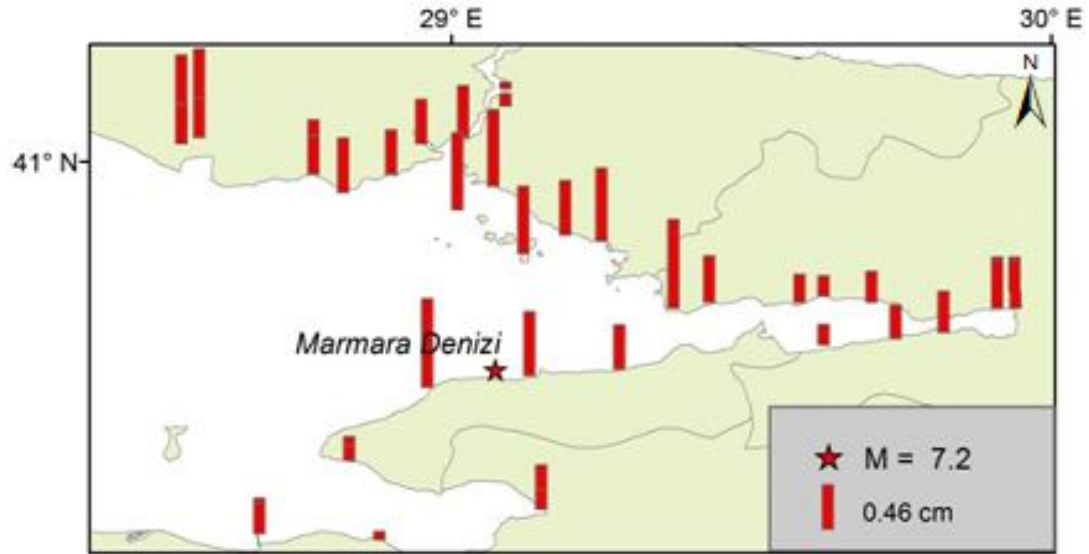
Şekil 5.16. (a) Deprem senaryo 6 için Okada (1985) algoritması ile çözümlenen deniz tabanı deformasyonu ve başlangıç dalga yükselimi, (b) A-A' düşey deformasyon kesiti, (c) B-B' düşey deformasyon kesiti.

Şekil 5.17’de senaryo deprem 6 için kıyılara ulaşan tsunami dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.17. Senaryo deprem 6 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yükseklikleri.

Senaryo deprem 6 için kıyılarda hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri Tablo 5.10’da, harita üzerinde sütun bar gösterimi Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Deprem Senaryo 6 için Okada (1985) başlangıç dalga algoritması ve SWAN tsunami dalga yayılım modellemesi ile hesaplanan Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.

Tablo 5.12. Senaryo Deprem 6 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Küçükçekmece	40,98	28,77	0,40
Bakırköy	40,95	28,82	0,56

Tablo 5.12.(Devam) Senaryo Deprem 6 modeline göre Marmara Denizi orta ve doğu kıyılarında hesaplanan tsunami dalga yükseklikleri

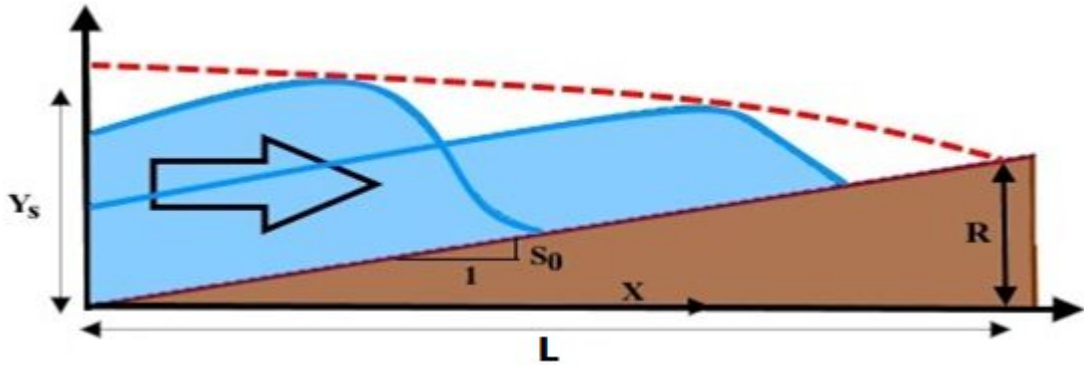
Yer	Enlem	Boylam	Dalga Yüksekliği(m)
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,46
Fatih	41,03	28,95	0,46
Haydarpaşa	40,99	29,01	0,80
Üsküdar	41,11	29,09	0,13
Büyükada	40,85	29,12	0,70
Beykoz	41,12	29,09	0,07
Kadıköy	40,96	29,07	0,80
Pendik	40,87	29,25	0,76
Darıca	40,76	29,37	0,90
Gebze	40,77	29,43	0,48
Tavşancıl	40,77	29,58	0,29
Hereke	40,78	29,62	0,21
Körfez	40,77	29,70	0,32
İzmit	40,76	29,94	0,50
Gölcük	40,72	29,82	0,43
Değirmendere	40,71	29,74	0,35
Karamürsel	40,70	29,62	0,21
Zeytinburnu	40,98	28,90	0,46

6. TSUNAMİ KIYI İÇİ SU BASMASI VE TIRMANMA YÜKSEKLİKLERİ

Açık denizlerde oldukça küçük dalga genliği ile oluşan tsunami dalgaları kıyıya yaklaştıkça deniz ve kıyı derinliğinin azalmasına bağlı olarak çok yüksek değerlere çıkabilirler ve bu nedenle de daha fazla hasar verme olasılıkları artabilir. Kıyılara ulaşan dalga yüksekliklerini etkileyen faktörlerden biride kıyı şeridi biçimidir. Liman ve koy benzeri dar girişli kıyılara gelen tsunami dalgaları; geniş ve açık kıyılara ulaşan dalgalara göre daha çok girişim yaparlar ve bu nedenle daha yüksek dalga oluştururlar. Tsunamilerin en önemli etkileri; kıyıdan içeri doğru girebilmeleri, ulaştıkları alanın eğimine bağlı olarak tırmanma yükseklikleri ve kıyıdan çekilirken verdikleri hasardır. Tsunami dalgalarının verdikleri hasarlar özellikle mühendislik yapılarının bulunduğu alanlar üzerinde etkili olmaktadır. Tsunami dalgalarının yüksekliklerine göre verdiği hasarların yanında su basması şeklinde kıyıdan içeri girerlerken ve geri çekilirlerken “debris” denen malzemeleri denize geri taşması ile de oluşturdukları hasarlar oldukça yüksek olabilmektedir. Özellikle; tekne, araba ve büyük ağaçlar gibi kütleleri yerlerinde alarak metrelerce bazen kilometrelerce içeri taşıyabilir ve geri denize sürükleyebilirler. Bu konuda; içeriye girme ihtimali yüksek dalgaların oluşturabileceği riski azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Hall ve Watts, 1953, Camfield, 1980, Titov ve Synolakis 1997, Gedik ve diğ., 2005, Leonard ve diğ., 2009, Smart ve diğ., 2015). Bu çalışmaların ortak amacı tsunamilerin kıyıdan içeri su basma mesafesi ve tırmanma yüksekliklerinin belirlenmesidir. Tırmanma yüksekliği(run-up); sakin su yüzeyi ile suyun tırmandığı en yüksek olan nokta arasındaki yükseklik farkıdır. Bu yükseklik farkı; kıyı yapısı ve kıyıdan içeriye doğru olan arazi yapısının eğimine bağlı olarak değişebilir. Tsunamilerin su basma mesafelerini denetleyen önemli parametrelerden biri olan kıyı eğimi, yatay mesafedeki yükseklik değişimi olarak açıklanmaktadır.

$$m = \frac{\text{Yükselme}}{\text{Yatay Mesafe}} = \frac{Y_1 - Y_0}{x} \quad (6.1)$$

Burada eğim miktarı m , ilk noktadaki yükseklik değeri Y_0 , son noktadaki yükseklik değeri Y_1 , iki nokta arasındaki uzaklık X ifade etmektedir. Tsunami dalgaları, yüksek eğime sahip kıyılardan girerken su basma mesafeleri azalmaktadır. Bunun nedeni yüksek eğimli alanlarda dalgaların daha yükseklere tırmanamamasıdır. Tsunami dalgalarının kıyıdan içeri su basma mesafesi ve tırmanma yüksekliğini hesaplamak için çeşitli parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler; gelen dalga yüksekliği, yerel su seviyesi, kıyı yapısı, kıyı eğimi, kıyı pürüzlülüğüdür. Pürüzlülük; kıyıdan içerilere doğru arazi yapısı ile ilgili bir parametredir. Kum içeren plajların genişliği, toprak yapısı, bitki örtüsü, ormanlık alan, tarım arazisi ve yerleşim alanı sıklığı gibi kıyı içi durumlara göre değişkenler içerir. Bu değişkenler ağaçlar, evler, vs. şeklinde kıyı üzerinde akış direncini göstermektedir. Kıyıdan içeri su geçişi bu değişkenlerin arasından geçmektedir ve geçiş aralığını pürüzlülük değeri olarak adlandırılır. Bu tezde kullanılan pürüzlülük değerleri Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Kullanılan pürüzlülük değerleri Smart ve diğ. (2015) yılında yaptıkları çalışmadan alınmıştır.



Şekil 6.1. Tsunami tırmanma yüksekliği diyagramı, maksimum dalga yüksekliği Y_s , kıyı eğimi S_0 , su basma mesafesi L , tırmanma yüksekliği R , dalga cephesi yüksekliği kırmızı çizgi (Smart ve diğ., 2015’den derlenmiştir).

Bu tezde tsunami dalgalarının kıyıdan içeri su basma mesafeleri ve tırmanma yükseklikleri Smart ve diğ., (2015) yılında ortaya çıkardıkları deneysel bağıntı kullanılmıştır. Şekil 6.1’de bu denklemde kullanılan parametrelerin şekil üzerinde gösterimi yapılmıştır. Bu denklemde su basma mesafesi;

$$L = \frac{3a}{2} \ln \left(\frac{Y_s}{aS_0} + 1 \right) \quad (6.2)$$

Burada su basma mesafesi L , pürüzlülük " a ", kıyı eğimi S_0 ve kıyıya ulaşan maksimum dalga yüksekliği Y_s ifade etmektedir. Eğer kıyı eğimi çok değişken değil ise ve yaklaşık sabit bir değeri var ise bu durumda tırmanma yüksekliği;

$$R = LS_0 \quad (6.3)$$

olarak hesaplanacaktır (Smart ve diğ., 2015). Kullanılan bu bağıntıda, kıyından içeri giren bir tsunamiyi tek boyutlu bir perspektiften ele alınıyor (Smart ve diğ., 2015). Kıyı şeridi eğimi, tsunaminin varış yönüne paralel olarak kıyından içeri belirlenen hat boyunca ölçülür ve yatay değişimler hesaba katılmaz.

Tablo 6.1. Kıyı pürüzlülük değerleri

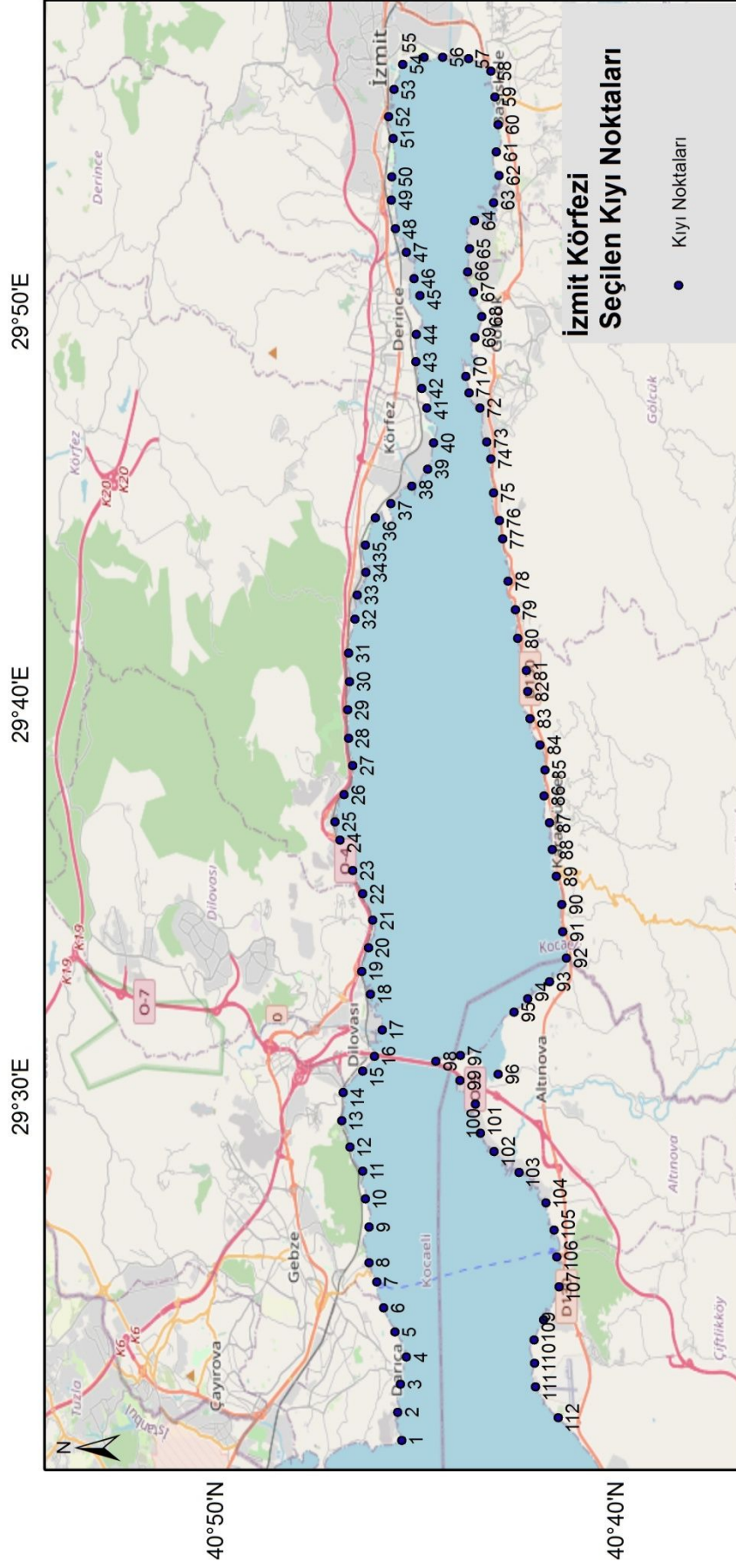
Kıyı pürüzlülük durumu	$a(m)$
Açık düz alan, plaj	200
Açık tepelikli alan	100
Az sayıda binalı alan	80
Yoğun orman alanı	10

7. İZMİT KÖRFEZİ KIYI İÇİ SU BASMA MESAFELERİ VE TSUNAMİ TIRMANMA YÜKSEKLİKLERİ

Çalışmanın asıl amacı olan su basma ve tırmanma yüksekliklerini hesaplayabilmek için İzmit Körfezi kıyı şeridi boyunca ortalama 1 km aralıklarla toplam 112 adet nokta belirlendi. Bu noktalar Google Earth Pro programı kullanılarak kıyının denize sıfır olduğu konumlardaki koordinatları bulunarak oluşturuldu. Seçilen bu noktaların koordinatları Ek-C’de verilmektedir. Belirlenen noktaların harita üzerinde gösterimi Şekil 7.1’de ve buldukları konumlar Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. İzmit Körfezinde seçilen kıyı noktalarının konumları

Nokta	Konum	Nokta	Konum	Nokta	Konum	Nokta	Konum
1	Darıca	29	Körfez	57	İzmit	85	Karamürsel
2	Darıca	30	Körfez	58	Başiskele	86	Karamürsel
3	Darıca	31	Körfez	59	Başiskele	87	Karamürsel
4	Darıca	32	Körfez	60	Başiskele	88	Karamürsel
5	Darıca	33	Körfez	61	Başiskele	89	Karamürsel
6	Darıca	34	Körfez	62	Başiskele	90	Karamürsel
7	Gebze	35	Körfez	63	Başiskele	91	Karamürsel
8	Gebze	36	Körfez	64	Başiskele	92	Karamürsel
9	Gebze	37	Körfez	65	Başiskele	93	Altınova
10	Gebze	38	Körfez	66	Başiskele	94	Altınova
11	Gebze	39	Körfez	67	Gölcük	95	Altınova
12	Gebze	40	Körfez	68	Gölcük	96	Altınova
13	Gebze	41	Körfez	69	Gölcük	97	Altınova
14	Gebze	42	Derince	70	Gölcük	98	Altınova
15	Dilovası	43	Derince	71	Gölcük	99	Altınova
16	Dilovası	44	Derince	72	Gölcük	100	Altınova
17	Dilovası	45	Derince	73	Gölcük	101	Altınova
18	Dilovası	46	Derince	74	Gölcük	102	Altınova
19	Dilovası	47	Derince	75	Gölcük	103	Altınova
20	Dilovası	48	İzmit	76	Gölcük	104	Altınova
21	Dilovası	49	İzmit	77	Gölcük	105	Altınova
22	Dilovası	50	İzmit	78	Gölcük	106	Taşköprü
23	Körfez	51	İzmit	79	Gölcük	107	Taşköprü
24	Körfez	52	İzmit	80	Gölcük	108	Taşköprü
25	Körfez	53	İzmit	81	Karamürsel	109	Taşköprü
26	Körfez	54	İzmit	82	Karamürsel	110	Taşköprü
27	Körfez	55	İzmit	83	Karamürsel	111	Taşköprü
28	Körfez	56	İzmit	84	Karamürsel	112	Taşköprü



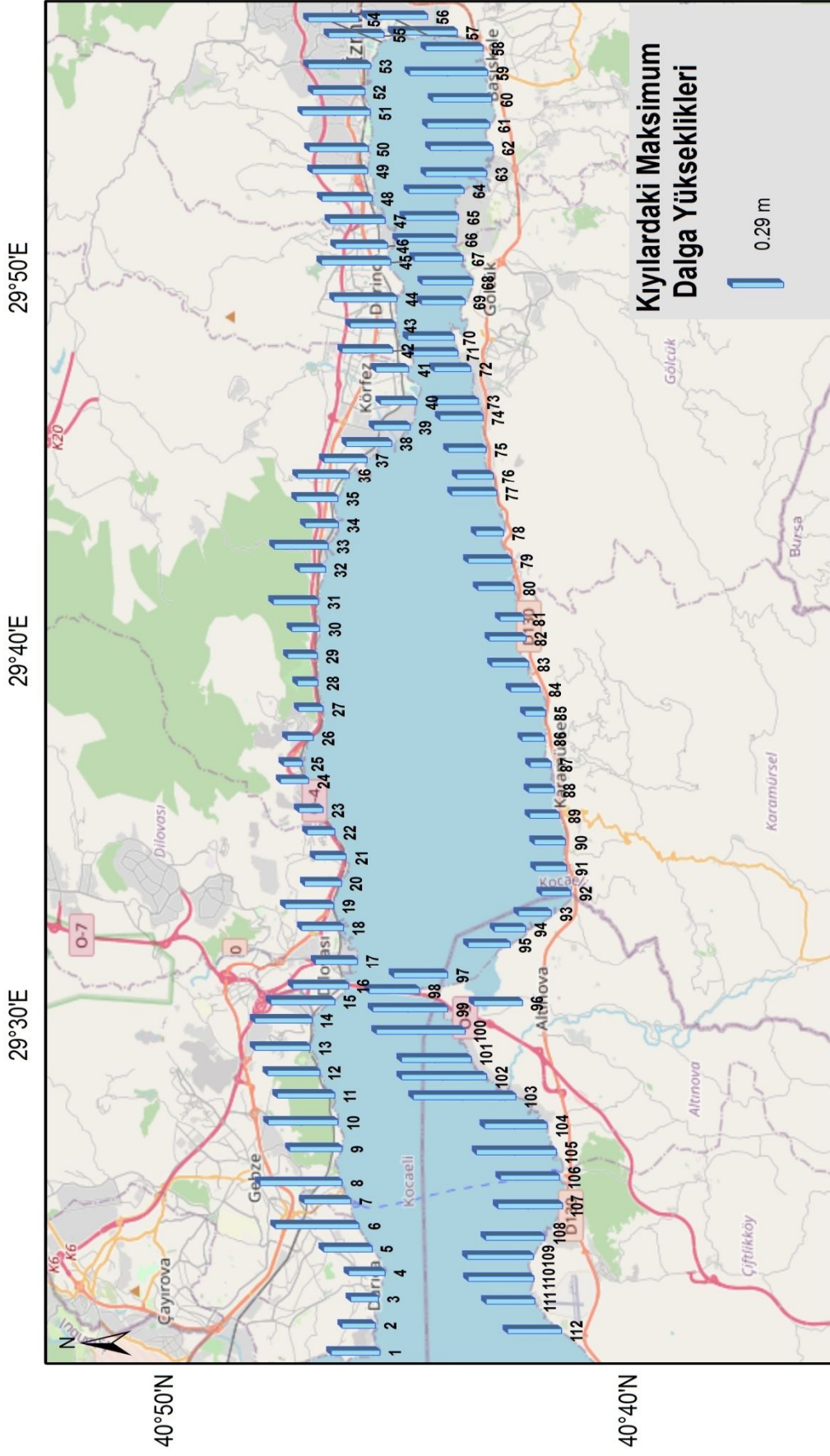
Şekil 7.1. İzmit Körfezi kıyı hattı boyunca belirlenen noktaların harita üzerinde gösterimi.

Yapılan dalga yayılım simülasyonları sonucunda; İzmit Körfezini en çok etkileyen deprem senaryonun 6 numaralı senaryo olduğu belirlenmiştir. İzmit Körfezi kıyı içi su basma ve su tırmanma yüksekliklerini hesaplamak için bu senaryo ile öngörülen, kıyıya ulaşan maksimum dalga yükseklik (Y_s) değerleri kullanılmıştır.

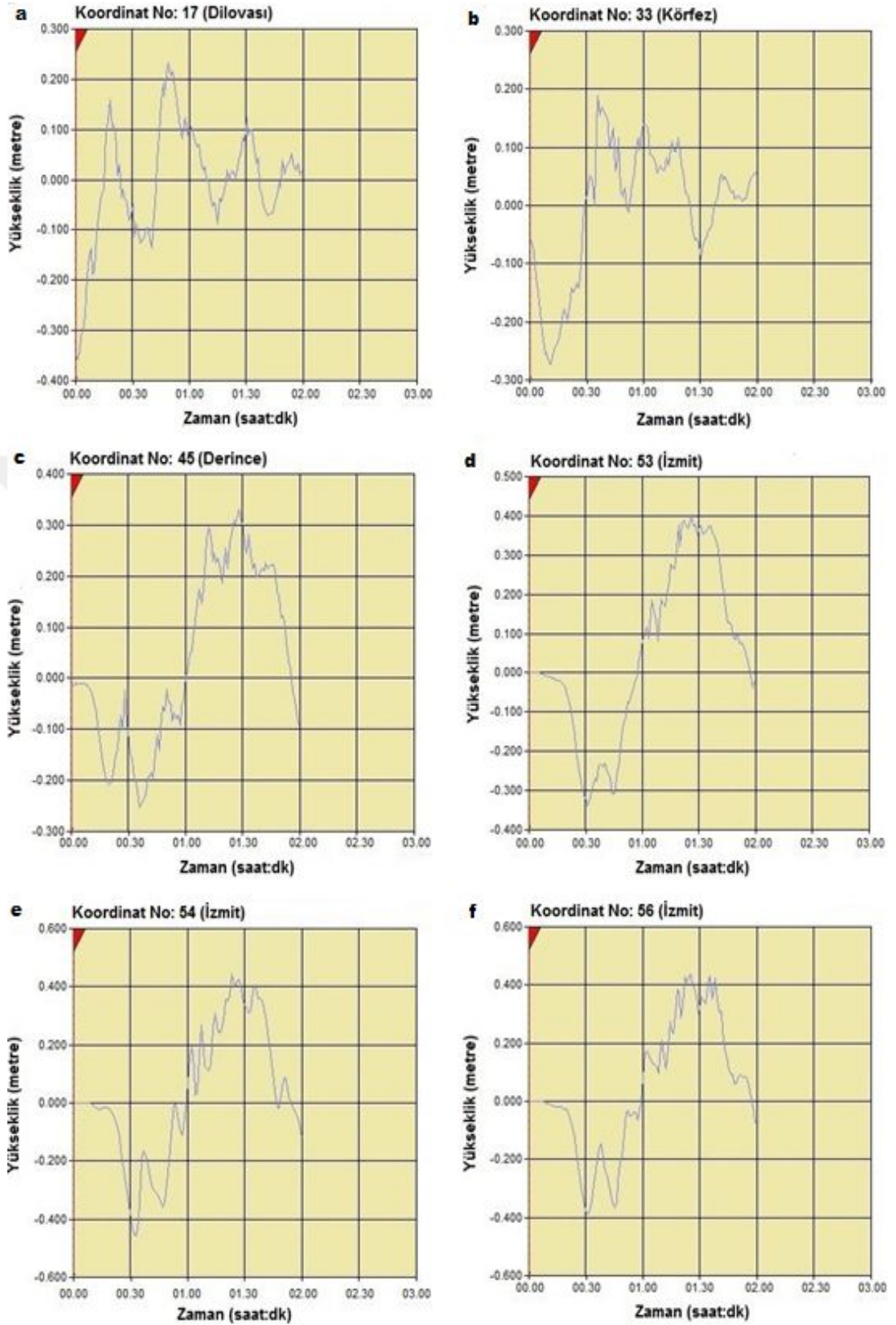
Kıyı içi su basma mesafesinin hesaplanacağı her bir nokta için hesaplanan maksimum dalga yükseklik değerleri Tablo 7.2’de, harita üzerinde sütun bar gösterimi ise Şekil 7.2’de verilmiştir. Su basma mesafelerinin 40 metreyi aştığı lokasyonlara ulaşan maksimum dalgaların zamana göre yayılım biçimleri de sırası ile Şekil 7.3-7.7’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. İzmit körfezinde seçilen kıyı noktalarına gelen maksimum dalga yükseklikleri

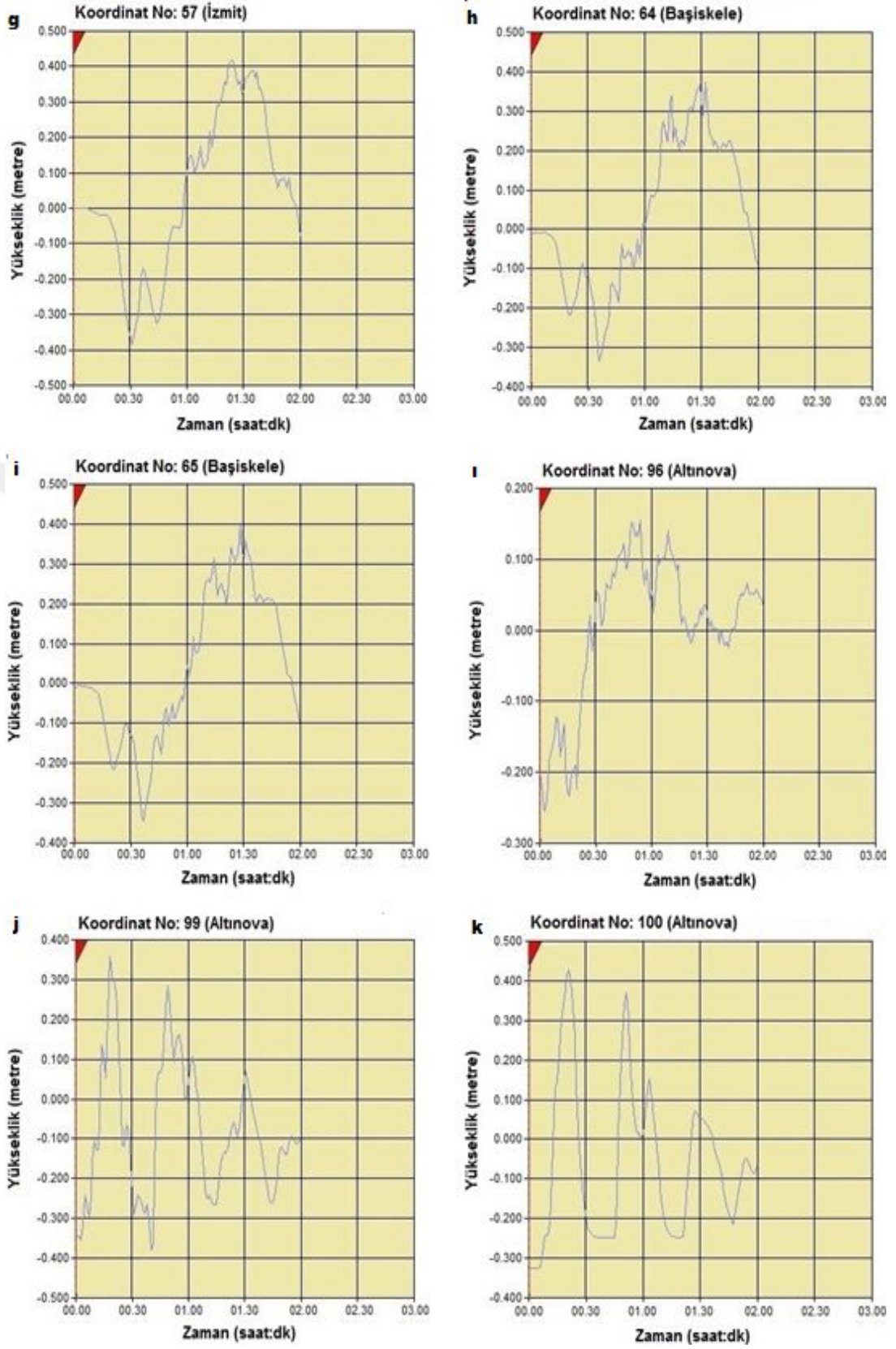
Nokta	$Y_s(m)$	Nokta	$Y_s(m)$	Nokta	$Y_s(m)$	Nokta	$Y_s(m)$
1	0,28	29	0,17	57	0,37	85	0,12
2	0,19	30	0,16	58	0,33	86	0,13
3	0,16	31	0,26	59	0,45	87	0,12
4	0,21	32	0,15	60	0,34	88	0,15
5	0,28	33	0,31	61	0,36	89	0,17
6	0,48	34	0,19	62	0,36	90	0,18
7	0,27	35	0,24	63	0,35	91	0,18
8	0,47	36	0,30	64	0,32	92	0,17
9	0,30	37	0,25	65	0,31	93	0,19
10	0,40	38	0,26	66	0,34	94	0,18
11	0,33	39	0,21	67	0,28	95	0,24
12	0,30	40	0,21	68	0,29	96	0,28
13	0,32	41	0,18	69	0,34	97	0,31
14	0,33	42	0,29	70	0,27	98	0,31
15	0,37	43	0,26	71	0,26	99	0,43
16	0,32	44	0,36	72	0,21	100	0,51
17	0,24	45	0,40	73	0,24	101	0,40
18	0,24	46	0,30	74	0,25	102	0,49
19	0,28	47	0,32	75	0,22	103	0,59
20	0,21	48	0,29	76	0,21	104	0,36
21	0,18	49	0,32	77	0,26	105	0,46
22	0,16	50	0,34	78	0,16	106	0,34
23	0,14	51	0,39	79	0,25	107	0,37
24	0,16	52	0,30	80	0,21	108	0,34
25	0,11	53	0,36	81	0,14	109	0,38
26	0,15	54	0,29	82	0,21	110	0,38
27	0,14	55	0,32	83	0,21	111	0,28
28	0,12	56	0,35	84	0,17	112	0,32



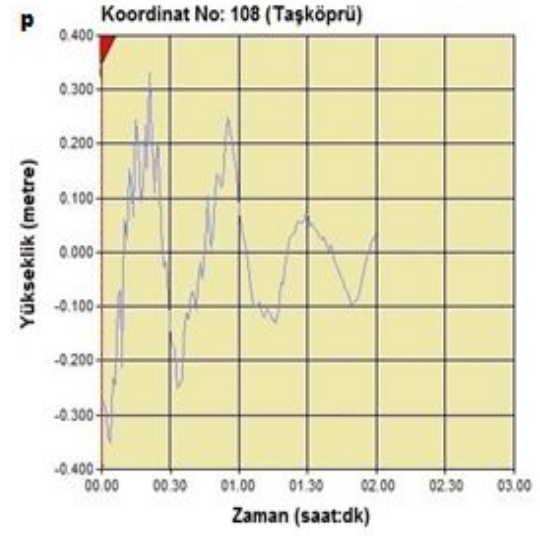
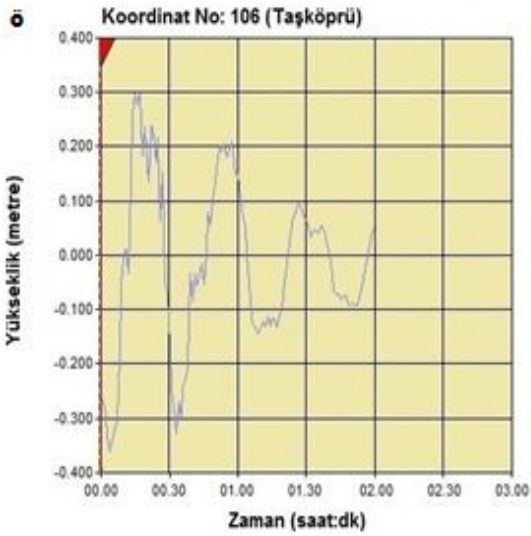
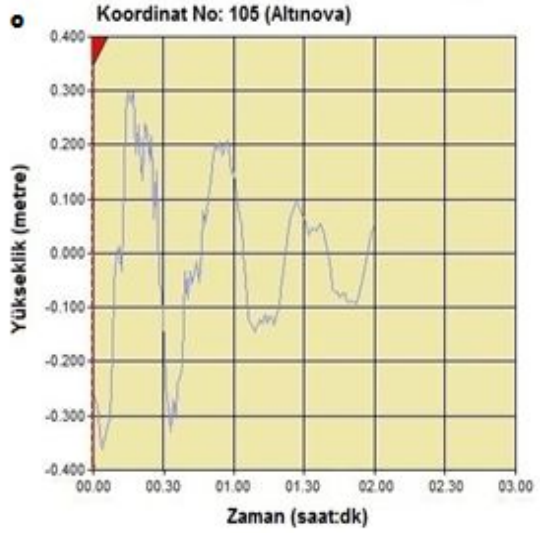
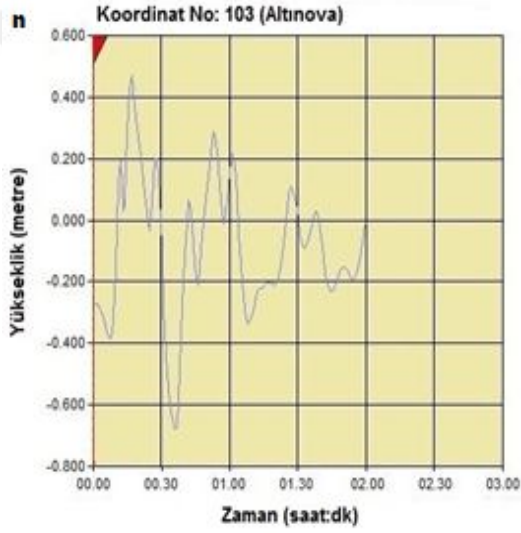
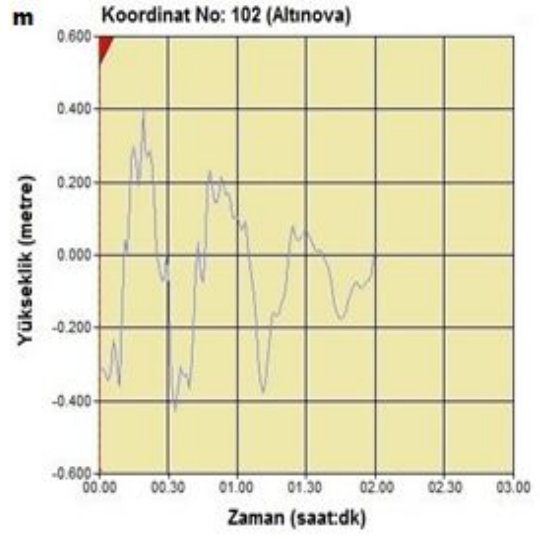
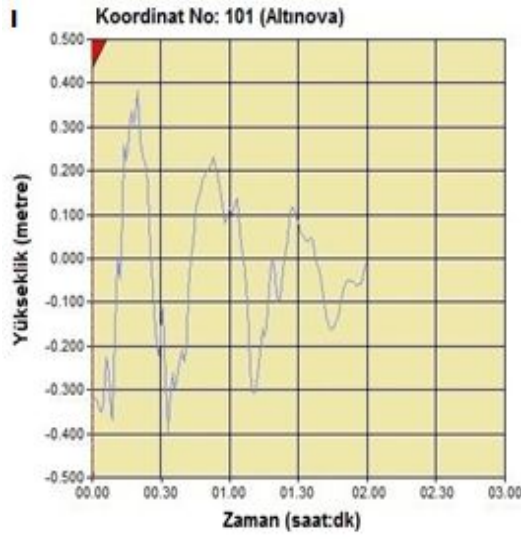
Şekil 7.2. İzmit Körfezi kıyıları boyunca tsunami dalga yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.



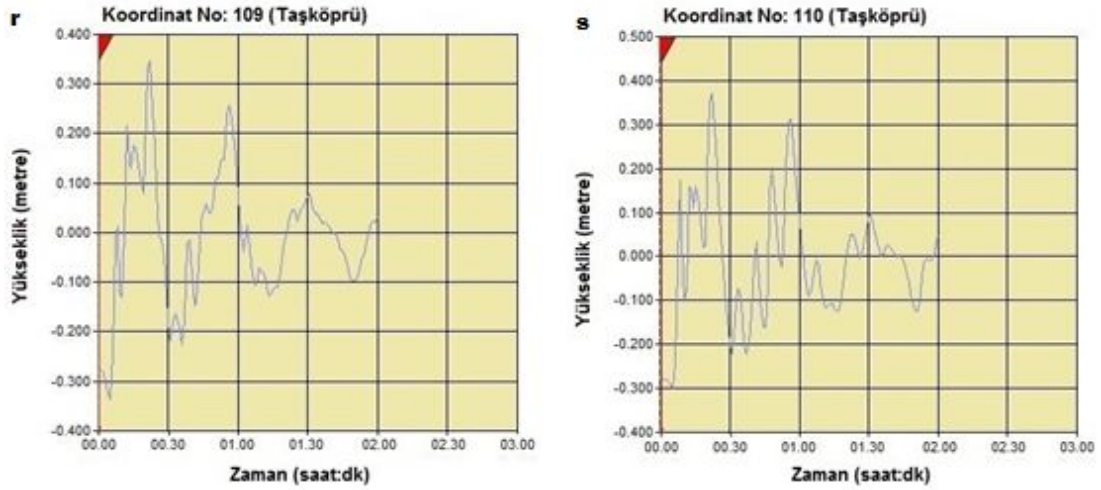
Şekil 7.3. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (a) Dilovası 17 numaralı konum, (b) Körfez 33 numaralı konum, (c) Derince 45 numaralı konum, (d) İzmit 53 numaralı konum, (e) İzmit 54 numaralı konum, (f) İzmit 56 numaralı konum.



Şekil 7.4. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (g) İzmit 57 numaralı konum, (h) Başiskele 64 numaralı konum, (i) Başiskele 65 numaralı konum, (j) Başiskele 96 numaralı konum, (k) Altınova 99 numaralı konum, (k) Altınova 100 numaralı konum.



Şekil 7.5. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (l) Altınova 101 numaralı konum, (m) Altınova 102 numaralı konum, (n) Altınova 103 numaralı konum, (o) Altınova 105 numaralı konum, (ö) Taşköprü 106 numaralı konum, (p) Taşköprü 108 numaralı konum.



Şekil 7.6. Tsunami dalgalarının seçilen noktalara varış zamanı ve zamana göre yayılım dalga biçimi, (r) Taşköprü 109 numaralı konum, (s) Taşköprü 110 numaralı konum.

Kıyı eğim değerleri, Google Earth Pro yazılımı kullanılarak hesaplandı. Bu yazılım içerisinde bulunan arazi katmanı özelliği, harita üzerindeki herhangi bir koordinatın deniz seviyesinden olan yüksekliğini göstermektedir. Arazi katmanı özelliği yazılım içerisinde aktif hale getirerek iki nokta arasındaki yolun uzaklığı, yüksekliği ve eğim değerlerini göstermektedir. Yazılım üzerinde çizilen bir yolun, yükseklik profilini göster komutu ile başlangıç noktası üzerinden bitiş noktasına kadar olan mesafe boyunca yükseklik değişimi grafik şeklinde görülebilmektedir. Görüntelenen grafiğin X eksenini mesafeyi, Y eksenini yüksekliği göstermektedir. Grafik üzerinde seçilen başlangıç noktasından bitiş noktası arasındaki mesafe boyunca yükseklik farkı kullanarak ortalama eğim değerlerini yüzdeler olarak kendi otomatik hesaplamaktadır. Daha sonra çizdirilen grafik üzerinde farklı başlangıç ve bitiş noktaları belirlenebilir.

İzmit Körfezi çevresinde daha önce belirlediğimiz noktaları başlangıç konumu kabul ederek denizden karaya doğru 300 m uzunluğunda bir yol çizildi. Google Earth Pro yazılımında harita üzerinde çizilen bu hatlar kıyı çizgisine dik olacak şekilde çizilmiştir. Burada çizilen hatların kıyıya dik bir şekilde olması; dalga cepheleri kıyı şeridine dik bir şekilde gelmesi ve bu şekilde kara içerisine doğru daha çok mesafe katetmesinden kaynaklanmaktadır. Harita üzerinde çizdiğimiz her yolun yükseklik profili grafiği üzerinden kıyıların yükseklik değerlerine en uygun yüzdeler eğim değerleri bulundu. Her bir noktanın kıyı eğim değerleri tablo 7.3'de gösterilmektedir.

Google Earth Pro yazılımı kullanılarak hesaplanan her bir hat boyuncaki yüzdellik olarak bulunan Tablo 7.3'deki eğim değerini daha sonrasında 6.2 numaralı denklemde kullanmak üzere 100'e bölerek kıyı eğim değerlerimiz hesaplandı.

Tablo 7.3. İzmit Körfezindeki Kıyı İçi Eğim Değerleri

Nokta	S(%)	Nokta	S(%)	Nokta	S(%)	Nokta	S(%)
1	7,8	29	6,1	57	0,7	85	24,7
2	7,1	30	3,9	58	2,8	86	3,3
3	4,2	31	3,9	59	3,9	87	5,0
4	3,8	32	3,4	60	2,9	88	7,9
5	7,1	33	0,8	61	4,3	89	5,9
6	6,8	34	1,5	62	2,3	90	4,1
7	6,1	35	2,0	63	1,2	91	2,5
8	2,6	36	2,9	64	0,3	92	0,9
9	13,7	37	2,7	65	0,5	93	4,1
10	16,6	38	1,6	66	0,7	94	0,7
11	22,0	39	3,7	67	0,9	95	1,4
12	20,1	40	2,5	68	2,6	96	0,6
13	8,6	41	2,4	69	3,8	97	0,9
14	6,0	42	5,9	70	1,7	98	1,3
15	1,3	43	8,6	71	6,7	99	0,7
16	6,7	44	2,2	72	12,9	100	1,1
17	0,3	45	0,2	73	6,9	101	0,2
18	1,6	46	2,0	74	8,0	102	0,1
19	11,8	47	2,1	75	6,2	103	0,3
20	5,3	48	1,3	76	10,8	104	1,2
21	19,3	49	3,8	77	19,8	105	1,0
22	11,3	50	2,3	78	8,3	106	0,6
23	10,1	51	2,8	79	17,1	107	3,6
24	4,8	52	2,3	80	5,0	108	0,5
25	3,1	53	0,8	81	16,0	109	0,5
26	10,2	54	0,4	82	7,4	110	0,4
27	3,3	55	1,6	83	4,7	111	1,6
28	11,5	56	1,0	84	2,5	112	2,7

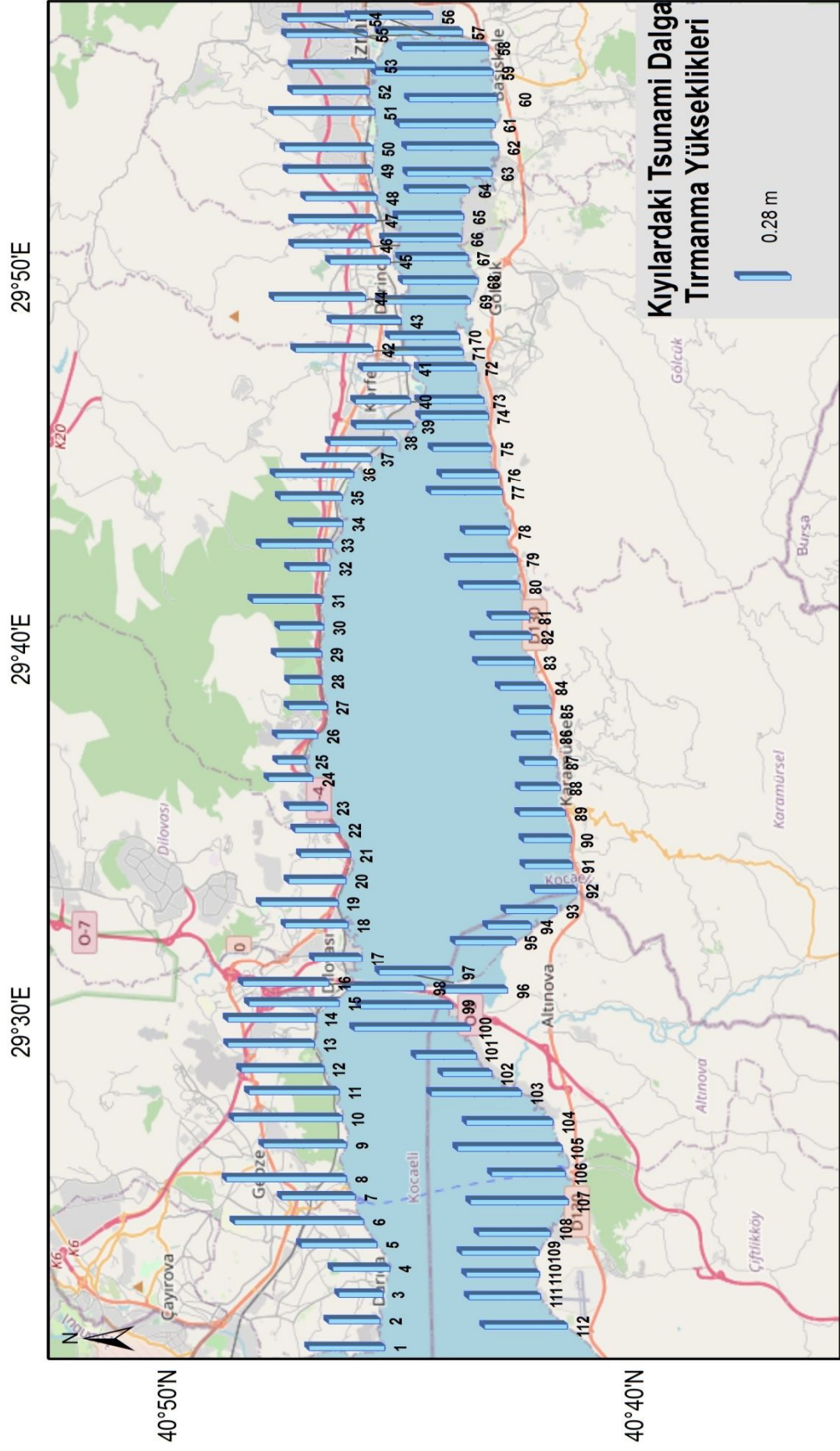
Yukarıda Google Earth Pro yazılımı kullanılarak hesaplanan her bir hat boyuncaki yüzdellik olarak bulunan eğim değerini daha sonrasında 6.2 numaralı denklemde kullanmak üzere 100'e bölerek kıyı eğim değerlerimiz hesaplandı. İzmit Körfezi kıyılarında pürüzlülük değeri 100 m olarak kabul edilmiştir. Her bir kıyı noktasındaki maksimum dalga yüksekliğini, kıyı eğimini ve pürüzlülük değerlerini 6.2 numaralı denklemde yerlerine koyarak İzmit Körfezi kıyıları boyunca su basma mesafeleri hesaplandı. Su basma değerleri Tablo 7.4'de gösterilmektedir.

Tablo 7.4. İzmit Körfezi Kıyı Hattı Boyunca Su Basma Mesafeleri

Nokta	L(m)	Nokta	L(m)	Nokta	L(m)	Nokta	L(m)
1	5,29	29	4,12	57	63,65	85	0,73
2	3,96	30	6,03	58	16,71	86	5,80
3	5,61	31	9,68	59	16,38	87	3,56
4	8,07	32	6,48	60	16,63	88	2,82
5	5,80	33	49,13	61	12,06	89	4,26
6	10,23	34	17,89	62	21,81	90	6,44
7	6,50	35	17,00	63	38,39	91	10,43
8	24,92	36	14,77	64	108,89	92	25,95
9	3,25	37	13,28	65	72,36	93	6,79
10	3,57	38	22,59	66	59,38	94	34,33
11	2,23	39	8,28	67	4063	95	23,73
12	222	40	12,10	68	15,86	96	57,45
13	5,48	41	10,85	69	12,85	97	44,40
14	8,03	42	7,20	70	22,11	98	32,08
15	37,57	43	4,47	71	5,71	99	71,83
16	7,00	44	22,73	72	2,42	100	57,14
17	88,17	45	164,79	73	5,13	101	164,79
18	20,96	46	20,96	74	4,62	102	266,24
19	3,52	47	21,27	75	5,23	103	163,12
20	5,83	48	30,21	76	2,89	104	39,35
21	1,39	49	12,13	77	1,96	105	56,77
22	2,11	50	20,68	78	2,86	106	67,34
23	2,06	51	19,56	79	2,18	107	14,67
24	4,92	52	18,39	80	6,17	108	77,82
25	5,23	53	55,73	81	1,31	109	84,80
26	2,19	54	81,78	82	4,20	110	100,17
27	6,23	55	27,35	83	6,56	111	24,19
28	1,56	56	45,02	84	9,87	112	16,80

Su tırmanma yükseklikleri; daha öncesinde hesapladığımız her bir noktadaki su basma mesafesi değerini ve belirlediğimiz kıyı eğim değerlerini 6.3 numaralı denklemde yerine koyarak hesaplandı. Hesaplanan su tırmanma yükseklik değerleri Tablo 7.5’de, harita üzerinde gösterimi ise Şekil 7.7’da verilmiştir.

İzmit Körfezi boyunca her bir kıyı noktasında hesaplanan su basma mesafesinin deniz seviyesinden olan yükseklikleri Google Earth Pro yazılımı kullanılarak bulundu. Bu yükseklik değerleri kıyı topografik yapısını göstermektedir. Bulunan yükseklik değerleri Tablo 7.6’da gösterilmektedir.



Şekil 7.7. İzmit Körfezi kıyıları boyunca tsunami dalga tırmanma yüksekliklerinin sütun bar gösterimi.

Tablo 7.5. İzmit Körfezinde Tırmanma Yüksekliği Değerleri

Nokta	R(m)	Nokta	R(m)	Nokta	R(m)	Nokta	R(m)
1	0,40	29	0,25	57	0,45	85	0,18
2	0,28	30	0,24	58	0,47	86	0,19
3	0,24	31	0,38	59	0,64	87	0,18
4	0,31	32	0,22	60	0,48	88	0,22
5	0,41	33	0,39	61	0,52	89	0,25
6	0,70	34	0,27	62	0,50	90	0,26
7	0,40	35	0,34	63	0,46	91	0,26
8	0,65	36	0,43	64	0,33	92	0,23
9	0,45	37	0,36	65	0,36	93	0,28
10	0,59	38	0,36	66	0,42	94	0,24
11	0,49	39	0,31	67	0,37	95	0,33
12	0,45	40	0,30	68	0,41	96	0,34
13	0,47	41	0,26	69	0,49	97	0,40
14	0,48	42	0,42	70	0,38	98	0,42
15	0,49	43	0,38	71	0,38	99	0,50
16	0,47	44	0,50	72	0,31	100	0,63
17	0,26	45	0,33	73	0,35	101	0,33
18	0,34	46	0,42	74	0,37	102	0,27
19	0,42	47	0,45	75	0,32	103	0,49
20	0,31	48	0,39	76	0,31	104	0,47
21	0,27	49	0,46	77	0,39	105	0,57
22	0,24	50	0,48	78	0,24	106	0,40
23	0,21	51	0,55	79	0,37	107	0,53
24	0,24	52	0,42	80	0,31	108	0,39
25	0,16	53	0,45	81	0,21	109	0,42
26	0,22	54	0,33	82	0,31	110	0,40
27	0,21	55	0,44	83	0,31	111	0,39
28	0,18	56	0,45	84	0,25	112	0,45

Tablo 7.6. Kıyıdan içeri hesaplanan su basma mesafesinin deniz seviyesinden yüksekliği

Nokta	H(m)	Nokta	H(m)	Nokta	H(m)	Nokta	H(m)
1	1	29	3	57	1	85	8
2	2	30	3	58	1	86	4
3	3	31	3	59	1	87	3
4	1	32	1	60	1	88	2
5	1	33	1	61	1	89	3
6	1	34	1	62	1	90	3
7	1	35	1	63	1	91	3
8	1	36	1	64	1	92	1
9	4	37	1	65	1	93	2
10	3	38	1	66	3	94	1
11	1	39	1	67	1	95	1
12	1	40	2	68	1	96	1
13	1	41	1	69	1	97	2
14	3	42	1	70	1	98	1

Tablo 7.6.(Devam) Kıyıda içeri hesaplanan su basma mesafesinin deniz seviyesinden yüksekliği

Nokta	H(m)	Nokta	H(m)	Nokta	H(m)	Nokta	H(m)
15	1	43	1	71	1	99	1
16	2	44	1	72	2	100	1
17	2	45	1	73	1	101	1
18	1	46	1	74	2	102	1
19	1	47	1	75	1	103	1
20	1	48	1	76	2	104	1
21	1	49	1	77	2	105	1
22	1	50	1	78	2	106	1
23	1	51	1	79	1	107	1
24	1	52	1	80	1	108	1
25	1	53	1	81	1	109	1
26	1	54	1	82	4	110	1
27	1	55	1	83	2	111	2
28	1	56	1	84	4	112	2

Hesaplamalarda kullanılan kıyı eğiminden kaynaklı her bir noktada üzerinde, Tablo 7.5'deki hesaplanan tırmanma yükseklikleri ve Google Earth Pro yazılımı ile bulunan Tablo 7.6'daki yükseklik değerleri arasında farklılık bulunmaktadır. Eğim değerleri, eğer ölçüm yapılan hat boyunca yükseklik doğrusal bir şekilde değişim göstermesi halinde hata payı minimum seviyede olmaktadır. Her zaman yükseklik doğrusal olarak değişiklik göstermemektedir. Bu sebeple her ne kadar hesaplamalarda kullanılan eğim değerleri kıyı topografyasına olabildiğince uygun olacak şekilde belirlenmesine rağmen aradaki bu fark Google Earth Pro yazılımının çözünürlüğünden kaynaklanmaktadır.

8. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında ülkemizin kuzeybatısında iç deniz olan Marmara Denizinin orta ve doğu kısmında oluşması olası deprem senaryolarına göre İzmit Körfezini etkileyebilecek tsunami dalga yayılım modelleri oluşturulmuştur. Dalga yayılım modellerinin hesaplanmasında bölge tektoniği ile uyumlu fay parametreleri seçilmiş ve bunlardan yararlanılarak düşey hareket deniz tabanı deformasyonu hesaplanmıştır. Bu deformasyon tsunami yayılım modelinin belirlenmesinde başlangıç dalga yüksekliği olarak kullanılmıştır. Oluşturulan modellerden 6 numaralı deprem senaryosu İzmit Körfezine ulaşan dalgaların en yüksek modellendiği senaryodur. Bu normal kayma bileşeni olan doğrultu atımlı bir fay için bölge tektoniğine uygun olası deprem büyüklüğü düşünülerek belirlenmiştir. Su basma mesafelerinin hesaplanmasında kıyı içi eğim açısı, kıyı içi arazi yapısı ve kıyıya ulaşan maksimum dalga yükseklikleri kullanılmıştır.

İzmit Körfezi boyunca kıyılara gelen tsunami maksimum dalga yükseklik değerleri; Darıca'nın batısında 0,92 m ve güneyinde 0,48 m, Gebze'de 0,47 m, Dilovası'nda 0,37 m, Körfez'de 0,31 m, Derince'de 0,40 m, İzmit'de 0,39 m, Başiskele'de 0,45 m, Gölcük'de 0,34 m, Karamürsel'de 0,21 m, Altınova'da 0,59 m ve Taşköprü'de 0,38 m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, İzmit Körfezi kıyı şeridi boyunca hesaplanan en yüksek değer Altınova'nın batısında bulunan 103 numaralı bölgede 0,59 m'dir. İzmit Körfezinin iç kesimlerinde hesaplanan dalga yükseklikleri kıyı şeridi yapısı, kıyı şeridi batimetri ve faylanma alanı uzaklığına bağlı olarak çeşitli lokasyonlara göre değişim göstermektedir. Körfezin kuzeybatısı olan 1-16 noktaları arasındaki alanlarda 0,45 m'yi aşan dalga yükseklikleri hesaplanırken, daha da iç kesimlerde yer alan 17-53 noktalarının bulunduğu kuzey kıyılarında 0,40 m'yi geçmemiştir. Körfezin güneybatısı olan 98-112 noktalarını arasındaki alanlarda 0,50 m'yi aşan dalga yükseklikleri hesaplanırken, daha da iç kesimlerde kalan 58-97 noktaları arasındaki güney kıyılarda 0,45 m'yi geçmemektedir.

Altınova'nın Hersek Burnu batısında kalan kıyılarında hesaplanan maksimum dalga yükseklik değerleri, Hersek Burnu doğusunda kalan kıyılarda hesaplanandan daha yüksek bulunmuştur. İzmit Körfezi'nin iç kesimlerde kalan güney kıyıları boyunca maksimum dalga yüksekliklerinin, 84-94 noktaları arasında bulunan alanlarda 0,19 m'yi geçmediği hesaplanmıştır. Dil Burnu doğusunda kalan 21-30 nokta aralığındaki Körfez kıyılarına ulaşan dalgaların Dilovası kıyılarına kıyasla çok daha az olduğu ve 0,18 m'yi geçmediği hesaplanmıştır. Körfez içi ve dışında oluşan bu yükseklik farkları batı havzayı merkez havzadan ayıran Hersek Burnu ve Dil Burunlarının jeomorfolojik konumlarıdır. İzmit Körfezi batısında bulunan bu karşılıklı iki burun batıdan gelen tsunami dalgalarının iç bölgelere yayılmasını nispeten azaltmaktadır. Hesaplanan dalga yüksekliklerindeki çeşitli kıyılara göre farklılıklar; senaryo depremin oluşturduğu fayın doğrultusu, dalgaların faya dik konumda yayılım yönleri ve kıyı etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu etkiler; çeşitli lokasyonlar için çizilen zamana göre dalga yayılım diyagramlarında da görülmektedir.

Birbirine yakın noktalarda zamana bağlı dalga biçimlerindeki farklılıklar ise özellikle kıyı biçimine bağlı olarak bazı lokasyonlarda yansıma ve kırılmalar sonucu birbirleri ile girişim göstermiş olduklarıdır. Bu çalışma kapsamında çeşitli lokasyonlar için hesaplanan zamana bağlı dalga biçim grafiklerinden deprem sonucu oluşabilecek su çekilmesi süreleri de çıkarılabilir. Senaryo deprem dışmerkezine yakın alanlarda su çekilme süreleri kısa, senaryo depreme uzak alanlarda ise su çekilme süreleri daha geç bir zamanda başlamaktadır. Su geri çekilme süreleri Körfez, Derince, İzmit ve Başiskele için 30-45 dakika aralığında değişmektedir. Bu geri çekilme süreleri erken uyarı sinyalinin üretilmesi, yerleşim yerlerindeki vatandaşların yüksek yerlere çıkmaları için anons yapılması ve limandaki teknelerin açığa çıkabilmeleri için yeterlidir. Senaryo deprem dışmerkez ve faylanma alanına yakın lokasyondaki Yalova, Tuzla, Dilovası, Darıca gibi lokasyonlar için ise dalga geri çekilme sürelerinin 10 dakikadan az olup, erken uyarı sinyalinin halkın bilgilendirilmesi için yeterli olmayacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak İzmit Körfezi dışında oluşabilecek olası bir deniz içi depremi sonrası; Körfez içerisindeki lokasyonlara tsunami erken uyarı sinyali verilebilir. Bu sinyalin üretilmesi için kullanılacak gerçek zamanlı ölçüm cihazları ise özellikle körfez dışına yerleştirilmesi gerekli gelgit ölçerlerdir. Bu sayede körfez içindeki lokasyonlar için tsunami erken uyarı sinyalleri üretilebilir

Çalışma kapsamında hesaplanan diğer önemli tsunami parametreleri de su basma mesafesi ve tırmanma yüksekliğidir. Tırmanma yüksekliği ve su basma mesafeleri hesaplarında kullanılan eğim değerleri; Google Earth Pro yazılımı ile İzmit Körfezindeki kıyı alanları boyunca bulunmuştur. Bu nedenle eğim için elde edilen değerler; Google Earth Pro yazılımının izin verdiği ölçüde duyarlıdır.

Kuzey kıyılarında bulunan eğim değerleri; güney ve doğu kıyılarına göre daha dik bir yapıdaki morfolojiyi göstermektedir. Doğu kıyıları ise İzmit Körfezinin diğer yerlerine göre en düz yapıda alanlardır. Doğu kıyılarında yaklaşık 200 metre içeride ölçülen yüksekliğin deniz seviyesinden sadece 1 metre yüksek olduğu belirlenmiştir. Güney kıyılarında ise Gölcük-Değirmendere bölgesi kuzey kıyılarına benzerlik gösterirken, geri kalan kıyı alanları doğu kıyıları ile benzerlik göstermektedir. İzmit Körfezinin kuzey kıyılarında bulunan kuruluşlar ile güneybatısında bulunan tersaneler limanlarını daha çok Körfez içerisindeki dolgu alanlar üzerinde kurmuştur. Bu nedenle liman alanlarının eğim değerleri, doğal kıyı eğim değerlerine kıyasla daha küçüktür.

Hesaplanan su basma mesafeleri; Darıca'da 3,96 m-10,23 m, Gebze'de 2,22 m-24,92 m, Dilovası'nda 1,39 m-88,17 m, Körfez'de 1,56 m-49,13 m, Derince'de 4,47 m-164,79 m, İzmit'de 12,13 m-81,78 m, Başiskele'de 12,06 m-108,89 m, Gölcük'de 1,96 m-40,63 m, Karamürsel'de 0,73 m-25,95 m, Altınova'da 6,79 m-266,24 m, Taşköprü'de 14,67 m-100,17 m arasında değişmektedir. Belirlenen lokasyonlardaki belde sınırları içerisinde farklı değerler; her bir belde sınırlarında kıyı eğiminin farklılığından kaynaklanmaktadır. İzmit, Başiskele, Altınova ve Taşköprü kıyıları körfez içindeki diğer yerleşim yerlerindeki eğim değerlerine kıyasla eğimin düşük olmasından kaynaklı su basma mesafeleri bu lokasyonlarda daha yüksek bulunmuştur. Ancak su basma mesafelerinin yüksek bulunması tırmanma yüksekliğinin de yüksek olması sonucunu vermemektedir. Özellikle eğimin düşük olduğu kıyılarda su basma mesafeleri yüksek iken tırmanma yükseklikleri, dalganın enerjisinin giderek azalmasından dolayı dik kıyı alanlara göre çok daha az olarak hesaplanmıştır. Genel açıklama yapacak olursak; İzmit Körfezi kuzey ve güney kıyılarında su basma mesafeleri plajlar, iskelelerin ve limanların bulunduğu alanlarda 10 m'den fazla olarak hesaplanmıştır.

Bu çıkarımı destekleyen sonuçlar; kuzey kıyılarında 6, 8, 15, 17, 33-38, 40-41, 44-53 noktaları ve güney kıyılarında 58-70, 91-92, 94-112 noktalarındaki hesaplanan su basma mesafeleridir. Doğu kıyıları olan 54-57 noktalarında ise eğim değerlerinin düşük olmasından kaynaklı bu alanlarda hesaplanan su basma mesafeleri 27 m'yi geçmektedir. İzmit Körfezinin kuzey kıyılarındaki, en yüksek su basma mesafesi 45 numaralı nokta üzerinde 164,79 m olarak hesaplanmasında, liman inşaat alanı olmasından kaynaklı ölçülen eğim değerinin düşük olduğu düşünülmektedir. Güney kıyılarındaki ise özellikle 99-105 noktaları arasında yer alan ‘‘Tersaneler Bölgesi’’ diye adlandırılan kesimde 56,77 m-266,24 m aralığında en yüksek su basma mesafelerinin olduğu hesaplanmıştır. İzmit Körfezi içerisine akan 5 adet akarsuyun tsunami dalgalarının kara içerisine daha kolay nüfuz etmesini sağlayabileceği için; buradaki bölgeler üzerinde hesaplanan su basması mesafelerinden çok daha kıyı içerisinde bulunan, akarsuların çevre kesimlerinde tsunami dalgalarının tehlike oluşturabileceği düşünülmektedir.

Tez çalışmasının son aşamasında maksimum dalga, eğim ve su basma mesafelerinden yararlanarak tsunamilerin kıyıdan içeri girdikleri en son noktanın deniz seviyesinden yüksekliğini de gösteren tırmanma yükseklikleri deneysel yaklaşımlarla hesaplanmıştır. İzmit Körfezinde hesaplanan tırmanma yükseklik değerleri; Darıca’da 0,70 m, Gebze’de 0,65 m, Dilovası’nda 0,49 m, Körfez’de 0,43 m, Derince’de 0,50 m, İzmit’de 0,22 m, Başiskele’de 0,59 m, Gölcük’de 0,49 m, Karamürsel’de 0,31 m, Altınova’da 0,63 m, Taşköprü’de 0,57 m’dir. İzmit Körfezi’nde 45, 101-103 noktalarında hesaplanan değerler körfezin geri kalan noktalarının tersine kıyılara gelen maksimum dalga yüksekliklerinden daha düşüktür. Bu noktalar civarında hesaplanan tırmanma yüksekliklerin diğer noktalarının altında kalması kıyı eğim değerlerinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Kıyı eğim değerlerinin düşük olduğu alanlarda tsunamiler daha çok içeri girer ve su basma mesafeleri yüksektir. Buna karşın dalga yükseklikleri kıyı çizgisine ulaştığı değere göre daha küçüktür. Eğim değerleri her ne kadar kıyı yapısına uygun olacak şekilde belirlememize rağmen her zaman yükseklik doğrusal bir şekilde değişim göstermektedir. Bu sebeple hata payı her kıyı için değişmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, eğim ne kadar düşük olursa o bölgelerde su basma mesafelerinin daha yüksek olacağı ve eğimin düşük olduğu alanlarda da tırmanma yüksekliğinin düşük olduğu hesaplanmıştır. Bu çıkarımı destekleyen en önemli hesaplama sonuçlarından biri; kıyı eğiminin en düşük olduğu (%0,1) Altınova civarında senaryo deprem sonucu kıyıya 0,50 m ile ulaşan bir dalganın 270 m civarında içeri ilerleyebileceğidir.

Tüm sonuçlar dikkate alındığında; 17 Ağustos 1999 depreminin devamı niteliğinde KAF'ın Yalova ve sonrasındaki kolları üzerinde olası bir deprem olması halinde İzmit Körfezi kıyıları boyunca yaklaşık 1 metre yüksekliklere ulaşan 270 metre kadar da eğimi düşük alanlarda içeri giren tsunami dalgalarının oluşması olasıdır. Bu değerler normal bileşeni az olan doğrultu atımlı bir faylanma öngörüsünün parametreleri ile hesaplanmıştır. Senaryo depremin büyüklüğüne göre modellenen dalgalar küçüktür. Bu durum; doğrultu atımlı faylanma türlerine göre tsunami oluşturma potansiyelinden düşük olmasından dolayı kaynaklanmıştır. Bir diğer önemli etken de detaylı batimetri verisinin kullanılmamasıdır. Özellikle limanlar ve küçük koylarda dalga modellemesi için detaylı batimetri kullanımı modellerin güvenilirliğini artıracaktır. Buna karşın bu çalışma senaryo depremlerin dalga yayılım yönlerinin öngörülmesi, maksimum dalgaların ulaşacağı noktaların belirlenmesi, tsunami varış zamanlarının hesabı ve kıyı eğimine bağlı olarak su basma lokasyonlarının belirlendiği sonuçlar ortaya koyması açısından önemlidir. Özellikle nüfusun yoğun ve kıyı şeridinde sanayileşmenin fazla olduğu İzmit Körfezi bölgesinde; limandaki teknelerin korunması için planların yapılması, erken uyarı sistemleri ile dalgaların sanayi kuruluşlarına ulaşmadan gaz ve elektriklerinin kesilmesi ve halkın en azından 500-1000 m kadar gerilerdeki yüksek kesimlere gitmesi ve kaçış güzergâhlarının oluşturması için kullanılabilir. Senaryo depremler ile oluşması olası tsunami dalgalarını kıyı şeridinde sağlam yapılmış prefabrike olmayan binalara zarar vereceği düşünülmektedir ancak olası bir tsunamide su basması sonucu içeri giren dalgaların tekrar denize çekilmesi sırasında “debris” olarak adlandırılan malzemeler zarar verici olabilirler. Kıyıda içeri giren tsunamiler geri çekilme sırasında önüne gelen sabitlenmemiş birçok malzemeyi denize taşıyacağından dolayı bölgedeki sanayi kuruluşları bu konuda önlemleri almaları, özellikle ekonomik zararı azaltma, iş ve iş sağlığını korumak adına önemlidir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında özellikle su basma mesafelerinin uzun olduğu eğimi düşük düzlük alanlar ve tsunamilerin metrelerce içeri gidebildiği deniz ile bağlantılı akarsuların çevresinde bulunan malzeme depo alanları ile hastane, itfaiye gibi önemli kurum ve kuruluşların yetkililer tarafından irdelenerek daha uygun olan iç kesimlerdeki lokasyonlara taşınması önerilmektedir. Çünkü bu tür alanlar deprem ve sonrasında oluşabilecek olası tsunaminin oluşturduğu su basmasından etkilenebilirler.



KAYNAKLAR

Aki K., Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 14, 1964, Part 2, Estimation of earthquake moment, released energy and stress-strain drop from G wave spectrum, *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 1966, **44**(1), 73–88.

Algan O., Altıok H., Yüce H., Seasonal Variation of Suspended Particulate Matter in Two-Layered İzmit Bay, Turkey, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, **49**(2), 235–250, DOI:10.1006/ecss.1999.0494.

Altınok Y., Türkiye ve Çevresinde Tarihsel Tsunamiler, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 2005, **438**(500/2005-4), 25-32.

Altınok Y., Alpar B., Marmara Tsunamileri, Olası Deniz İçi Kaynakları ve Yerleşim Alanlarına Etkileri, *İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu III*, İstanbul, Türkiye, 07-09 Aralık 2007.

Altınok Y., Alpar B., Oezer N., Aykurt H., Revision of the tsunami catalogue affecting Turkish coasts and surrounding regions, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2011, **11**(2), 273-291, DOI: 10.5194/nhess-11-273-2011.

Altınok Y., Ersoy Ş., Tsunamis Observed on and near the Turkish Coast, *Natural Hazards*, 2000, **21**(2), 185-205, DOI: 10.1023/A:1008155117243.

Altınok Y., Ersoy Ş., Yalçınmer A. C., Alpar B., Kuran, U., Historical tsunamis in the Sea of Marmara, *International Tsunami Symposium*, Seattle, Washington, 7-10 Ağustos 2001a.

Altınok Y., Tinti S., Alpar B., Yalçınmer A. C., Ersoy Ş., Bortolucci E., Armigliato A., The tsunami of August 17, 1999 in İzmit bay, Turkey, *Natural Hazards*, 2001b, **24**(2), 133-146.

Alponat R., Rakamlarla Kocaeli ve KOGAD, Turk Deniz Medya, <http://www.turkdeniz.com/yazilar/Rakamlarla-Kocaeli-ve-KOGAD-37/> (Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2020).

Ambraseys N. N., Some Characteristic Features of the Anatolian Fault Zone, *Tectonophysics*, 1970, **9**(2-3), 143-165. DOI: 10.1016/0040-1951(70)90014-4

Ambraseys, N. N., The earthquake of 1509 in the Sea of Marmara, Turkey, revisited, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2001, **91**(6), 1397-1416.

Ambraseys N. N., Seismic sea waves in the Marmara Sea region during the last 20 centuries, *Journal of Seismology*, 2002, **6**(4), 571-578, DOI: 10.1023/A:1021158610252.

Ambraseys N. N., Finkel, C. F., The Marmara sea earthquake of 1509, *Terra Nova*, 1990 **2**(2), 167-174.

Ambraseys N. N., Finkel C. F., *The seismicity of Turkey and adjacent areas; A historical review: 1500–1800*, Eren Yayıncılık, İstanbul, 1995.

Ambraseys N. N., Jackson J. A., Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500, *Geophysical Journal International*, 2000, **141**(3), F1-F6, DOI: 10.1046/j.1365-246x.2000.00137.x.

Annunziato A., The Tsunami assesment modelling system by the joint research center, *Scienco of Tsunami Hazards*, 2007, **26**, 70–92.

Annunziato A., Ulutas E., Titov V. V., Tsunami Model Study Using JRC-SWAN and NOAA-SIFT forecast methods, *International Symposium on Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region 500th Anniversary Year of the 1509*, İstanbul, Türkiye, 10-12 Eylül 2009.

Armijo R., Meyer B., Barka A., de Chabalier J. B., Hubert-Ferrari, A., Cakir Z., The fault breaks of the 1999 earthquakes in Turkey and the tectonic evolution of the Sea of Marmara: A Summary, *The 1999 Izmit and Düzce Earthquakes: Preliminary Results*, 2000, 55-62.

Armijo R., Meyer B., Navarro S., King G., Barka A., Asymmetric Slip Partitioning in The Sea of Marmara Pull-Apart: A Clue To Propagation Processes of the North Anatolian Fault?, *Terra Nova*, 2002, **14**(2), 80-86, DOI: 10.1046/j.1365-3121.2002.00397.x

Armijo R., Pondard N., Meyer B., Uçarkus G., de Lépinay B. M., Malavieille J., ... & Cagatay N., Submarine fault scarps in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): Implications for seismic hazard in Istanbul, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2005, **6**(6), DOI: 10.1029/2004GC000896

Barka, A. A., The North Anatolian Fault Zone, *Annales tectonicae*, 1992, **6**, 164-195.

Barka A., Neotectonics of the Marmara region, *Active Tectonics of Northwestern Anatolia—The Marmara Poly-Project*, 1997, 55-87.

Barka A. A., Kadinsky-Cade K., Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and its Influence On Earthquake Activity, *Tectonics*, 1988, **7**(3), 663– 684. DOI:10.1029/TC007i003p00663.

Burbidge D., Mueller C., Power W., The Effect of Uncertainty in Earthquake Fault Parameters on The Maximum Wave Height From A Tsunami Propagation Model, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2015, **15**(10), 2299-2312.

Camfield F. E., Tsunami Engineering, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Special Report (SR-6), 1980.

Cisternas A., Polat O., Rivera L., The Marmara Searegion: Seismicbehaviour in Time and the Likelihood of Anotherlarge Earthquake Near Istanbul (Turkey), *Journal of Seismology*, 2004, **8**(3), 427-437.

Demirtaş R., Şaffak D., Şahin M., Bulut N., Kavaklı Fayı (Gölcük-Izmit) Paleosismisite Araştırmaları, *Kavaklı Fayı Paleosismisite Araştırmaları*, 2008, DOI: 10.13140/RG.2.2.12753.58726.

Demirtaş R., Yılmaz R., *Türkiye'nin Sismotektoniği*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı Yayınları, Ankara, 1996.

Ding Y., Jia Y., Wang S. Y. S., Identification of Manning's Roughness Coefficients in Shallow Water Flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, **130**(6), 501-510, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:6(501).

Erdik M., Demircioglu M., Sesetyan K., Durukal E., Siyahi B., Earthquake hazard in Marmara region, Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2004, **24**(8), 605-631.

Ergintav S., Reilinger R. E., Çakmak R., Floyd M., Cakir Z., Doğan U., ... & Özener, H., Istanbul's Earthquake Hot Spots: Geodetic Constraints on Strain Accumulation Along Faults in The Marmara Seismic Gap, *Geophysical Research Letters*, 2014, **41**(16), 5783-5788.

Garipağaoğlu N., Uzun S., İzmit Körfezi kıyılarında kıyı alanı kullanımı, *Türk Coğrafya Dergisi*, 2014, **63**, 9-22.

Gazioğlu C., Gökaşan E., Algan O., Yücel Z., Tok B., Doğan E., Morphologic features of the Marmara Sea from multi-beam data. *Marine Geology*, 2002, **190**(1-2), 397-420.

Gedik N., Irtem E., Kabdasli S., Laboratory investigation on tsunami run-up, *Ocean Engineering*, 2005, **32**(5-6), 513-528, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2004.10.013.

General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO30), 2019, https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2019/gebco_2019_info.html, (Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2020).

Gica E., Michelle H., Teng M., Philip L.-F., Liu F., Vasily T., Hongqiang Z., Sensitivity analysis of source parameters for earthquake-generated gistant tsunamis, *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, 2007, **133** (6), 429-441, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-950X(2007)133:6(429).

Gokceoglu C., Tunusluoglu M. C., Gorum T., Tur H., Gokasan E., Tekkeli A. B., ... & Alp H., Description Of Dynamics of The Tuzla Landslide and its İmplications For Further Landslides in the Northern Slope and Shelf of the Cinarcik Basin (Marmara Sea, Turkey), *Engineering Geology*, 2009, **106**(3-4), 133-153, DOI: 10.1016/j.enggeo.2009.02.007.

Guidoboni E., Comastri A., *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th century*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, 2005. ISBN:88-85213-10-3

Guidoboni E., Comastri A., Traina G., *Catalogue of Anticent Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century*, Instiuto Nazionale di Geofisica, Rome, 1994.

Güler Ö. F., Ulutaş E., Coruk Ö., Sanğu E., Marmara Denizi Doğu kıyıları, Yalova Cıvarı ve İzmit Körfezi Tsunami Tehlike Değerlendirmesi Teknik Rapor, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 9-28, 2020.

Gurbuz C., Aktar M., Eyidogan H., Cisternas A., Haessler H., Barka A., Ergin M., Türkelli N., Polat O., Üçer S. B., Kuleli S., Baris S., Kaypak B., Bekler T., Zor E., Bicmen F., Yoruk, A., The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment, *Tectonophysics*, 2000, **316**(1-2), 1-17.

Gürleme B., Mega Depremlerin Tsunami Simülasyonlarında Farklı Tip Faylanmalar İçin Deniz Tabanı Deformasyonları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020

Hanks T. C., Kanamori H., A Moment Magnitude Scale, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1979, **84**(B5), 2348– 2350, DOI:10.1029/JB084iB05p02348.

Henderson F. M., *Open channel flow*, Macmillan, New York, 1966.

Hébert H., Schindelé F., Altinok Y., Alpar B., Gazioglu C., Tsunami Hazard in The Marmara Sea (Turkey): A Numerical Approach To Discuss Active Faulting and Impact On The Istanbul Coastal Areas, *Marine Geology*, 2005, **215**(1-2 SPEC. ISS.), 23–43, DOI: 10.1016/j.margeo.2004.11.006.

Honkura, Y., Işıkara A. M., Oshiman, N., Ito, A., Üçer, B., Baris, S., Tunçer M. K., Pektaş R., Çelik C., Tank S. B., Takahashi F., Nakanishi M., Yoshimura R., Ikeda Y., Komut, T., Preliminary Results Of Multidisciplinary Observations Before, During and After The Kocaeli (Izmit) Earthquake in The Western Part of The North Anatolian Fault Zone. *Earth, planets and space*, 2000, **52**(4), 293-298.

Hoşgören M. Y., İzmit Körfezi Havzasının Jeomorfolojisi, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi Editör, Engin MERİÇ, 1995, 343-348.

Imren C., Le Pichon X., Rangin C., Demirbağ E., Ecevitoğlu B., Görür N., The North Anatolian Fault Within The Sea of Marmara: A New İnterpretation Based On Multi-Channel Seismic and Multi-Beam Bathymetry Data, *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, **186**(2), 143-158.

Ji C., Wald D. J., Helmberger D. V., Source Description of The 1999 Hector Mine, California Earthquake; Part I: Wavelet Domain Inversion Theory and Resolution Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2002, **92**(4), 1192–1207.

Johnson J. M., Satake K., Holdahl S. R., Sauber J., The 1964 Prince William Sound Earthquake: Joint Inversion of Tsunami and Geodetic Data, *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**, 523–532.

Kalyoncuoğlu Ü., Y., Özer M., F., Türkiye'nin Sismisitesi, Yüksek Riskli Alanlar ve Tektoniğine Yeni Bir Yaklaşım, *Beşinci Ulusal Deprem Sempozyumu*, 125-127, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.

Kazancı N., Emre Ö., Erturaç K., Leroy S., Öncel S., İleri Ö., Toprak Ö., Possible Incision Time of The Large Valleys on Southern Marmara Region, Nw Turkey, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 2014, **148**(148), 1-17.

Kikuchi M., Kanamori H., Inversion of Complex Body Waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1982, **72**(2), 491-506.

Kikuchi M., Kanamori H., Rupture Process of The Kobe, Japan Earthquake of January 17, 1995 Determined From Teleseismic Body Waves, *Journal of Physics of the Earth*, 1996, **44**(5), 429–436, DOI: 10.4294/jpe1952.44.429.

Latcharote P., Suppasri A., Imamura F., Aytore B., Yalciner A. C., Possible Worst-Case Tsunami Scenarios Around The Marmara Sea From Combined Earthquake and Landslide Sources, *Pure and Applied Geophysics*, 2016, **173**(3823-3846). DOI: 10.1007/s00024-016-1411-z.

Lay T., Yamazaki Y., Ammon C. J., Cheung K. F., Kanamori H., The 2011 Mw 9.0 off The Pacific Coast of Tohoku Earthquake: Comparison of Deep-Water Tsunami Signals With Finite-Fault Rupture Model Predictions, *Earth Planets Space*, 2011, **63**(7), 797–801, DOI: 10.5047/eps.2011.05.030.

Le Pichon X., Şengör A., Demirbağ E., Rangin C., İmren C., Armijo R., ... & Tok B., The Active Main Marmara Fault, *Earth Planet Sci Lett*, 2001, **192**(4), 595–616, DOI: 10.1016/S0012-821X(01)00449-6.

Leonard G. S., Lukovic B., Langridge R., Downes G., Power W., Smith W., Johnston, D.M., Interim Tsunami Evacuation Planning Zone Boundary Mapping For The Wellington and Horizons Regions Defined by A GIS-Calculated Attenuation Rule, *GNS Science*, Wellington, 2009.

Liu P. L., Wang F. X., Salisbury A. J., Tsunami Hazard and Early Warning System in South China Sea, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, **36**(1), 2–12, DOI: 10.1016/j.jseaes.2008.12.010.

Mader C., *Numerical Modeling of Water Waves*, 2 rd ed., University of California Press, Berkeley, California, 1988, 206.

Mader C., Modelling the Lisbon Tsunami, *Science of Tsunami Hazards*, 2001, **19**(2), 93–116.

McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., ... Veis G., Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2000, **105**(B3), 5695–5719 DOI: 10.1029/1999jb900351

Okada Y., Surface Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1985, **75**(4), 1135–1154.

Okal E. A., Synolakis C. E., Uslu B., Kalligeris N., Voukouvalas E., The 1956 Earthquake and Tsunami in Amorgos, Greece, *Geophysical Journal International*, 2009, **178**(3), 1533-1554, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2009.04237.x.

Okay A. I., Demirbag E., Kurt H., Okay N., Kuscu I., An Active, Deep Marine Strike-Slip Basin Along the North Anatolian Fault, Turkey, *Tectonics*, 1999, **18**(1), 129–147, DOI:10.1029/1998TC900017.

Okay A. İ., Kaşlılar-Özcan A., Imren C., Boztepe-Güney A., Demirbağ E., Kuşçu İ. Active Faults and Evolving Strike-Slip Basins In The Marmara Sea, Northwest Turkey: A Multichannel Seismic Reflection Study, *Tectonophysics*, 2000 **321**(2), 189-218, DOI: 10.1016/S0040-1951(00)00046-9.

Okyar M., Pinar A., Tezcan D., Kamaci Z., Late Quaternary Seismic Stratigraphy and Active Faults Of The Gulf Of Izmit (NE Marmara Sea), *Marine Geophysical Research*, 2008, **29**(2), 89-107. DOI: 10.1007/s11001-008-9049-6

Öztin F., 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi Raporu, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi*, Ankara, Türkiye, 1994.

Öztin F., Bayülke N., Historical Earthquakes Of Istanbul, Kayseri, Elazığ, Proceedings of the workshop on Historical Seismicity and Seismotectonics of The Mediterranean Region, 10–12 October 1990 (Istanbul), *Turkish Atomic Energy Authority*, Ankara, 150–173, 1991.

Papazachos B. C., Papazachou, C. B., The earthquakes of Greece, *Editions Ziti Publication Co., Thessaloniki, Greece*, 1997.

Parke J. R., Minshull T.A., Anderson G., White R. S., McKenzie, D., Kuscu, I., Bull, J.M., Görür. N., Sengör, A.M.C., Active faults in the Sea of Marmara, Western Turkey, Imaged by Seismic Reflection Profiles, *Terra Nova*, 2000, **11**(5), 223–227. DOI: 10.1046/j.1365-3121.1999.00248.x

Parsons T., Recalculated probability of $M \geq 7$ Earthquakes Beneath the Sea of Marmara, Turkey, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2004, **109**(B5).

Polat O., *Fay Düzlemi Çözümü*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeofizik, Sismoloji Ders Notları, İzmir, 2005.

Polat O., Haessler H., Cisternas A., Philip H., Eyidogan H., Aktar M., ... & Gurbuz C., The Izmit (Kocaeli), Turkey earthquake of 17 August 1999: Previous Seismicity, Aftershocks, and Seismotectonics, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2002, **92**(1), 361-375.

Polat, O., Özyalın, Ş., Winfoc: Odak Mekanizması Çözümü İçin Yeni Bir Yazılım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018, **33**(1), 345-360.

Rangin C., Le Pichon X., Demirbag E., Imren C., Strain Localization in the Sea of Marmara: Propagation of the North Anatolian Fault in A Now Inactive Pull-Apart, *Tectonics*, 2004, **23**(2). <https://doi.org/10.1029/2002TC001437>

Rothaus R., Reinhardt E., Noller J., Regional Considerations of Coastline Change, Tsunami Damage and Recovery along the Southern Coast of the Bay of Izmit (The Kocaeli (Turkey) Earthquake of 17 August 1999), *Natural Hazards*, 2004, **31**, 233-252, DOI: 10.1023/B:NHAZ.0000020265.16134.5b.

Saroglu F., Emre O., Kuscu I., Active Fault Map Of Turkey, *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara, 1992.

Satake K., Inversion Of Tsunami Waveforms For the Estimation of A Fault Heterogeneity: Method and Numerical Experiments, *Journal of Physics of the Earth*, 1987, **35**(3), 241–254, DOI: 10.4294/jpe1952.35.241.

Sato T., Kasahara J., Tayma, T., Ito M., Kamimura A., Hayakawa T., Tan O., A Study of Microearthquake Seismicity and Focal Mechanisms Within the Sea of Marmara (NW Turkey) Using Ocean Bottom Seismometers (OBSs), *Tectonophysics*, 2004, **391**(1-4), 303-314.

Smart G. M., Crowley, K. H. M., Lane E. M., Estimating Tsunami Run-Up, *Natural Hazards*, 2015, **80**(3), 1933–1947, DOI: 10.1007/s11069-015-2052-8.

Smith A. D., Oktay F., Taymaz T., Jackson J., Basaran H., Alpar B., Simsek M., Kara S., High Resolution Seismic Profiling in the Sea of Marmara (NW Turkey): Late Quaternary Sedimentation and Sea-Level Changes, *GSA Bulletin*, 1995, **107**(8), 923–936, DOI: 10.1130/0016-7606(1995)107<0923:HRSPIT>2.3.CO;2.

Soloviev S. L., Solovieva O. N., Go C. N., Kim K. S., Shchetnikov N. A., *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 B.C.–2000 A.D.*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.

Soysal H., Tsunami (Deniz Taşması) ve Türkiye kıyılarını etkileyen tsunamiler, *İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni*, 1985, **2**, 59-67.

Soysal H., Sipahioğlu, S., Kolçak D., Altınok Y., Historical Earthquake Catalogue of Turkey and Surrounding Area (2100 B.C.–1900 A.D.), *Istanbul: Technical Report of The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK)*, TBAG-341, 179-184, 1981.

Straub C., Kahle H.-G., Schindler C., GPS and Geologic Estimates of the Tectonic Activity in the Marmara Sea Region, NW Anatolia, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1997, **102**(B12), 27587–27601, DOI: 10.1029/97JB02563.

Synolakis C. E., Liu P. L-F., Yeh H., Carrier G., Tsunamigenic sea-floor deformations, *Science*, 1997, **278**(5338), 598–600.

Şengör A. M. C., Görür N., Şaroğlu F., Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as A Case Study, *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 1985.

T.C. Kocaeli Valiliği, İzmit Körfezi Liman Bölgesi Raporu, *Kocaeli Valiliği*, 2011.

T.C. Kocaeli Valiliği, Kocaeli Limanlarının Demiryolu ve Karayolu Bağlantılarının Yapılması, Coğrafi ve Fiziki İmkânları Uygun Olan Limanların Oluşturulması, *Kocaeli Valiliği*, 2012.

Taymaz T., Türkiye'nin Gerçeği: Deprem, *Cumhuriyet-Bilim Teknik*, 447(14 Ekim 1995), 1995, 8-11.

Taymaz, T., Seismotectonics of the Marmara Region: Source Characteristics of 1999 Golcuk-Sapanca-Duzce Earthquakes, *Proceedings of The International Symposium on the Kocaeli Earthquake*, 2-5 December 1999, 55-78.

Taymaz T., Jackson, J., Westaway R., Earthquake Mechanisms in the Hellenic Trench near Crete. *Geophysical Journal International*, 1990, **102**(3), 695–731.

Taymaz T., Tan O., Yolsal S., Active Tectonics of Turkey and Surroundings: Seismic Risk in the Marmara Sea Region, *Proc. 1st International Workshop on Active Monitoring in the Earth Geophysics (IWAM04)*, Mizunami, Japan, 2004, 110-115.

Titov V., Rabinovich A. B., Mofjeld H. O., Thomson R. E., Gonzalez F. I., The Global Reach of the 26 December 2004 Sumatra Tsunami, *Science*, 2005, **309**(5743), 2045–2048. DOI: 10.1126/science.1114576

Titov V. V., Synolakis, C. E., Numerical Modeling of Tidal Wave Run-Up, *Journal of Waterway Port Coastal Ocean Engineering*, 1998, **124**(4), 157–171, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-950X(1998)124:4(157).

Tuğrul S., Morkoç E., Okay O., The determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of the İzmit Bay. In: Kalafatoğlu E (ed) Wastewater treatment and disposal studies: NATO-TU WATERS. Final Report, TÜBİTAK Marmara Scientific and Industrial Research Center, Department of Chemical Engineering, Gebze, İstanbul, 193–259, 1989.

Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=II-Bazinda-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2018-30889/> (Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2020)

Ulutaş E., Tsunami simulation of the October 25, 2010, South Pagai Island, Sumatra Earthquake, *International Journal of Physical Sciences*, 2011, **6**(3), 459–475. DOI: 10.5897/IJPS10.682

Ulutaş E., Comparison of the Seafloor Displacement From Uniform and Non-Uniform Slip Models on Tsunami Simulation of the 2011 Tohoku–Oki Earthquake, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, **62**, 568–585. DOI: 10.1016/j.jseaes.2012.11.007.

Ulutaş E., Çayır U. A., Prens Adaları Fayı Deprem Kaynak Parametreleri Kullanılarak Marmara Denizinde Tsunami Modellemesi, *IMASCON*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018, 252-256.

Ulutaş E., Gürleme B., 2016 Kaikura Earthquake Tsunami Simulation from Point and Finite Fault Source Models, *Disaster Science and Engineering*, 2019, **5**, 1-10.

Ulutaş E., Inan A., Annunziato, A., Web-based tsunami early warning system: a case study of the 2010 Kepulauan Mentawai earthquake and tsunami. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2012, **12**(6), 1855-1871.

URL-1: <https://www.nufusu.com/iller/>(Ziyaret Tarihi: 29 Aralık 2019).

URL-2: <https://kosano.org.tr/rakamlarla-kocaeli/> (Ziyaret Tarihi: 5 Ekim 2019).

URL-3: <https://www.denizbulten.com/haber-turkiye-deniz-gucu-ve-askeri-denizcilik-endustrisi-895.html/> (Ziyaret Tarihi: 23 Mart 2020).

URL-4: <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-49322860/> (Ziyaret Tarihi: 27 Eylül 2020).

URL-5: <http://www.bask.org.tr/m/index.php?islem=detay&id=1671/> (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2020).

URL-6: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> (Ziyaret Tarihi: 5 Ekim 2019).

Uyeda S., Kanamori H., Back-Arc Opening and the Mode of Subduction, *Journal Geophysich Resach*, 1979, **84**(B3), 1049–1062.

Weatherall P., Marks K.M., Jakobsson M., Schmitt T., Tani S., Arndt J.E., Rovere M., Chayes D., Ferrini V., Wigley R., A New Digital Bathymetric Model of the World's Oceans, *Earth and Space Science*, 2015, **2**(8), 331– 345.

DOI:10.1002/2015EA000107.

Wells D., Coppersmith K., New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture, Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1994, **84**(4), 974–1002.

Yagi Y. Seismic Source Mechanism, University of Tsukuba, Japonya, 2004.

Yalçiner A. C., Alpar B., Altınok, Y., Özbay İ., Imamura F., Tsunamis in the Sea of Marmara: Historical Documents for the Past, Models for the Future, *Marine Geology*, 2002, **190**(1-2), 445–463. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00358-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00358-4)

Yalçiner A. C., Kuran U., K, Minoura, F, Imamura, T, Takahashi, G, Papadopoulos, Ş. Ersoy, Türkiye Kıyılarında Depreşim (Tsunami) Dalgası İzleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 2005, **438**, 38-42.

Yalçmer A. C., Pelinovsky E., Talipove T., Kurkin A., Kozelkov A., Zaitsev A., Tsunamis in the Black Sea: comparison of the historical, instrumental, and numerical data, *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**(C12). <https://doi.org/10.1029/2003JC002113>

Yalçmer A. C., Süzen M. L., Enginar D. T., ..., Çabuk Ö., İstanbul İli Marmara Kıyıları Tsunami Modelleme, Hasar Göretilirlik ve Tehlike Analizi Güncelleme Projesi Sonuç Raporu, *İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü*, 1-512, 2018.

Yaltrak C., Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology*, 2002, **190**(1-2), 493-530. DOI: 10.1016/S0025-3227(02)00360-2

Yolsal S., Taymaz T., Sensitivity analysis on relations between earthquake rupture parameters and far-field tsunami waves: Case studies in the Eastern Mediterranean region, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 2010, **19**(3), 313–349.

Yolsal-Cevikbilen S., Taymaz, T., Earthquake source parameters along the Hellenic subduction zone and numerical simulations of historical tsunamis in The Eastern Mediterranean, *Tectonophysics*, 2012, **536-537**, 61–100, DOI: 10.1016/j.tecto.2012.02.019.

Yolsal-Çevikbilen S., Ulutaş E., Taymaz T., Source Models Of The 2012 Haida Gwaii (Canada) and 2015 Illapel (Chile) Earthquakes and Numerical Simulations of Related Tsunamis, *Pure and Applied Geophysics*, 2019, **176**(7), 2995-3033.



EKLER

Ek-A

Giriş bölümündeki İzmit Körfezinde bulunan önemli ticari liman işletme tesisleri listesi.

Tablo A.1. İzmit Körfezindeki önemli liman işletme tesisleri ile buldukları ilçeler.

Sıra	Tesis adı	Bölge	Sıra	Tesis adı	Bölge
1	Arslan Çimento A.Ş.	Darıca	19	Dubai Port World Limanı	Körfez
2	Belde Liman İşletmeleri ve Depoculuk A.Ş.	Dilovası	20	İGSAŞ-İstanbul Gübre Fabrikaları A.Ş. Liman Tesisleri	Körfez
3	Poliport A.Ş.	Dilovası	21	HABAŞ Petrol Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. (Platform)	Körfez
4	Çolakoğlu Metalurji A.Ş. Liman Tesisleri	Dilovası	22	Milangaz LPG Dağıtım San. ve Tic. A.Ş. (Platform)	Körfez
5	Yılport Limanı Konteyner Terminali ve Liman İşletmeciliği A.Ş.	Dilovası	23	OPAY Akaryakıt Ticaret Ltd.Şti. (Platform)	Körfez
6	Altıntel Liman ve Terminal İşletmeleri A.Ş.	Dilovası	24	Petline Petrol Ürünleri Tic. A.Ş. (Platform)	Körfez
7	Solventaş Teknik Depolama A.Ş. Limanı	Dilovası	25	Aygaz A.Ş. (Platform)	Körfez
8	Efesanport (İstanbul Demir Çelik A.Ş.)	Dilovası	26	TÜPRAŞ İzmit Rafineri Müdürlüğü Liman Tesisleri	Körfez
9	SADAŞ Samsun Akaryakıt Dağıtım A.Ş.	Dilovası	27	SAFİ Port	Derince
10	Kroman Çelik San. A.Ş. Liman İşletmesi	Körfez	28	TCDD Derince Liman İşletmesi	Derince
11	Karayolları Tavşanlı Asfalt Tesisi	Körfez	29	Petrol Ofisi A.Ş. Derince Tesisleri	Derince
12	Diler Demir Çelik Endüstri ve Ticaret A.Ş. Liman Tesisi	Körfez	30	Shell A.Ş. Derince Tesisleri	Derince
13	Nuh Çimento San. A.Ş. Liman Tesisleri	Körfez	31	Koruma Klor Alkali San. Ürün ve Tic. A.Ş.	Derince
14	Evyap Deniz İşletmeciliği Lojistik ve İnşaat A.Ş. Liman Tesisi	Körfez	32	Aktaş dış ticaret A.Ş.	Derince
15	GÜBRET AŞ Liman Tesisleri	Körfez	33	Limas Liman İşletmesi A.Ş.	Başiskele
16	Marmara Transport Tersane	Körfez	34	Autoport Liman İşletmeleri A.Ş.	Gölcük
17	Rota Liman Hizmetleri A.Ş.	Körfez	35	Ford Otomotiv San. A.Ş. Oyak NYK RO-RO Liman İşletmeleri A.Ş.(İnşaat halinde)	Gölcük
18	TP Yarımca Akaryakıt Dolum Terminali	Körfez	36		Körfez

Ek-B

Giriş bölümündeki İzmit Körfezinde bulunan vapur iskeleleri listesi.

Tablo B.1. İzmit Körfezindeki vapur iskeleleri ile buldukları ilçeler.

İskele adı	Bölge
Darıca Vapur İskelesi	Darıca
Gebze Eskihsar Feribot İskelesi	Gebze
Hereke İskelesi	Hereke
Derince İskelesi	Derince
Tütünçiflik İskelesi	Tütünçiflik
İzmit İskelesi	İzmit
Gölcük İskelesi	Gölcük
Değirmendere İskelesi	Gölcük
Karamürsel İskelesi	Karamürsel
Altınova Negmar Tavşanlı İskelesi	Altınova
Altınova Topçular Feribot İskelesi	Altınova

Ek-C

İzmit Körfezi Kıyı İçi Su Basma Mesafeleri ve Tsunami Tırmanma Yükseklikleri bölümündeki körfez içerisinde seçilen noktaların koordinatları.

Tablo C.1. İzmit Körfezi boyunca seçilen noktaların koordinatları.

Nokta	Enlem	Boylam	Nokta	Enlem	Boylam	Nokta	Enlem	Boylam
1	40,755	29,354	39	40,745	29,766	77	40,713	29,737
2	40,757	29,366	40	40,742	29,778	78	40,711	29,719
3	40,756	29,378	41	40,745	29,792	79	40,708	29,707
4	40,753	29,390	42	40,747	29,801	80	40,707	29,695
5	40,758	29,400	43	40,750	29,812	81	40,704	29,681
6	40,763	29,410	44	40,749	29,824	82	40,703	29,672
7	40,766	29,421	45	40,748	29,840	83	40,702	29,661
8	40,769	29,430	46	40,750	29,847	84	40,698	29,649
9	40,769	29,445	47	40,754	29,858	85	40,696	29,639
10	40,770	29,457	48	40,758	29,868	86	40,696	29,627
11	40,772	29,468	49	40,760	29,881	87	40,694	29,616
12	40,777	29,479	50	40,760	29,890	88	40,693	29,605
13	40,780	29,490	51	40,759	29,907	89	40,691	29,593
14	40,780	29,502	52	40,761	29,916	90	40,689	29,581
15	40,772	29,511	53	40,759	29,927	91	40,688	29,570
16	40,767	29,517	54	40,755	29,938	92	40,687	29,559
17	40,763	29,528	55	40,746	29,941	93	40,694	29,549
18	40,769	29,543	56	40,738	29,941	94	40,703	29,542
19	40,772	29,553	57	40,728	29,940	95	40,709	29,536
20	40,769	29,563	58	40,718	29,935	96	40,714	29,508
21	40,768	29,575	59	40,717	29,924	97	40,731	29,517
22	40,772	29,586	60	40,715	29,913	98	40,741	29,515
23	40,776	29,596	61	40,716	29,901	99	40,731	29,507
24	40,781	29,609	62	40,715	29,891	100	40,725	29,497
25	40,783	29,616	63	40,717	29,879	101	40,723	29,484
26	40,779	29,628	64	40,725	29,872	102	40,717	29,476
27	40,776	29,641	65	40,727	29,860	103	40,707	29,468
28	40,778	29,652	66	40,728	29,850	104	40,695	29,455
29	40,778	29,664	67	40,726	29,842	105	40,692	29,443
30	40,777	29,676	68	40,722	29,831	106	40,691	29,432
31	40,778	29,688	69	40,725	29,822	107	40,690	29,419
32	40,775	29,703	70	40,729	29,806	108	40,696	29,405
33	40,774	29,713	71	40,728	29,799	109	40,700	29,397
34	40,770	29,723	72	40,723	29,792	110	40,700	29,387
35	40,771	29,734	73	40,720	29,778	111	40,700	29,377
36	40,766	29,746	74	40,718	29,771	112	40,690	29,364
37	40,760	29,752	75	40,717	29,756			
38	40,751	29,759	76	40,715	29,745			

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Ulutaş E., **Çayır U. A.**, Prens Adaları Fayı Deprem Kaynak Parametreleri Kullanılarak Marmara Denizinde Tsunami Modellemesi, *IMASCON*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018, 252-256.



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Utku ayır Ankara Dikmen Anadolu Meslek Lisesi'nden 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı.

