1.GENEL

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada; Marmara Denizi'nde olası tsunamilerin, kıyıdaki etkilerinin ortaya konulmasını ve bu sayede tsunami riskinin ve etkilerinin azaltılması için tsunami uyarı sisteminin uygunluğunun irdelenmesini, uygun arazi kullanımı için gerekli analizlerin yapılabilmesini sağlayacak "Tsunami Tehlikesi Haritası" üretimini amaçlanmıştır. Bugüne kadar İstanbul için az sayıda geçmiş tsunami dokümanı bulunması ve Kuzey Anadolu Fayı'nın yanal atımlı karakteri nedeniyle tsunami yaratmaya yatkın olmadığı yönündeki iddialar sebebi ile Tsunami Tehlikesi hazırlığı hususunda ne yazıkki yeterli bilince sahip olunamamıştır. Ancak, Marmara Denizi'ndeki denizaltı heyelanlarının neden olabileceği tsunami olasılığına göre "Tsunami Tehlikesi Analizi" üzerine yapılan bu proje ve 2004 Sumatra'daki büyük tsunami olayı, İstanbul'da yaşayan insanların tsunami konusunda daha bilinçli olmaları ve uyarılmaları gerektiğini ortaya koymuştur.

1.2 Çalışma Organizasyonu

Tsunami Tehlikesi Analizi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü'nün Mikrobölgeleme Projeleri kapsamında hazırlanmıştır. Animasyon ve video görüntülerinin hazırlanması ise, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından gerçekleştirilmiştir.

1.3 Çalışma Yöntemleri

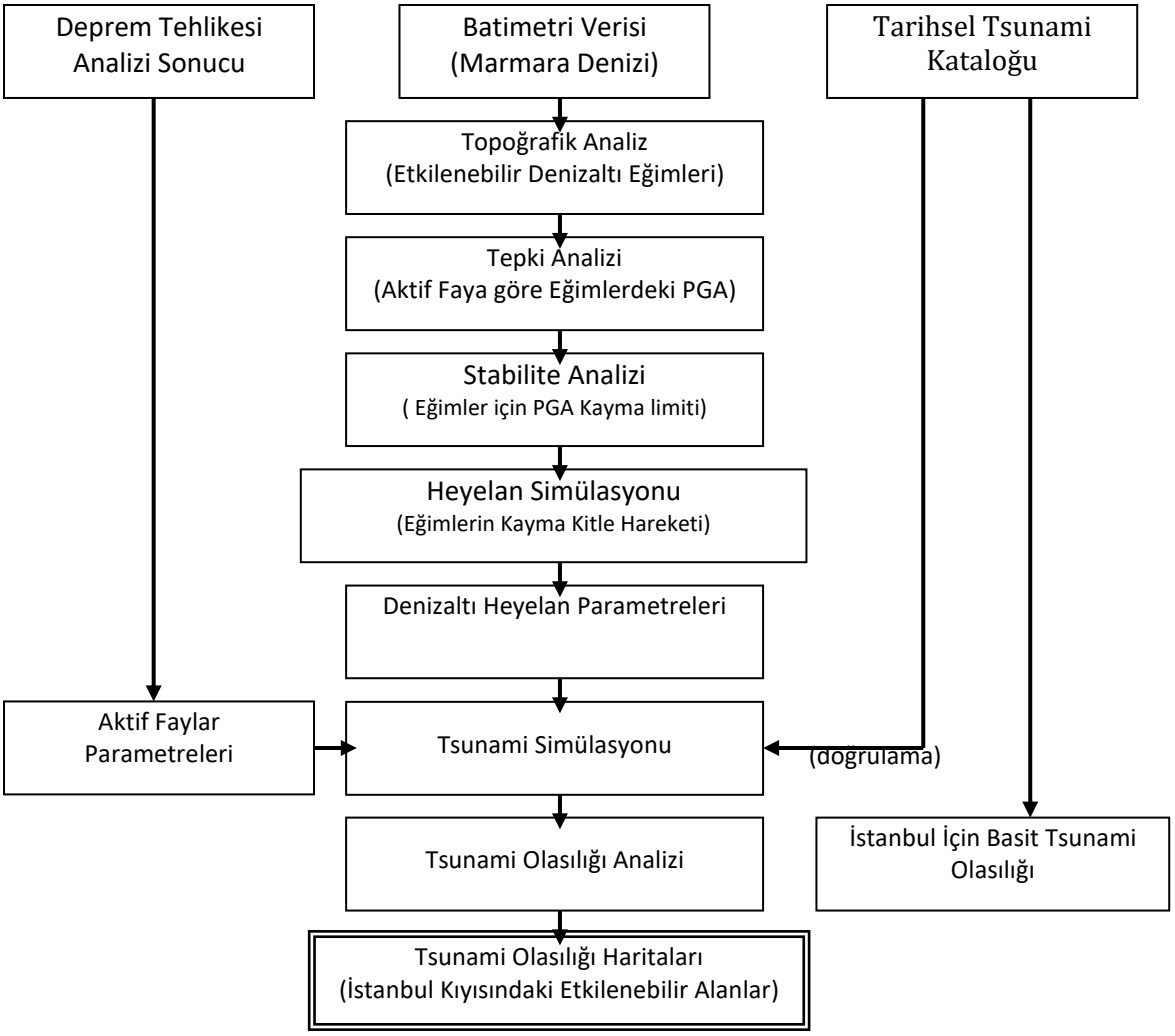
Tsunami ile ilgili halen önemli bilgiler yetersiz olsa da, Marmara Denizi için sadece aktif fayları değil, tsunamileri tetikleyen denizaltı heyelanlarını da içerecek şekilde bir tsunami analizi gerçekleştirilmiştir. Özellikle tsunami meydana getiren denizaltı heyelanı için, tsunami kaynağı olarak heyelan simülasyonu kullanıldığından ve bu noktadaki bilinmeyenler devam ettiğinden, İstanbul ve Marmara Denizi içerisinde tsunami felaketini azaltmaya yönelik daha ileri ve detaylı çalışmaların yapılması gereklidir.

Benzetim (Modelleme); Bu çalışmada; tsunami oluşturabilecek bölgelerin doğru tahmin edilmesi ve zamanında saptanması için, su düzeyi, yer hareketleri verileri ile gözlemlerden yararlanılarak, gerçek zamanlı ve birbiri ile etkileşimli algoritmalar geliştirilip, modellemeler yapılmıştır.

Tsunaminin oluşması, hareketi, kıyılara doğru ilerlemesi, körfez, koy ve limanlardaki hareketleri, kıyılarda yaratacağı yükselmeleri, tsunami simulasyonları için kullanılan sayısal modeller,

kıyılarda ve sığ sularda yaratacağı akıntıların sürükleme gücü, su düzeyi yükselmeleri ve yapı özelliklerine bağlı olarak oluşacak hasar düzeylerini hesaplamak için sayısal modeller geliştirilmiştir. Marmara kıyılarının geçmişte tsunamilere maruz kalmış olduğu bir gerçektir. Bu nedenle benzerine, günümüzde yoğun kullanım altında bulunan kıyılarımızın tekrar maruz kalması söz konusu olabilir.

Senaryolar; Marmara Denizinde olası tsunami oluşmasına yol açabilecek 49 ayrı senaryo incelenmiştir. Bu senaryolarda, Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi'ndeki Kuzey ve Güney kolları üzerindeki depremler ve fay hareketleri, ayrıca da Marmara Denizi'ndeki çeşitli bölgelerde saptanan olası zemin kaymalarına (heyelanlar) bağlı çeşitli kombinasyonlarla ortaya çıkabilecek deniz tabanı hareketleri ile depreşim dalgası oluşması modellenmişitr.



Şekil 1.1. Tsunami Tehlikesi Analizi Akışı

2. TARİHSEL TSUNAMİ

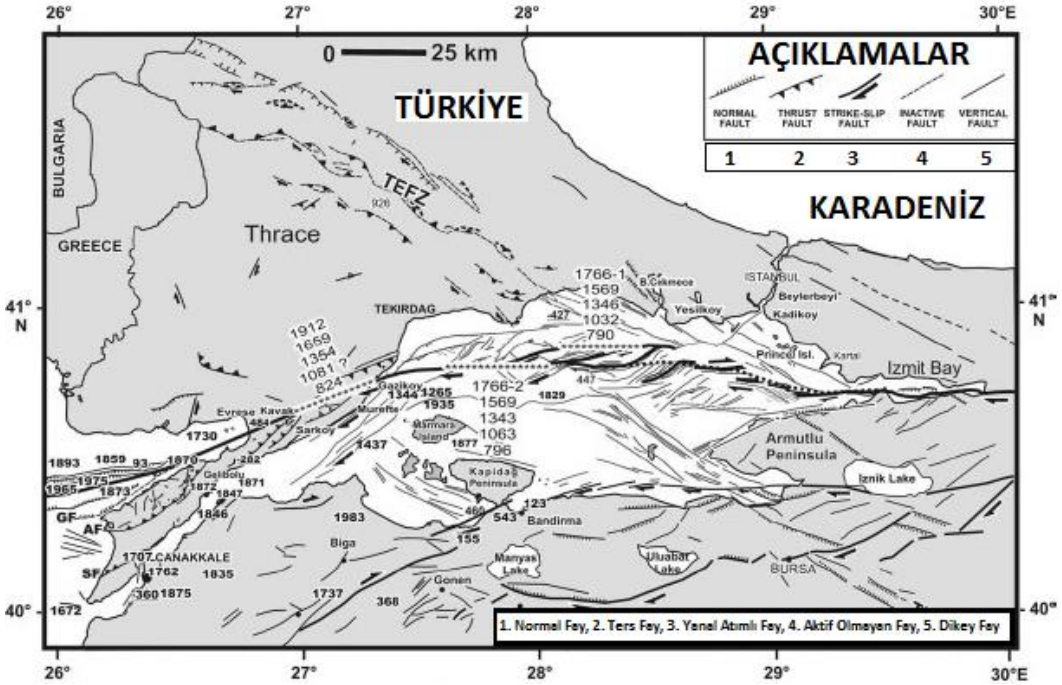
2.1 İstanbulda Tarihsel Tsunamiler

Yakın zamana kadar İstanbul'da yaşayan insanlar, tsunamiler hakkındaki bilgi yetersizliği sebebiyle, tsunamiler hakkında gerektiği kadar bilinç sahibi değildirler. Fakat bugünlerde sadece 2004 Sumatra'daki tsunami trajedisi değil, Marmara Denizi için hazırlanan tsunami kataloğu da, insanların tsunami afeti hakkında bilinçlenmesine neden olmuştur.

2.2 İstanbul Tsunami Kataloğu

Yukarıda belirtildiği gibi, Türkiye ve Marmara Denizi için, Soyal ve diğ. (1981), Altinok ve diğ. (2000, 2001) ve Altinok (2006a, 2006b) gibi çeşitli tsunami katalogları, eski zamanlarda oluşan tsunami olaylarını göstermektedir. Şekil 2.1, Marmara Denizi'ndeki tarihsel tsunamilerin dağılımını göstermektedir (Altinok, 2006b). Altinok (2006b)' ye dayanılarak, İstanbul için 20 yüzyıllık süre zarfında 30 tarihsel tsunami tanımlanmıştır.

Tsunami kataloglarına dayanarak, İstanbul'un uzun süreler boyunca, çeşitli tsunamiler tarafından vurulmuş olduğu açıkça söylenilebilir. M.S 1500'den önceki kayıtlar, az ve sınırlı olmasına rağmen, Tablo 2.1 Altinok (2006a)'a göre önemli tarihsel tsunamilerin İstanbul'a etkilerinin özetini göstermektedir. Tarihsel olarak, İstanbul'daki 1509 Depremi sebebiyle oluşan 6 m yükseklik (tırmanma yüksekliği) maksimum yüksekliktir ve ikinci olarak 1894 Depremi sebebiyle oluşan yaklaşık 4 ila 4.5m Tsunami tırmanma yüksekliği gelmektedir.



Şekil 2.1 M.S 120 ile 1999 arasında aralıklar ile Marmara Denizi'ndeki Tarihsel Tsunamiler (Altinok, 2003).

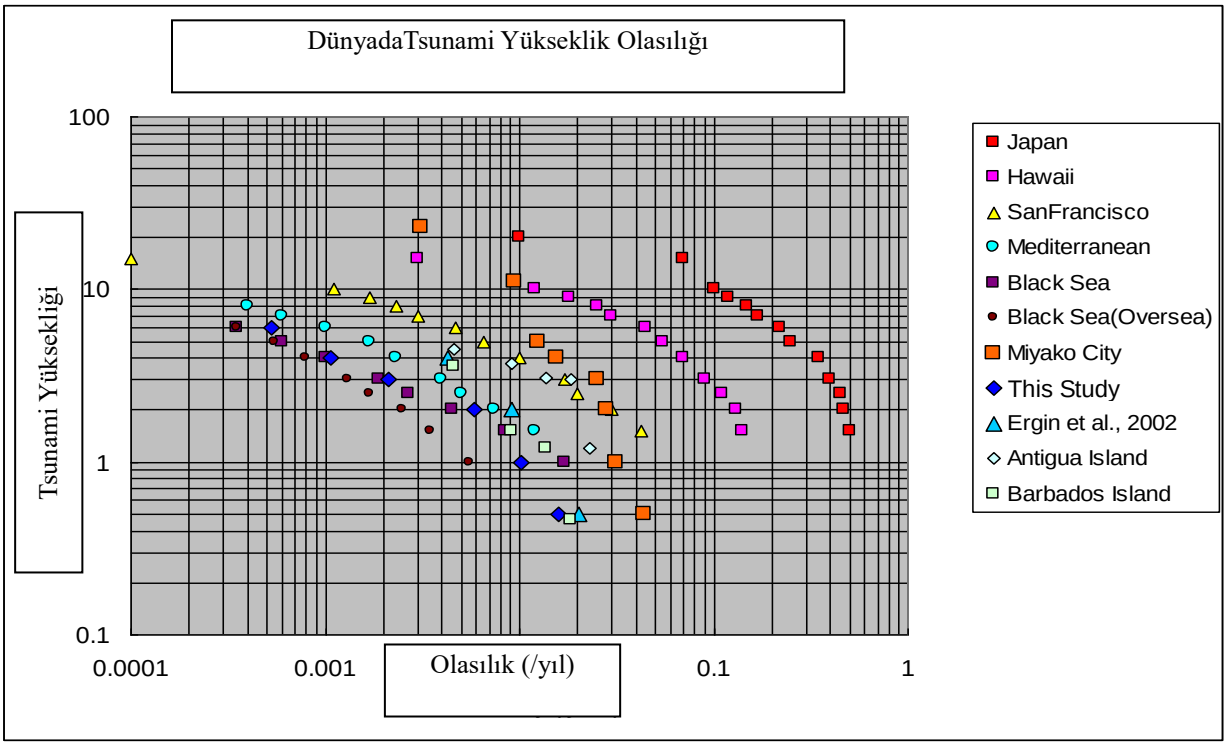
Tablo 2.1 İstanbul'da önemli Tarihsel Tsunamiler (Altinok, 2006a)

No.	Tarih	Bölge	Açıklamalar
1	417	İstanbul	Bir Tsunami pek çok geminin batmasına sebep oldu.
2	545/08	Istanbul	Boğaziçi kıyılarında meydana gelen gel-git dalgasında pek çok kişi boğuldu.
3	549/01	İstanbul	Deprem oldukça büyük dalgalar oluşturdu.
4	740/10/26	Marmara Denizi, İstanbul, İzmit, İznik gölü	Deniz, normal sınırlarının gerisine çekilmiş ve bu durum bazı şehirlerin sınırlarını değiştirmesine neden olacak kadar şiddetli olmuştur.
5	1332/01/16	Marmara Denizi, İstanbul	Depremin yol açtığı Şehir duvarlarını aşan büyük dalgalar sonrası fırtına hızlanmış ve dalgalar duvarları yıkabilecek yüksekliğine ulaştığında bütün duvarlar yıkılmıştır.
6	1343/10/18	Marmara Denizi, İstanbul, Trakya Kıyıları, Gelibolu, Marmara Ereğlisi	Tsunami dalgaları İstanbul Boğazına ulaşmış ve Beylerbeyi'ni (stauros) etkilemiştir. Deniz kabarmış ve düz kıyı ovalarına yaklaşık 2-2.2km kadar taşmıştır. Sahil ve kıyı kesimlerde demirlemiş tekneler tahrip olmuştur. Balıklar, bazı sürüklenmiş çiftlik hayvanları ve hatta insanlar deniz çekildikten sonra ölü bulunmuşlardır.
7	1509/09/10	İstanbul, Marmara kıyısı	Maksimum Tsunami Tırmanma yüksekliği 6m idi. (Bu İstanbul için bilinen rekor yüksekliktir.) Dalgalar Yenikapı duvarlarını aşmıştır. Aksaray sular altında kalmıştır. Deniz suyu taşkını, İstanbul ve Galata duvarlarını geçerek sokakları işgal etmiştir.
8	1766/05/22	istanbul, Marmara Denizi	İzmit ve Galata sular altında kaldı. Beşiktaş ve İstanbul Boğazının iç kısımları dalgalara maruz kalmıştır. Rıhtımı kaplayan deniz Galata ve karşısındaki sahili sular altında bırakmış, iskeleler batmıştır. İzmit kıyısındaki yerleşim yerleri deniz dalgaları sebebiyle ağır hasara uğramıştır.
9	1894/07/10	İstanbul	Yaklaşık 4.5m'lik tırmanma yüksekliğine neden olmuştur. Yeşilköy'de deniz 100m çekilmiştir. Bunun ardından 3 sıra evi sular altında bırakmıştır. Deniz Haliç'e girmiş, Karaköy (4m) ve Azapkapı Köprüsü'nü (4.5m) sular altında bırakmıştır. Deniz yerel olarak Cam limanındaki Heybeli Ada'dan (Halki) 15m'ye kadar çekilmiş ve şiddetli olarak geri gelmiştir. Deniz ilk olarak Büyük ve Küçükçekmece arasındaki sahil boyunca çekilmiş ve 5 dakika sonrasında sert bir dalga şeklinde geri gelerek tekneleri karaya atmış ve rıhtımları sökmüştür. Tsunamiler Büyükçekmece ve Kartal arasında gözlemlenmiştir.
10	1912/08/09	Şarköy-Mürefte, İstanbul	Yeşilköy'de yaklaşık 2.7m tırmanma yüksekliğine yol açmıştır. Deniz, Yeşilköy'deki botları 2.7m yüksekliğe kadar çıkarmıştır. Yüksek su, Hidiv Paşa'nın Paşabahçe'de demirli "Mahrussa" adlı yatını tahrip etmiştir.
11	1999/08/17	İzmit Körfezi	Genel tsunami etkileri İzmit Körfezi'ndedir. İstanbul Boğazında sadece ufak çaplı etkileri vardır. Maksimum tırmanma yüksekliği Değirmendere'de 4.4m'dir. Heybeliada'da bazı insanlar denizin garip hareketine tanık olmuşlardır. Feribot, Topçular'dan 2.6 metre uzakta denize çökmüştür.

3. TSUNAMİ TEHLİKE ANALİZİ

3.1 İstanbul için Basit Tsunami Olasılığı

Yukarıdaki verilmiş olan Tsunami seçimlerine dayanılarak, basit bir tsunami olasılığı hesaplanmıştır. Ergin vd. (2006) bu hesaplamayı daha önce gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, deprem katalog makalelerini ve her tsunami oluşumu için tsunami yoğunluklarının yeniden değerlendirilmesini içermektedir. Ayrıca; Japonya, Hawaii, California, Akdeniz, Karadeniz, Karayipler gibi dünyadaki benzer basit tsunami tırmanma yüksekliği olasılıkları da çalışmaya eklenmiştir. Bunlar Şekil 3.1'te gösterilmektedir. İstanbul için hesaplanan olasılık, Barbados Adaları yada Karayipler, Akdeniz ve Karadeniz ile benzer ve Japonya ile Hawaii'ye göre daha küçüktür. Tablo 3.1 sonuçları özetlemekte ve İstanbul için tsunami tırmanma yüksekliklerinin geri dönüş (tekrarlama) dönemleri 1-2m için 100 yıl, 2-4m için 200 yıl ve 4-8m için 400 yıl olarak tanımlanmıştır. Buna rağmen bu tırmanma yüksekliği, kıyı boyunca oluşan topoğrafik değişiklikler ve tsunami kaynaklarının karakteristiklerinin neden olduğu yükseklikler olarak çeşitlendirilmelidir.



Şekil 3.1 Basit Tsunami tırmanma (run-up) olasılığı analizi sonucu (CAO (2005), Pararas (1997), Solviev ve diğ.(2001), Ranguelov(2003), Zahibo ve diğ. (2001), Landers ve diğ. (2000).. vb sonrası)

Tablo 3.1 Tsunami Tırmanma (run-up) Yüksekliği için Basit Olasılık Analizi sonuç özeti

Yineleme Yılları	10	50	100	200	500
Marmara Denizi(İstanbul)	-	0.5-1m	1-2m	2-4m	4-6m
Akdeniz	-	0.5-1m	1-2m	2-4m	4-5m
Japonya	10m	15m	20m	20-30m	20-30m
Karayipler	-	0.5-2m	2-4m	4-6m	4-6m

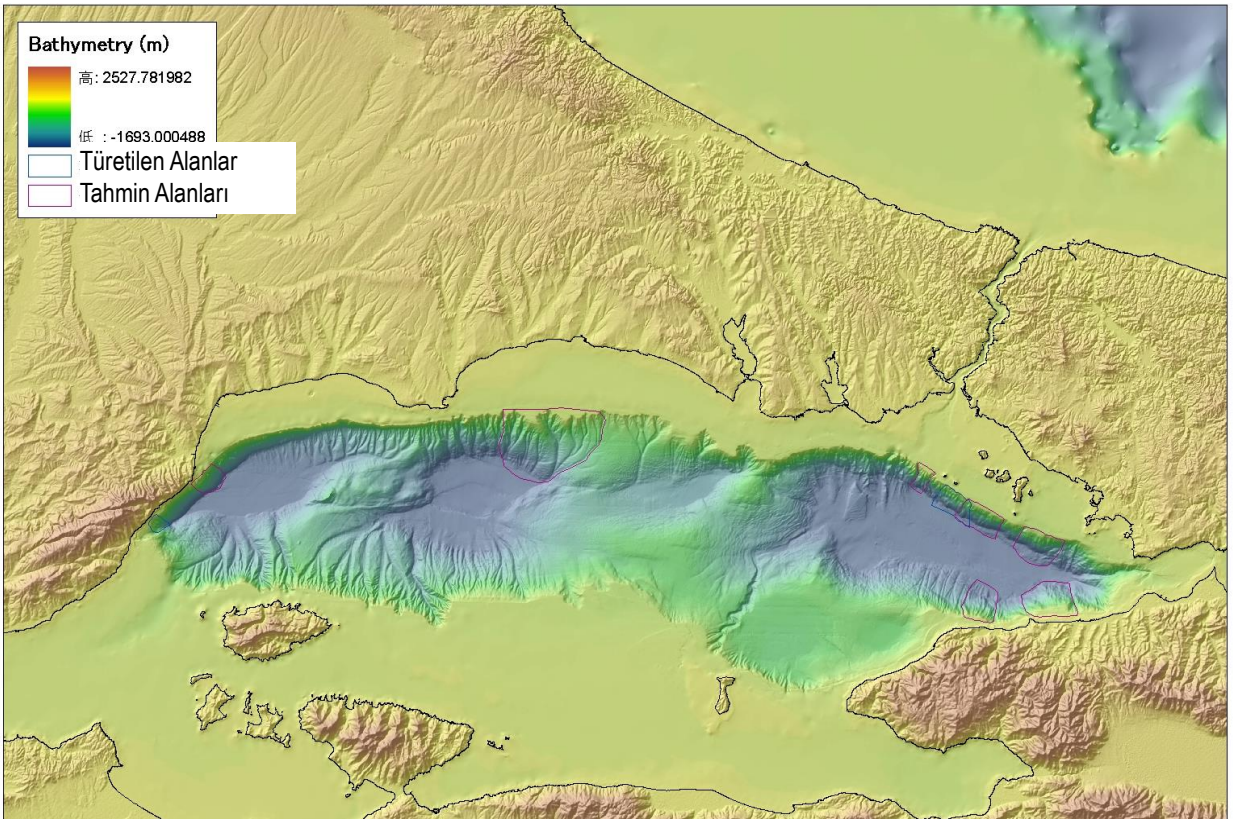
3.2. Marmara Denizi'ndeki Tsunami Yaratabilecek Denizaltı Heyelanları

3.2.1 Topoğrafik Analiz

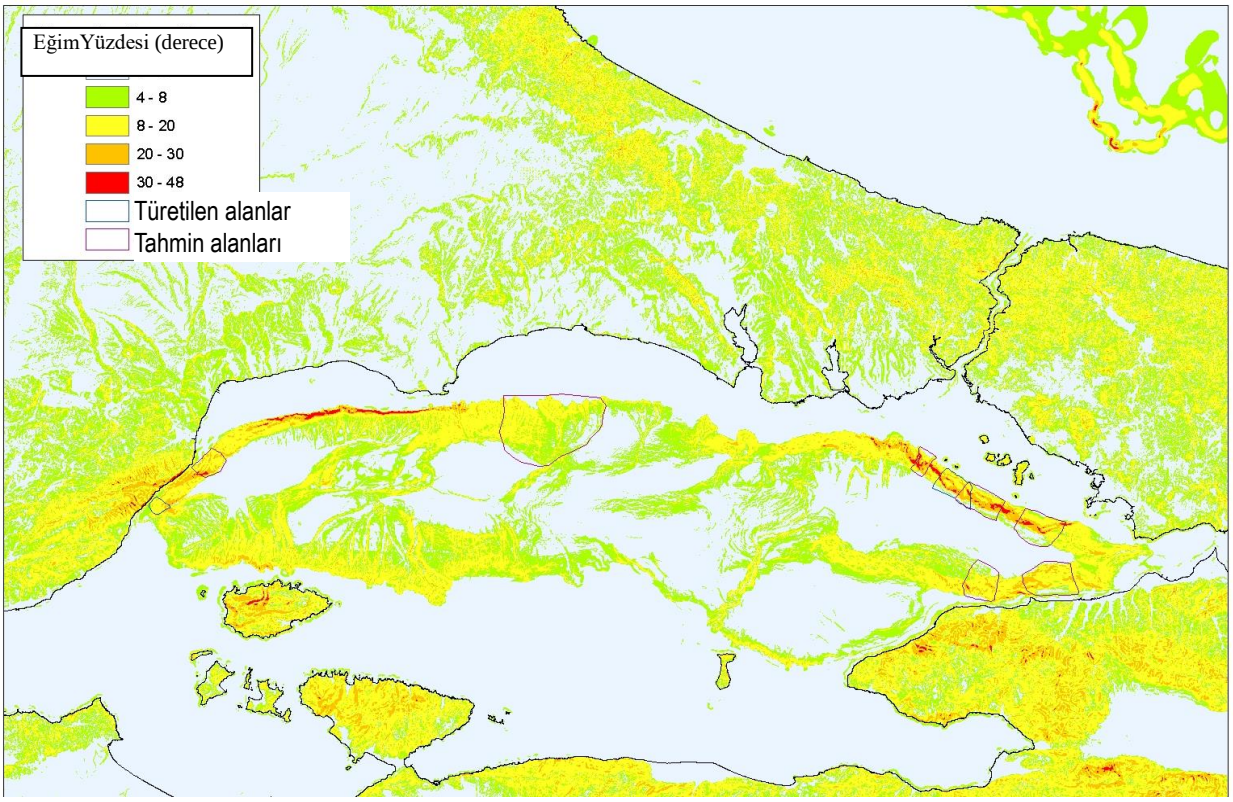
Topoğrafik analiz; geçmiş ve güncel topoğrafya, jeoloji, tektonik gibi çeşitli bilgiler ve ilgili materyallere dayanarak, geçmiş topoğrafi hareket ve aktivitelerini analiz etmeyi amaçlar. Bu analiz, 20m lik gridler, üç boyutlu stereoskopik görüntü ile Marmara Denizi'ndeki batimetri bilgileri, İstanbul içi ve etrafındaki jeoloji ve zemin bilgileri, aktif fay hareketleri, Kuzey Anadolu Fayı boyunca deprem hareketleri gibi tektonik bilgiler ve McHugh ve diğ. (2006) ile Çağatay ve diğ. (2003)'ın Paleo heyelan verileri kullanılarak, Marmara Denizindeki geçmiş ve günümüzde tsunamiye neden olabilecek etkilenebilir (hassas) eğimlerin tanımlanmasını amaçlamaktadır.

Üç boyutlu görüntüler, topoğrafik yapıya göre etkilenebilir (vulnerable) eğimlerin belirlenmesi için üretilmiş ve kullanılmıştır. Şekil 3.2 TÜBİTAK (2005)'ın batimetri haritasını göstermektedir ve Şekil 3.3 tespit edilmiş eğimler ile batimetri verilerinden türetilen eğim dağılımını göstermektedir. Esas kriterler tepelerin sürekliliği, ani diklikler (uçurumlar), yamaçta çatlaklar, döküntü (debris) durumu ve 10 dereceden büyük yamaçların varlığı ve 400 metreden fazla kot farklılıkları gibidir. Öncelik açısından yamaç ölçeği seçiminde 5 km den uzun olan ve 0.5 km^3 hacimler, Hebert ve diğ. (2005)' e de atıfta bulunulmuş ve tsunami simülasyon neticelerinde kullanılmıştır.

Son olarak, aşağıdaki 10 saha tipik etkilenebilir veya duyarsız heyelan sahaları olarak seçilmiştir. Sürecin doğrulanması açısından ilk kategori üç sahanın yeniden üretilmesi ve diğer kategoriler ise yeni hasar görebilir, birbaşka değişle mevcut durumda stabil olmayan ve gelecek depremlerle kayması muhtemel alanların incelenmesidir. Bu alanlar, Şekil 3.4 ve Tablo 3.2'de gösterilmektedir.



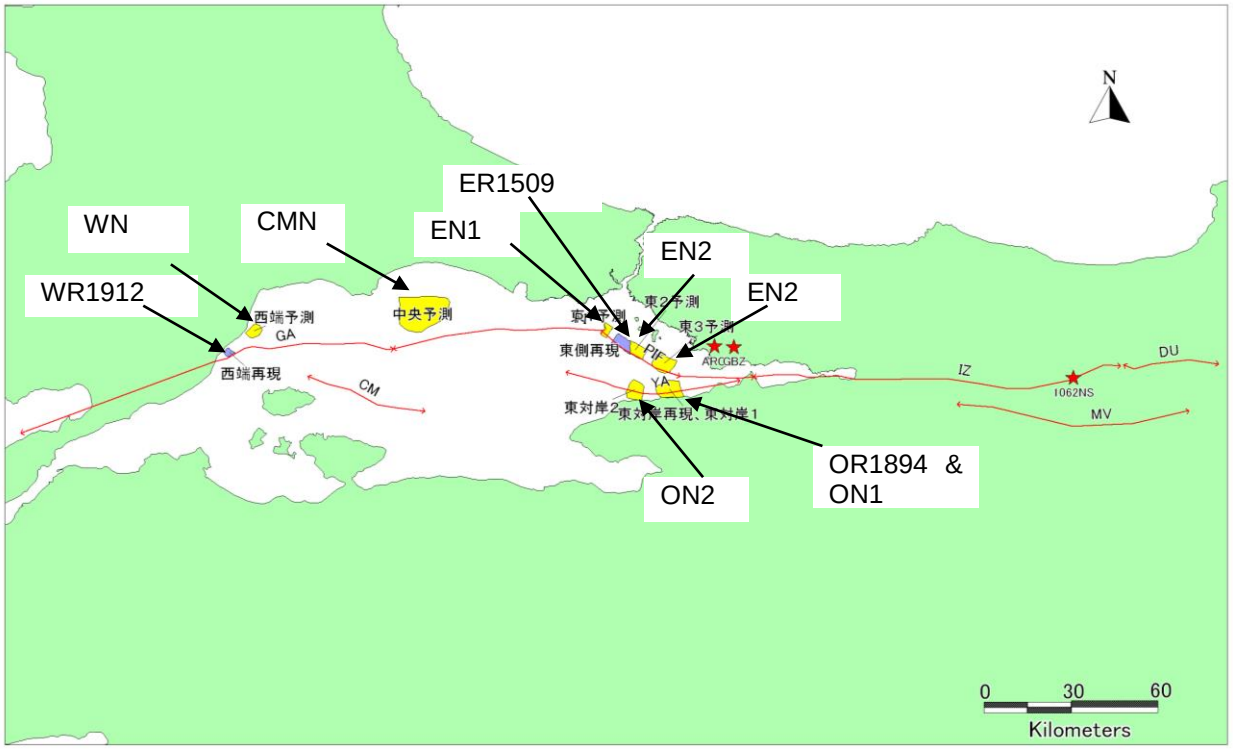
Şekil 3.2 Marmara Denizi çevresinin Batimetri ve Topoğrafyası



Şekil 3.3 Marmara Denizi çevresinin Eğim Haritası

Tablo 3.2 Marmara Denizi'ndeki seçilmiş etkilenebilir yamaçlar

Tip	No.	Eğim	
Geçmiş Depremlerin Yeniden oluşturulması	**1**	**WR1912**	Tekirdağ Baseni batı yakası 1912 Ganos Depremi'nin sebep olduğu kaymanın yeniden oluşturulması
	2	**ER1509**	Kuzey Çınarcık Baseni doğu yakası 1509 depreminin sebep olduğu kaymanın yeniden oluşturulması
	3	**OR1894**	İstanbul'un karşı yakası Güney Çınarcık Basenin doğu yakası. 1894 depreminin sebep olduğu kaymanın yeniden oluşturulması
Gelecekteki Tahminler	**4**	**WN**	Tekirdağ Baseni batı yakası
	5	**CN**	Merkez Basenin orta kısmı
	6	**EN1**	Kuzey Çınarcık Baseni doğu yakası
	7	**EN2**	Kuzey Çınarcık Baseni doğu yakası
	8	**EN3**	Kuzey Çınarcık Baseni doğu yakası
	9	**ON1**	Güney Çınarcık Baseni İstanbul'un karşı yakası (yukarıdaki 3 no'lu alana benzer şekilde)
	10	**ON2**	Güney Çınarcık Baseni İstanbul'un karşı yakası



Şekil 3.4 Marmara Denizi'nde seçilmiş etkilenebilir yamaçların lokasyonları

3.2.2 Tepki Analizi

Sismik tepki analizi, denizaltı heyelanının tsunami simülasyonunun İstanbul Şehri'nin sahil kesimleri için uyarılmış olanlarının topoğrafik analizinden seçilen 10 hedef alanda gerçekleştirilmiştir. Zemin modelleri, girdi hareketi, bu projenin jeolojik inceleme sonuçlarına ve JICA (2002) raporuna dayanılarak hazırlanmaktadır. Hesaplama metodolojisi için tek boyutlu yarı doğrusal olmayan tepki analizi, "SHAKE programı ile benzerlik taşıyan "DYNEQ (Yoshida ve diğ., 2004)'te kabul edilmiştir.

Her hedef alandaki depremlerin neden olduğu anakaya ivmeleri, Sismik Tehlike Haritası Analizi ile aynı olan, üç sönümlenme denklemi ile tahmin edilmiştir ki bunlar Campbell ve diğ.(1997), Boore ve diğ.(1997) ve Sadigh ve diğ. (1997)'dir. Bu üç sönümlenme denkleminden bir araya getirilen üç ivmenin ortalaması; Tablo 3.3'de gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Ana tabakada hedef depremlerin yol açtığı PGA

Fay \ Eğim	WR1912	WN1	CN1	ER1509	EN1	EN2	EN3	OR1894	ON1	ON2
PI	-	81	271	548	548	512	480	399	399	301
GA(1912)	570	474	227	-	59	50	45	-	42	50
(PI+GA)(1509)	606	511	334	606	606	571	540	460	460	364
YAN(1894)	-	28	64	-	173	245	309	624	624	573
PIN	-	25	55	573	573	530	492	-	398	291
CMN	-	154	98	-	48	43	38	-	38	48
max_acc (gal)	570	511	334	573	606	571	540	624	624	573

3.2.3 Duraylılık (Stabilite) Analizi

Maramara Denizi'ndeki etkilenebilir ve seçilmiş eğimler için, ne kadar PGA'nın eğimlerin kaymasına neden olduğunu gösteren duyarlılık (stabilite) analizi için aşağıdaki metod kullanılmıştır. Marmara Denizi'ndeki yamaç göçmesi (slope failure) her zaman daire kayma karakteri bozulmayan yüzey çamuru ile yumuşak kaya ve bazen kaya düşmesi ve yüzey kaymaları ve benzeri durumlardan oluşmaktadır. Buna rağmen, bu yıkım mekanizmaları tanımlanmadığı ve açığa kavuşturulması zor olduğundan Limit Denge (limit equilibrium) metodu kullanılmaktadır. Bu, en basit çözümlerden biridir ve göreceli olarak yamaçları duyarlılıklarını verir.

Bu metodun kullanılması için, c kohezyon katsayısı ve φ : sürtünme açıları (yada kayma mukavemet açısı) gibi zemin parametreleri ile Kh: yanal sismik katsayısı önemlidir. PWRI (2004) tarafından ortaya koyulan ampirik ilişkiye göre, Çağatay ve diğ. (2003) ve Mesri ile Shahien (2003) 'e atıfta bulunarak, heyelan alanındaki ayrışmış zemin/kaya kohezyon katsayısı ve kesme (kayma) direnç açısı yada katmanların sürtünme açısı hesaplanabilmektedir. Sismik duyarlığın değerlendirilmesi esnasında, pik yer ivmesi (PGA) yerine efektif sismik kuvvetin

kullanılması genel bir uygulamadır. Dolayısıyla, Tepki Analizinde hesaplanan PGA'lar, aşağıdaki PGA ve Kh arasındaki ilişki tarafından Kh'ye çevrilerek bu çalışmada analiz edilmiştir.

Kh = 0.1557*a/g+0.1109

Göçmüş olsun yada olmasın yamaçlardaki geçmiş örneklerin durumları düşünülerek, 7 etkilenebilir yamacın eğimin gelecekteki güvenliği aşağıdaki Tablo 3.4'te tahmin edilmiştir.

Tablo 3.4 Gelecekteki depremler için etkilenebilir yamaçlardaki güvenlik faktörü tahmin sonucu

Gelecek Tahminler için φ(°)'nın % 90 Azaltılması	Fay / Eğim	WN	CN	EN1	EN2	EN3	ON1	ON2
		Fs: Safety Factor ('-': obviously Fs exceed 1.0)						
	PI	-	1.20	0.994	1.18	0.990	1.03	1.08
	GA	1.08	1.24	-	-	-	-	-
	(PI+GA)	1.06	1.15	0.974	1.15	0.962	0.994	1.05
	YAN	-	-	1.24	1.34	1.07	0.916	0.958
	PIN	-	-	0.984	1.17	0.985	1.03	1.09
	CMN	1.33	-	-	-	-	-	-

Fs: Güvenlik Faktörü ('-': kesinlikle Fs 1.0'ı aşar)

3.2.4 Heyelan Simülasyonu

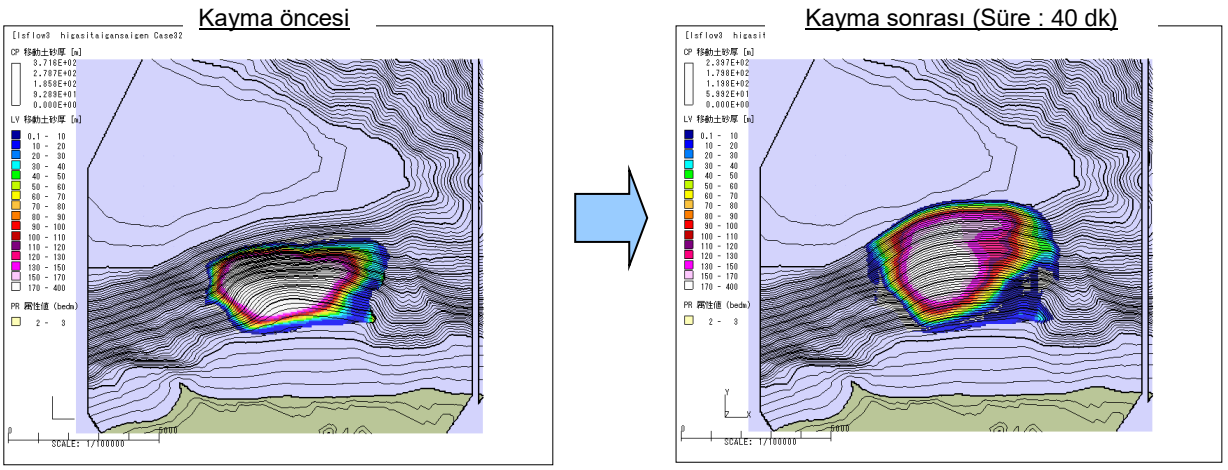
Seçilen etkilenebilir yamaçlar için, yarı-3D Heyelan Simülasyonu, kayan kütle hareket profillerinin elde edilebilmesi için gerçekleştirilmiştir. LSFLOW programı kullanılmıştır. Yoğunluk, kohezyon katsayısı, sürtünme açıları, dinamik akışkanlık vb. gibi zemin ve deniz suyu özellikleri hazırlanmıştır. Hesaplanan sonuçlar ise; akış hızı, hareketli kütlenin kalınlığı, zaman içindeki topoğrafik değişikliklerdir. Bu çalışma için bu özellikler Nakamura ve diğ.(1999) vb. atıfta bulunarak kabul edilen çeşitli ampirik değerlerdir. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 yamaç modellerinin özetini göstermektedir. Buna rağmen, CN durumu için, yamaç kaymamaktadır. OR1894 olayının bir örneği, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'de gösterilmektedir.

Tablo 3.5 Yamaç modellerinin özeti

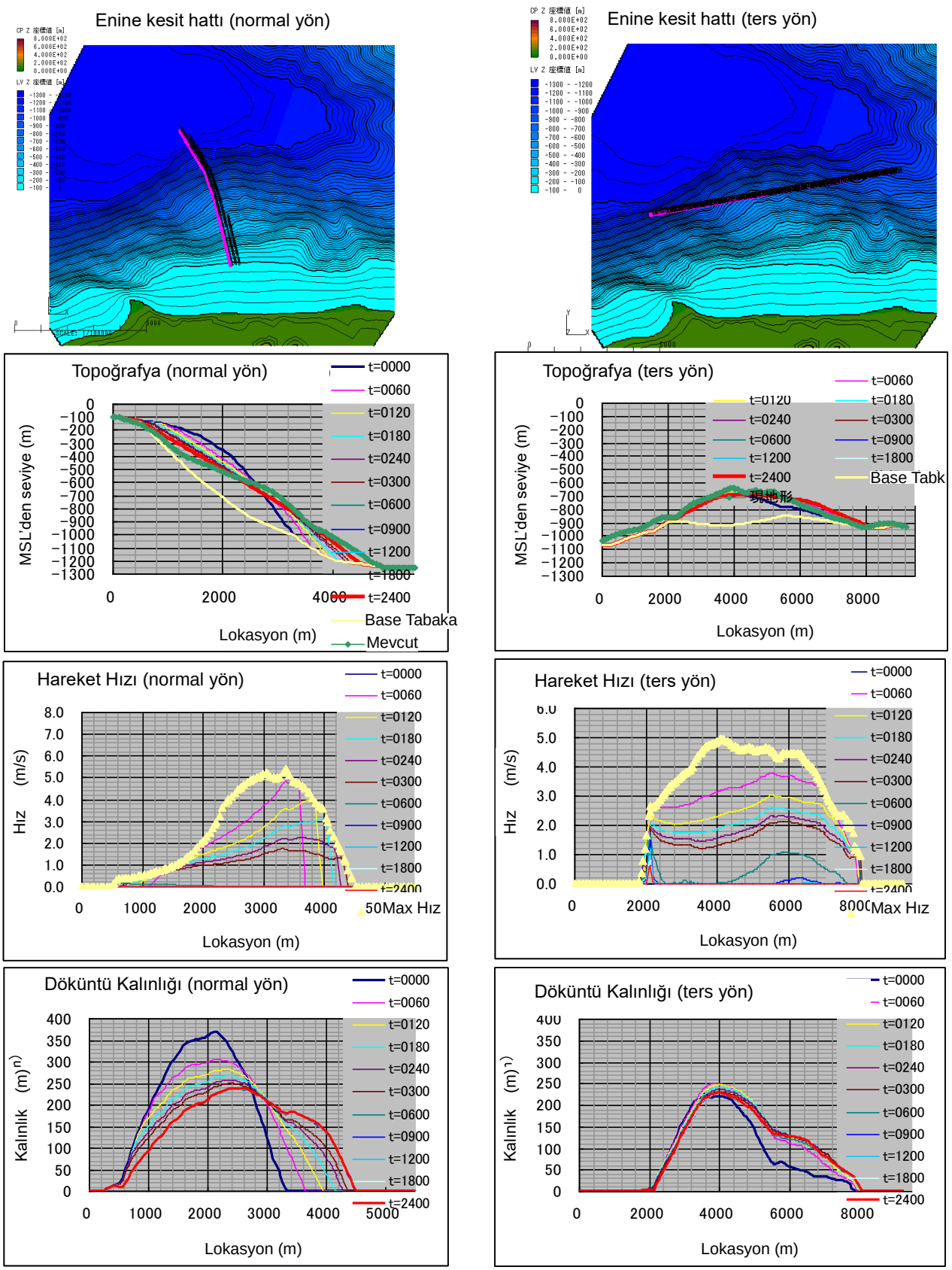
Eğim	Alan (km2)	Hacim (km3)	Ort.Kalınlık (m)	Max.Kalınlık (m)	Ort.Eğim (m)	Grid No	
						X	Y
OR1894	14.9	2.054	137.7	377	14.6	271	249
ER1509	12.1	0.664	55	129	19.3	299	299
WR1912	4.8	0.089	18.5	43.5	17.2	209	209
CN1	153.7	14.379	93.6	317	5.1	479	388
EN1	7.1	0.608	86	225.4	11.3	238	238
EN2	12.8	0.848	66.1	140	13	298	299
EN3	18.7	1.827	97.5	213	13.5	299	299
ON1	29.2	2.982	102.3	229.9	10.8	263	249
ON2	11.2	0.648	57.8	139.7	13	268	269
WN1	15.9	1.167	73.6	176	14	238	238

Tablo 3.6 Heyelan simülasyonu sonucu özeti

Eğim	Ana Profilde Ort. Hız(m/s)	Ana Profilde Max.Hız (m/s)	Max.Hız Zamanı (sn)	Max.Hareketli Hız(m)	Hareektli Mesafe (m)
OR1894	0.9	4.83	60	6.23	1200
ER1509	1.2	3.23	120	5.6	850
WR1912	0.6	3.72	60	4.45	1000
CN1	—	—	—	—	0
EN1	0.6	3.89	120	3.57	2000
EN2	0.7	3.01	480	5.9	1800
EN3	1.9	4.6	120	6.05	2200
ON1	0.3	2.82	180	9.97	1400
ON2	0.7	2.32	300	4.36	900
WN1	0.7	4.37	60	5.08	1600



Şekil 3.5 Zeminin hareket ettirilmeden önceki ve sonraki kalınlığının karşılaştırılması (OR1894)



Şekil 3.6 Topoğrafi ve hızın dağılımı (OR1894)

3.2.5 Tsunami Simülasyonu

Tsunami oluşumunu, yayılımın ve su baskınlarını hesaplayan tsunami simülasyonu, kaynak, yol ve saha verisi/modeli ile deprem simülasyonuna benzer hesaplama programı gerektirir.

3.3 Tsunami Simülasyonunun Hazırlanması

(1) Simülasyon Programı:

En fazla kullanılan ve bilimsel olarak tasdikli TUNAMI N2 (UNESCO (1997) & Imamura ve diğ 2006) programı seçilmiş ve Marmara Denizi vakasına uygulanması için dönüştürülmüştür. Seçilen senaryoların animasyonları tsunami simülasyonu ve görüntüleme kodu NAMI DANCE (Yalciner ve diğ., 2001, 2002) kullanılarak hazırlanmıştır.

(2) Batimetri Verisi (Şekil 9.5.2.1.1'de gösterilmiş olan):

Tsunami denizde yayılır ve deniz tabanı ile deniz yüzeyi arasındaki deniz suyu onun için bir ortam yaratır. Marmara Denizi için çeşitli batimetri verileri olması oldukça yararlıdır. En detaylı olanı 20m grid verisine sahip olan ve Fransız ölçümü ile TUBİTAK (2005)'e dayanan veridir. TUBİTAK'ın nazik teklifi sayesinde bu çalışmada bu verilerin kullanılabilmesi sağlanmıştır. Bu veriye dayanarak, tüm Marmara Denizi'nde 50m grid verisi yaratılmıştır.

(3) Topoğrafi Verisi (Şekil 9.5.2.1.1'de gösterilmiş olan):

İstanbul Belediyesi detaylı bir topoğrafi verisine sahiptir ve bu çalışma uydu ve hava fotoğrafı verilerine dayanarak 30-40 grid verisi kullanabilmektedir.

(4) Gel-Git Verisi:

Marmara Denizi'ndeki gel-git verisi İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) yolu ile elde edilmiştir. Zaman ve gün maksimumları bir yıl boyunca 50 cm den daha az bir aralıkta değişim gösterir. Simülasyon için ise bu miktar ihmal edilmelidir.

(5) Pürüzlülük (zemin yüzeyi sürtünmesi):

Su baskını yada tırmanma analizi için, yeryüzeyinin sürtünmesi yada pürüzlü olup olmadığı önem taşır. Katsayı ve arazi kullanımı arasındaki ilişki için Japonya'da kullanılan bir ilişki alınmıştır (Bkz. Tablo 3.7). İstanbul için bu çalışmada bina yoğunluğuna dayanılarak hesaplanmış ve çalışmaya uygulanmıştır.

Tablo 3.7 Tsunami simülasyonu için pürüzlülük katsayıları (Kotani 1999, CAO Japonya,2004 sonrası)

Arazi Kullanımı			Pürüzlülük Katsayıları
Yerleşim Alanları	İnşaat alanları için; normal alçak ya da orta yüksek binalı alanlar/ağır alçak yükseklikteki binalı/orta yüksek binalı alanlar ticari ya da işletme alanları	Bina/grid yoğunluğu 80－100% 40-80% 10-40%	 0.080 0.060 0.040
Fabrika Alanları	Fabrika sahası/ diğer kamu tesisi alanları		0.040
Tarım Alanları	Tahıl tarlası, zirai alanlar		0.020
Orman Alanları	Orman, dağ ormanı, sert alan		0.030
Su Alanları	Nehir, göl ve gölet, sahil, deniz suyu		0.025
Diğer Alanlar	Atık alanları, boş alanlar, yeşil alanlar, parklar, dolgu alanları yollar, golf alanları..vb		0.025

3.3.1 İstanbul için Tsunami Kaynakları

Tarihsel olarak depremlerin neden olduğu pek çok tsunami Marmara Denizi'nde meydana gelmiştir ve İstanbul tekrarlayan bir şekilde tsunami dalgalarının neden olduğu hasarlara maruz kalmıştır. Tsunami kaynağı olarak genelde aşağıdaki tanımlanan durumlar öngörülmektedir; 1) Fay yırtığının deniz tabanında neden olduğu yer değiştirme ve deformasyon, 2) denizaltı heyelanı. Fay yırtılması ile ortaya çıkan tsunami kaynakları aşağıda tartışılmaktadır.

Tsunami simülasyonu için, deprem ile yırtılan fayın yeri (lokasyonu), yer değiştirme miktarı ve yer değiştirme vektörü gibi kaynak parametreler tahmin edilecektir.

3.3.1.1 Marmara Denizi'ndeki Aktif Faylar İçin Tsunami Kaynakları

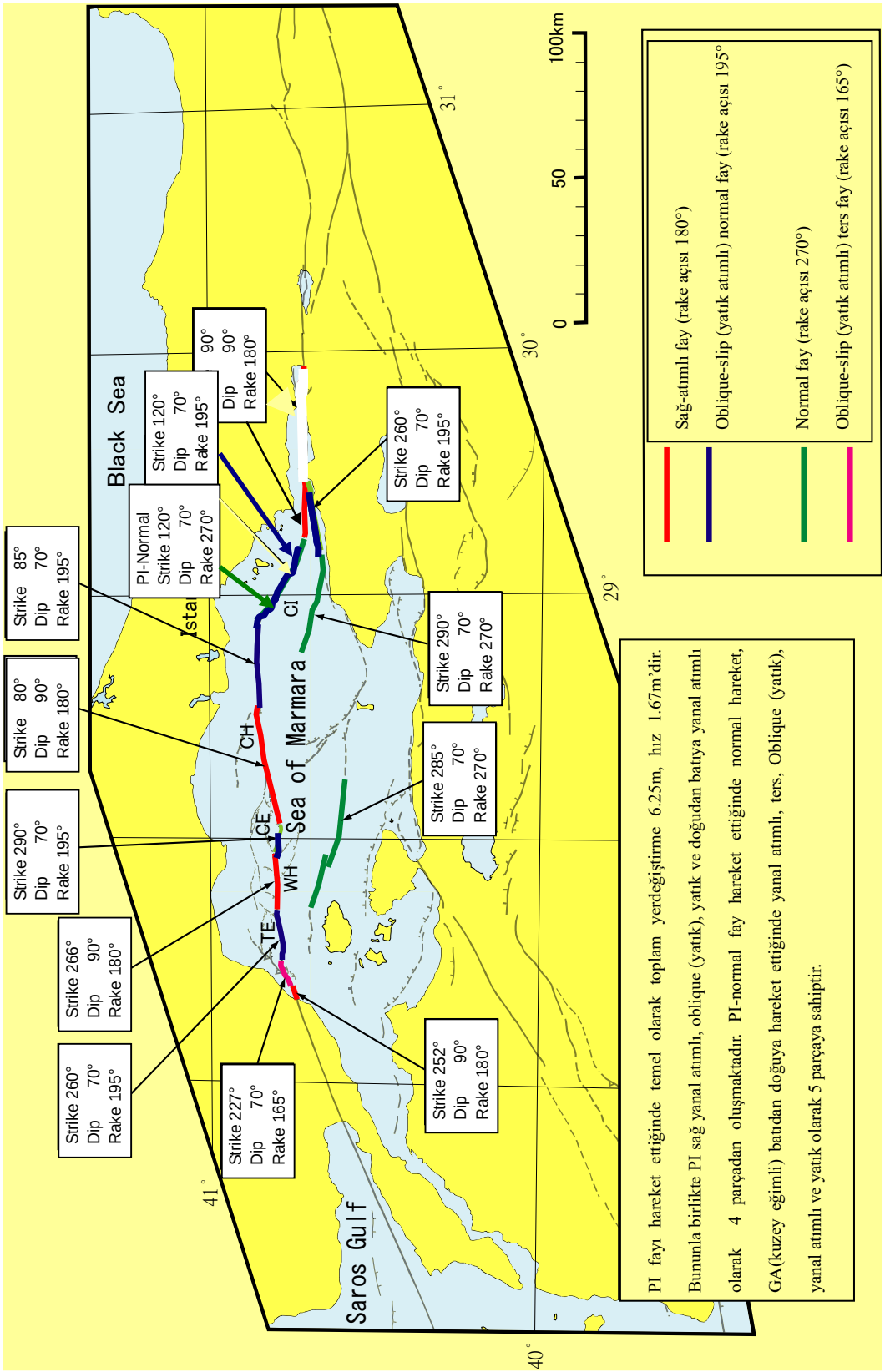
Bu analizin Deprem Tehlike Analizi'ne ve Armijo ve diğ. (2005), Ambraseys ve Finkel (1990, 1991, 1995), Alpar ve diğ. (2003), Altinok ve diğ. (2003) ile Altinok (2006a, 2006b) dayalı olarak tsunami yaratması açısından 5 aktif fay; Adalar Fayı (yanal atımlı), Ganos Fayı (genel olarak yanal atımlı), Yalova Fayı (normal) ve Merkez Marmara Fayı (normal) olarak belirlenmiştir. Bu fayların yerleri ve tsunami kaynak parametreleri Tablo 3.8 ve Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Özellikle, tsunami yüksekiğini genel olarak kontrol eden yerdeğiştirme normal bileşenler için Muller ve diğ. (2005)'e atıfta bulunularak 6.25m yatay ve 15 derece normal bileşeni olarak ayarlanmıştır.

Tablo 3.8 Marmara Denizi'ndeki aktif faylar için tsunami kaynağı makroskopik parametreleri

Fay	Tip	Derinlik Aralığı	Strike Açısı(°)	Dip Açısı(°	Rake Açısı(°)	Yerdeğiştirme		
						Yatay	Dikey	Topla
Pt: Adalar	Right-lateral	2-18 km	90 deg	90 deg	180 deg	6.25m	0m	6.25m
	Oblique-normal		120 deg	70 deg	195 deg		1.67m*	6.47m**
	Oblique-normal		85 degree	70 deg	195 deg		1.67m*	6.47m**
	Right-lateral		80 degree	90 deg	180 deg		0m	6.25m
GA: Ganos	Oblique-normal	2-18 km	290 degree	70 deg	195 deg	6.25m	1.67m*	6.47m**
	Right-lateral		266 degree	90 deg	180 deg		0m	6.25m
	Oblique-normal		260 degree	70 deg	195 deg		1.67m*	6.47m**
	Oblique-reverse		227 degree	70 deg	165 deg		1.67m*	6.47m**
	Right-lateral		252 degree	90 deg	180 deg		0m	6.25m
PIN: Adaların Bir Kısmı(floating)	Normal	2-18 km	120 deg	70 deg	270 deg	0m	3m	3m
YAN: Yalova Çıkışı (floating)	Oblique-normal	2-18 km	260 degree	70 deg	195 deg	6.25m	1.67m*	6.47m**
	Normal		290 degree		270 deg	0m	2m	2m
CMN: Marmara Merkez(floating)	Normal	2-18 km	285 degree	70 deg	270 deg	0m	2m	2m

3.3.1.2 Marmara Denizi'ndeki Denizaltı Heyelanı için Tsunami Kaynakları

Başlangıçta üzerinde durulduğu üzere, 7 hedef denizaltı heyelanı için şimdiye kadar yapılan ilk deneme, onların heyelan simülasyonu ile belirlenen hareket kütlesini, topoğrafyasını, şeklini ve zaman içindeki hızını içeren tsunami kaynak modelleridir (Bkz. Şekil 3.6).



Şekil 3.7 Marmara Denizi'ndeki aktif faylar için dağılım ve parametre ayarlamaları

3.3.3 Simülasyon Sonuçları

3.3.3.1 Aktif Faylar İçin Tsunami Simülasyonu

Hedef aktif fayların seçimine dayalı olarak, fay parametrelerinin ayarlanması ve batimetrik veriler..vb gibi gerekli bilgilerin temin edilmesi ile aktif faylar için tsunami simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simüle edilen örnekler aşağıdaki 7 durumdur;

a) id# 01: PI(+PIN)+GA
b) id# 08: GA
c) id# 15: PI(+PIN)
d) id# 22: PIN
e) id# 29: YAN
f) id# 36: CMN
g) id# 49: PI (PIN harici sadece yanal atımlı)

burada PI Adalar, PIN adalar sadece normal, GA Ganos, YAN Yalova normal, CMN Merkez Marmara sadece normal olarak alınmıştır. Her durum için aşağıdaki haritalar hazırlanmıştır.

<Marmara Bölgesi>	<İstanbul Bölgesi>
Fay lokasyonu ve başlangıç su seviyesi	Fay lokasyonu ve başlangıç su seviyesi
İlk dalganın varış zamanı (dalga yüksekliği 20cm)	İlk dalganın varış zamanı (dalga yüksekliği 20cm)
En yüksek dalganın varış zamanı	En yüksek dalganın varış zamanı
Maksimum dalga yüksekliği	Maksimum dalga yüksekliği
Maksimum dalga hızı	Maksimum dalga hızı

Tablo 3.9 ‘den Tablo 3.11’e kadar sonuçların özeti verilmektedir ve Adalar ile Yalova fayı için simüle edilmiş sonuçların üç örneği Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’de gösterilmektedir.

İstanbul şehrinin doğu yakası özellikle Adalar bölgesi daha yüksek tsunami yüksekliklerinden ve olayların çoğundan etkilenecektir. İlk dalganın varış zamanı 10 dakika içerisinde olacaktır ve en büyük tsunami dalgası depremin oluşmasından sonra 60 ila 90 dakika arasında sahile varacaktır.

Adalar veya Yalova fayı hareket ettiğinde, İstanbul şehir alanı diğer Ganos yada Merkez Marmara faylarından daha fazla etkilenecektir. Adalarda tsunami yüksekliği 4 ila 7 metreye kadar yükselecek, Kadıköy ya da Tuzla’yı da içeren doğu yakasında 3 ila 5 metre, Yenikapı, Yeşilköy yada Avcılar’ı da içeren batı yakasında 3 ila 4 metre olacaktır. Fakat Boğaziçi ve Haliç’te tsunami yüksekliği maksimum 2 metre olacaktır.

Tırmanma yüksekliği (m; deniz seviyesinden yükseklik) sahil boyunca tsunami yüksekliği ile benzerdir fakat, taşkın derinliğinden % 30 ila %80 daha yüksektir. Bundan dolayı taşkın derinliği kıyı boyunca tsunami yüksekliğinin % 50 ila % 80’i dir.

Tablo 3.9 Aktif fayların yol açtığı tsunami yükseklikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaziçi	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer			Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		Şehri
PI+PIN+GA	4.27	3.35	4.27	3.96	4.09	2.70	2.16	4.77	4.77	3.84	4.51	7.41	7.41	7.41
GA	1.84	0.54	0.47	0.25	1.84	0.28	0.29	0.54	0.54	0.23	0.28	0.41	1.84	3.76
PI+PIN	4.24	3.31	4.24	3.89	4.09	2.74	2.15	4.71	4.71	3.81	4.52	7.40	7.40	7.40
PIN	2.74	1.30	2.74	2.57	2.55	2.28	1.77	3.92	3.92	2.96	3.38	5.61	5.61	5.61
YAN	2.75	1.35	2.14	2.31	2.75	2.23	2.23	3.63	3.63	3.04	3.39	5.00	5.00	5.00
CMN	2.07	0.94	0.85	0.51	2.07	0.49	0.51	0.86	0.86	0.58	0.57	0.55	2.07	2.79
PI(strike slip)	2.84	2.70	2.73	2.25	2.84	1.70	1.70	3.39	3.39	2.08	2.67	3.97	3.97	3.97
MAX.	4.27	3.35	4.27	3.96	4.09	2.74	2.23	4.77	4.77	3.84	4.52	7.41	7.41	7.41

Tablo 3.10 Aktif fayların yol açtığı tsunami taşkın (inundation) derinlikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaziçi	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer			Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		Şehri
PI+PIN+GA	3.18	2.26	3.12	3.18	2.88	1.46	1.46	3.78	3.78	3.04	3.19	4.01	4.01
GA	1.30	0.37	0.35	0.21	1.30	0.21	0.21	0.29	0.29	0.16	0.21	0.26	1.30
PI+PIN	3.11	2.24	2.95	3.11	2.87	1.43	1.43	3.75	3.75	3.00	3.15	4.01	4.01
PIN	2.15	1.08	2.15	1.79	1.59	1.59	1.59	3.13	3.13	2.15	2.53	3.00	3.13
YAN	2.22	1.04	1.71	2.22	1.68	1.68	1.68	3.26	3.26	2.85	2.87	3.46	3.46
CMN	1.46	0.81	0.61	0.35	1.46	0.30	0.35	0.66	0.66	0.42	0.48	0.31	1.46
PI(strike slip)	2.25	1.63	2.25	2.04	1.45	1.12	1.12	2.78	2.78	1.89	2.08	2.23	2.78
MAX.	3.18	2.26	3.12	3.18	2.88	1.68	1.68	3.78	3.78	3.04	3.19	4.01	4.01

Tablo 3.11 Aktif fayların yol açtığı tsunami tırmanma yükseklikleri (m)

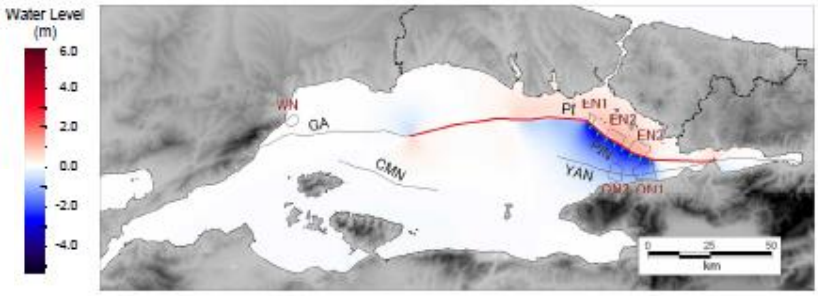
Alan / Fay	Batı					Boğaziçi	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer			Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		Şehri
PI+PIN+GA	4.79	3.39	4.79	3.87	4.26	2.14	2.14	5.13	5.13	4.28	4.57	7.32	7.32
GA	1.41	0.38	0.41	0.22	1.41	0.20	0.20	0.35	0.35	0.20	0.29	0.26	1.41
PI+PIN	4.71	3.31	4.71	3.82	4.26	2.07	2.07	5.15	5.15	4.26	4.53	7.32	7.32
PIN	2.87	1.34	2.87	2.23	2.38	1.71	1.71	3.96	3.96	3.24	3.65	4.57	4.57
YAN	2.77	1.39	1.85	2.77	2.08	1.66	1.66	3.54	3.36	3.07	3.54	5.12	5.12
CMN	2.12	0.97	0.85	0.43	2.12	0.51	0.54	0.69	0.69	0.47	0.55	0.40	2.12
PI(strike slip)	2.87	2.75	2.87	2.19	2.74	1.26	1.26	3.41	3.41	2.12	3.00	3.59	3.59
MAX.	4.79	3.39	4.79	3.87	4.26	2.14	2.14	5.15	5.15	4.28	4.57	7.32	7.32

Simülasyon Durum:15 (PI+PIN)

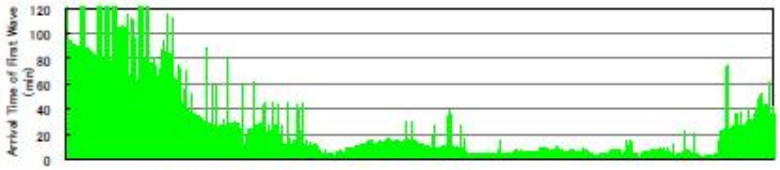
1) Fay modeli ve ilk su seviyesi

Fay: PI+PIN (kırmızı çizgi)

Heyelan: (yok)

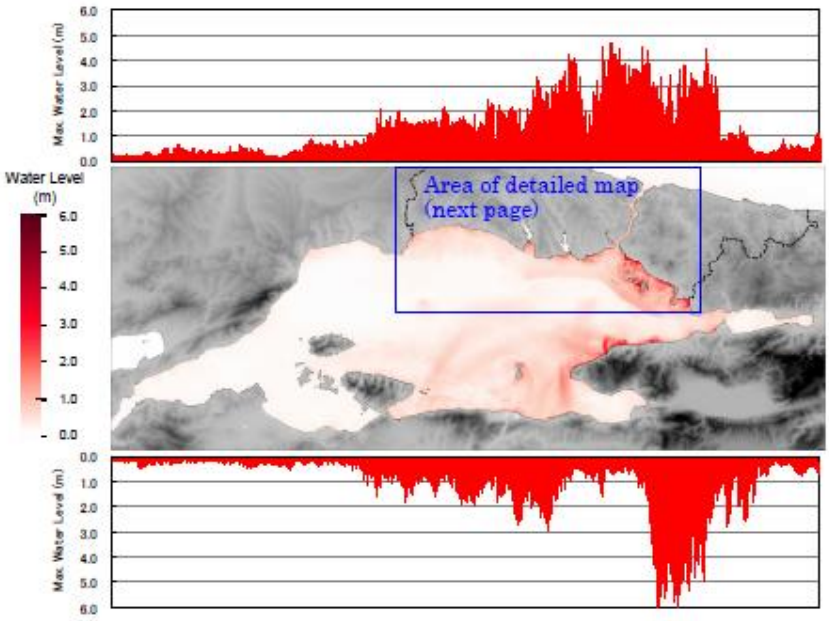


2) İlk dalganın varış zamanı



3) Max. dalganın varış zamanı

4) Max. yükseklik



5) Max. dalga hızı

Fig. 17.4 1(b) Simulated Results for Ganos Fault

Şekil 3.8 (a) Adalar Fayı için simüle edilmiş sonuçlar

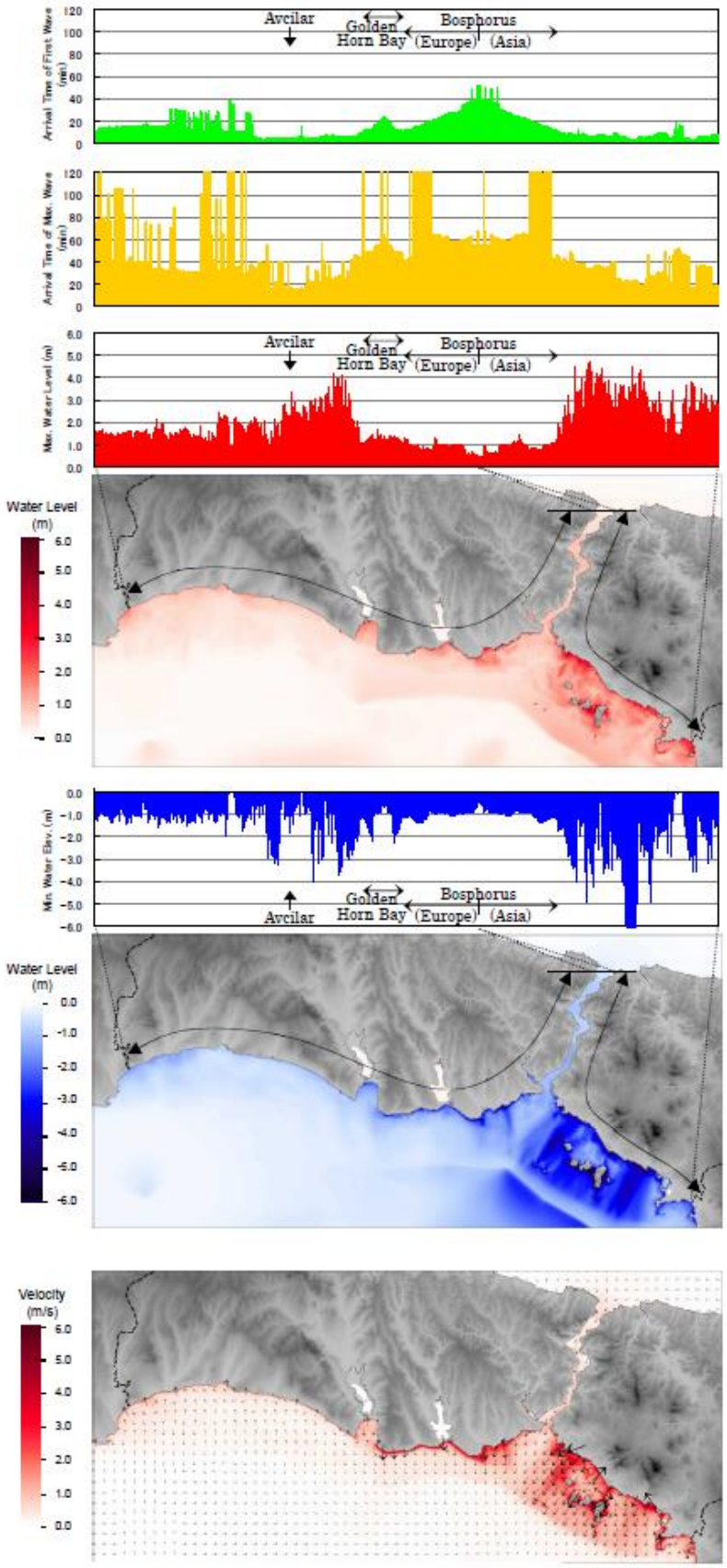
6) İlk dalganın varış zamanı

7) Max. dalganın varış zamanı

8) Max. yükseklik

9) Min. yükseklik

10) Max. dalga hızı



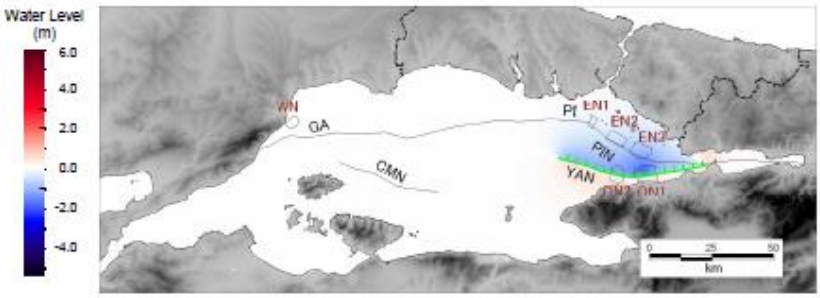
Şekil 3.8 1(b) Adalar Fayı için simüle edilmiş sonuçlar

Simülasyon Durum:29 (YAN)

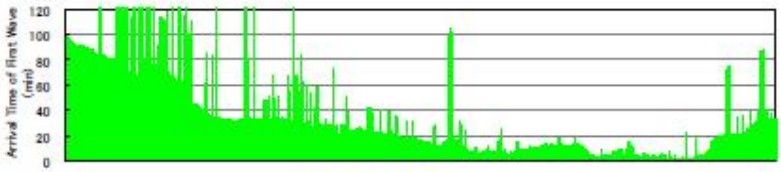
1) Fay modeli ve ilk su seviyesi

Fay: YAN (yeşil kırıklı çizgi)

Heyelan: (yok)

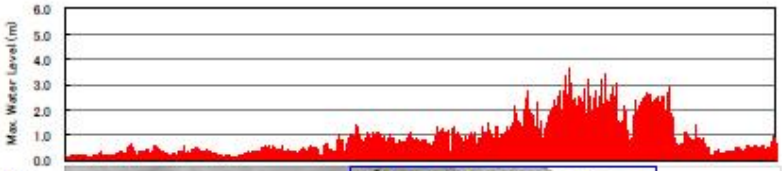


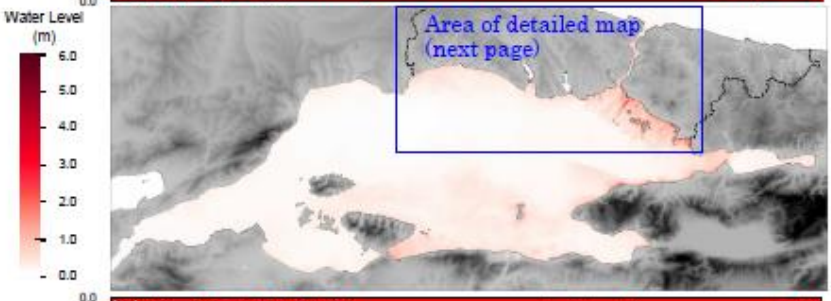
2) İlk dalganın varış zamanı

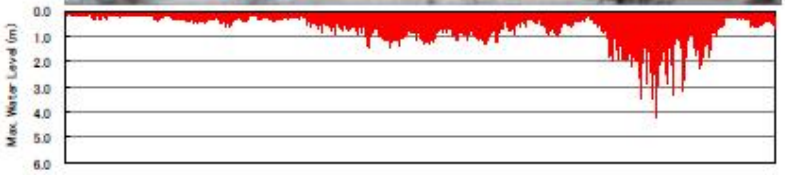


3) Max. dalganın varış zamanı

4) Max. yükseklik







5) Max. dalga hızı

Şekil 3.9 (a) Yalova Fayı için simüle edilmiş sonuçlar

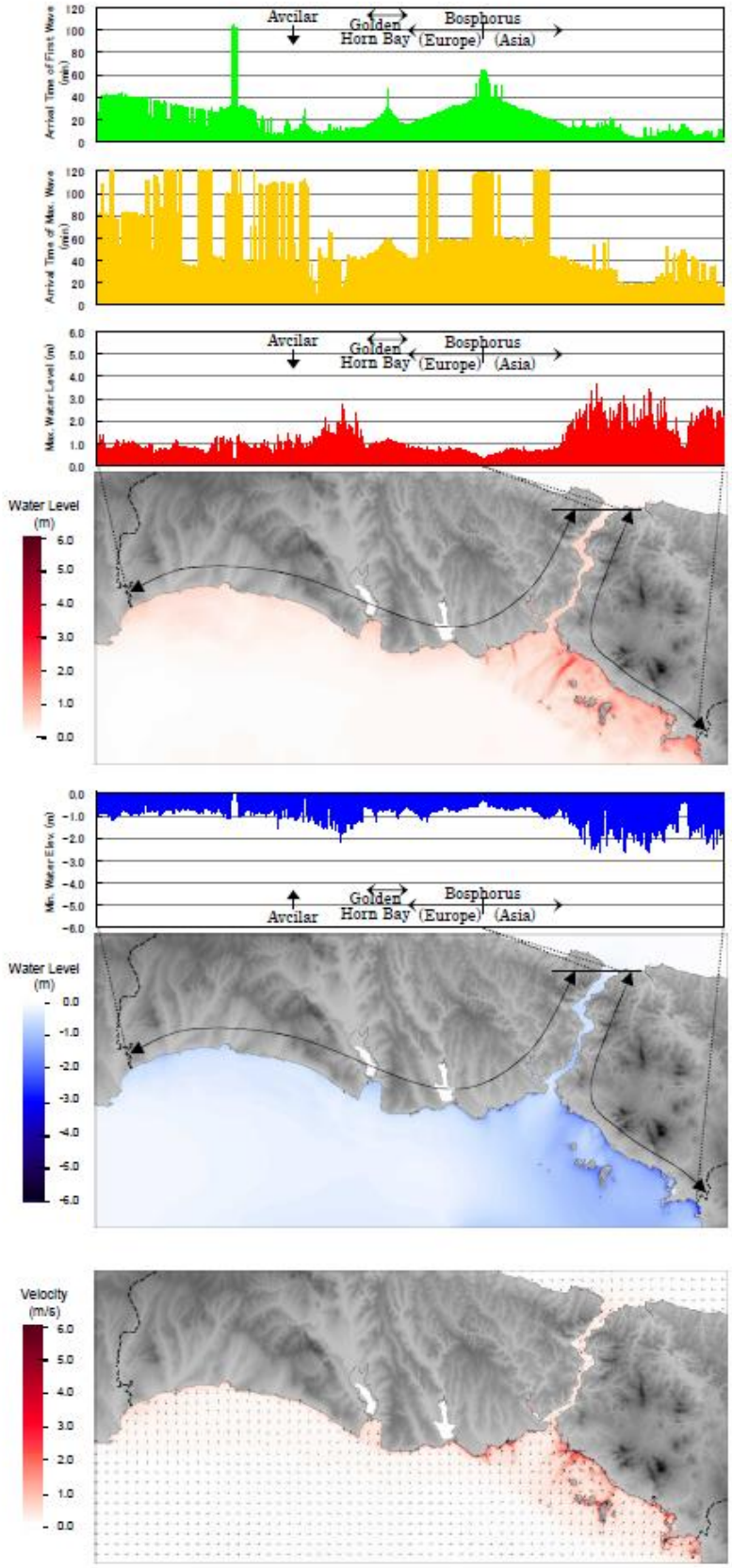
6) İlk dalganın varış zamanı

7) Max. dalganın varış zamanı

8) Max. yükseklik

9) Min. yükseklik

10) Max. dalga hızı



Şekil 3.9 (b) Yalova Fayı için simüle edilmiş sonuçlar

3.3.3.2 Denizaltı Heyelanları için Simülasyon Sonuçları

Marmara Denizi’nde tsunami tetikleyen 7 Denizaltı Heyelanı simüle edilmiştir. Bunların tsunami yüksekliği, taşkın derinliği ve tırmanma yüksekliği Tablo 3.12’ten Tablo 3.14’ya kadar sırasıyla özetlenmektedir. Ayrıca, Çınarcık Baseni'nin kuzey yamacı EN1 ve Çınarcık Baseninin güney yamacı ON1 için simüle edilmiş sonuçların üç örneği Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’te gösterilmektedir.

İstanbul Şehri'nin doğu yakası özellikle Adalar Bölgesi daha fazla tsunami yüksekliklerinden etkilenecektir. İlk dalganın varış zamanı 10 dakika içerisinde olacaktır ve en büyük tsunami dalgası depremin oluşmasından sonra 60 ila 90 dakika arasında sahile varacaktır.

Tsunami dalgaları Batı Marmara veya ON2 güney Çınarcık Havzası haricinde maksimum 4 ila 5 metredir. Taşkın derinliği EN1,EN3 ve ON1 durumları için maksimum 3-4 metredir. Tırmanma yükseklikleri taşkın derinlikleri ile benzerdir.

Tablo 3.12 Denizaltı heyelanlarının yol açtığı tsunami yükseklikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaziçi	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul Şehri	Mar-mara
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer			Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer			
WN	0.31	0.11	0.12	0.07	0.31	0.06	0.06	0.10	0.10	0.07	0.07	0.11	0.31	4.25
EN1	1.97	0.86	1.81	1.13	1.97	1.35	1.35	1.73	1.73	0.59	1.27	5.16	5.16	5.16
EN2	0.84	0.35	0.66	0.80	0.84	0.65	0.49	1.16	1.07	0.92	1.16	4.58	4.58	4.58
EN3	0.74	0.32	0.60	0.72	0.74	0.67	0.67	4.74	1.40	1.71	4.74	3.68	4.74	4.74
ON1	1.06	0.74	1.00	0.83	1.06	0.95	0.95	5.04	1.43	2.19	5.04	4.26	5.04	5.04
ON2	1.24	0.73	1.17	0.73	1.24	0.69	0.63	1.62	1.53	0.94	1.62	2.53	2.53	7.33
MAX.	1.97	0.86	1.81	1.13	1.97	1.35	1.35	5.04	1.73	2.19	5.04	5.16	5.16	7.33

Tablo 3.13 Denizaltı heyelanlarının yol açtığı tsunami taşkın derinlikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaziçi	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul Şehri
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer			Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		
WN	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
EN1	1.27	0.76	1.27	0.73	0.96	0.96	0.96	1.05	1.05	0.31	0.62	3.92	3.92
EN2	0.43	0.22	0.29	0.43	0.32	0.32	0.32	0.77	0.71	0.43	0.77	1.89	1.89
EN3	0.77	0.14	0.39	0.77	0.52	0.52	0.52	3.14	1.27	1.35	3.14	1.51	3.14
ON1	0.67	0.63	0.65	0.67	0.52	0.52	0.52	4.20	0.95	1.67	4.20	2.47	4.20
ON2	0.76	0.62	0.76	0.44	0.53	0.53	0.53	1.29	1.05	0.58	1.29	1.79	1.79
MAX.	1.27	0.76	1.27	0.77	0.96	0.96	0.96	4.20	1.27	1.67	4.20	3.92	4.20

Tablo 3.14 Denizaltı heyelanlarının yol açtığı tsunami tırmanma yükseklikleri (m)

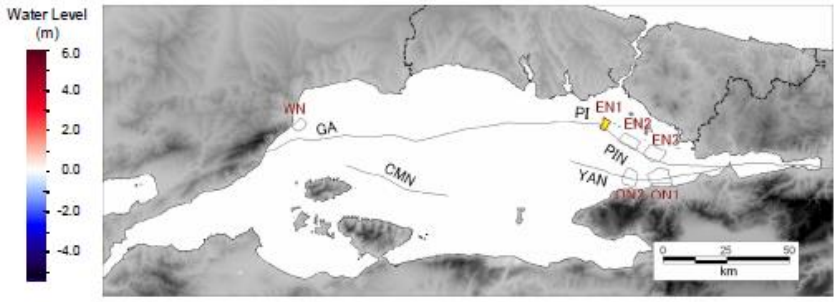
Alan / Fay	Batı					Boğaziçi	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul Şehri
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer			Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		
WN	0.21	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
EN1	1.72	0.78	1.57	0.73	1.72	0.96	0.96	1.37	1.37	0.38	0.87	4.28	4.28
EN2	0.68	0.24	0.29	0.68	0.35	0.35	0.35	0.93	0.77	0.60	0.93	1.97	1.97
EN3	0.79	0.16	0.53	0.79	0.55	0.55	0.55	4.07	1.33	1.68	4.07	1.74	4.07
ON1	0.91	0.65	0.91	0.73	0.78	0.61	0.61	5.01	1.07	2.09	5.01	2.58	5.01
ON2	0.79	0.64	0.79	0.58	0.79	0.56	0.56	1.46	1.14	0.64	1.46	1.79	1.79
MAX.	1.72	0.78	1.57	0.79	1.72	0.96	0.96	5.01	1.37	2.09	5.01	4.28	5.01

Simülasyon Durum:44 (EN1)

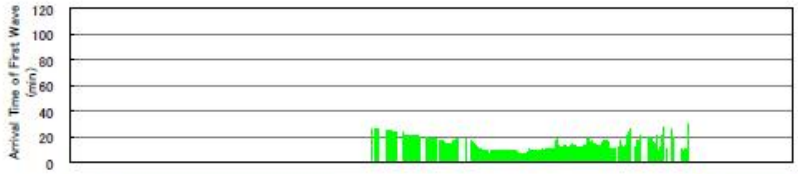
1) Fay modeli ve ilk su seviyesi dağılımı

Fay: (yok)

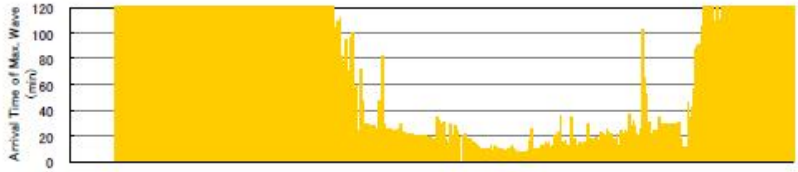
Heyelan: (EN1)



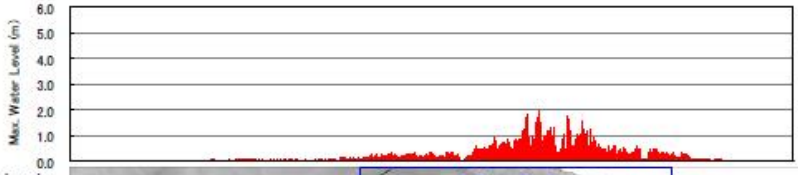
2) İlk dalganın varış zamanı

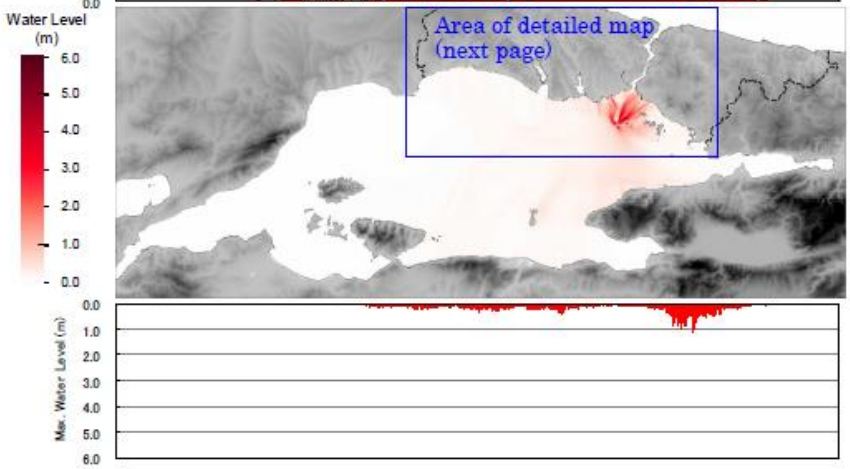


3) Max. dalganın varış zamanı



4) Max. yükseklik





5) Max. dalga hızı

Şekil 3.10(a) EN1 (kuzey Çınarcık Havzası) için simüle edilmiş sonuçlar

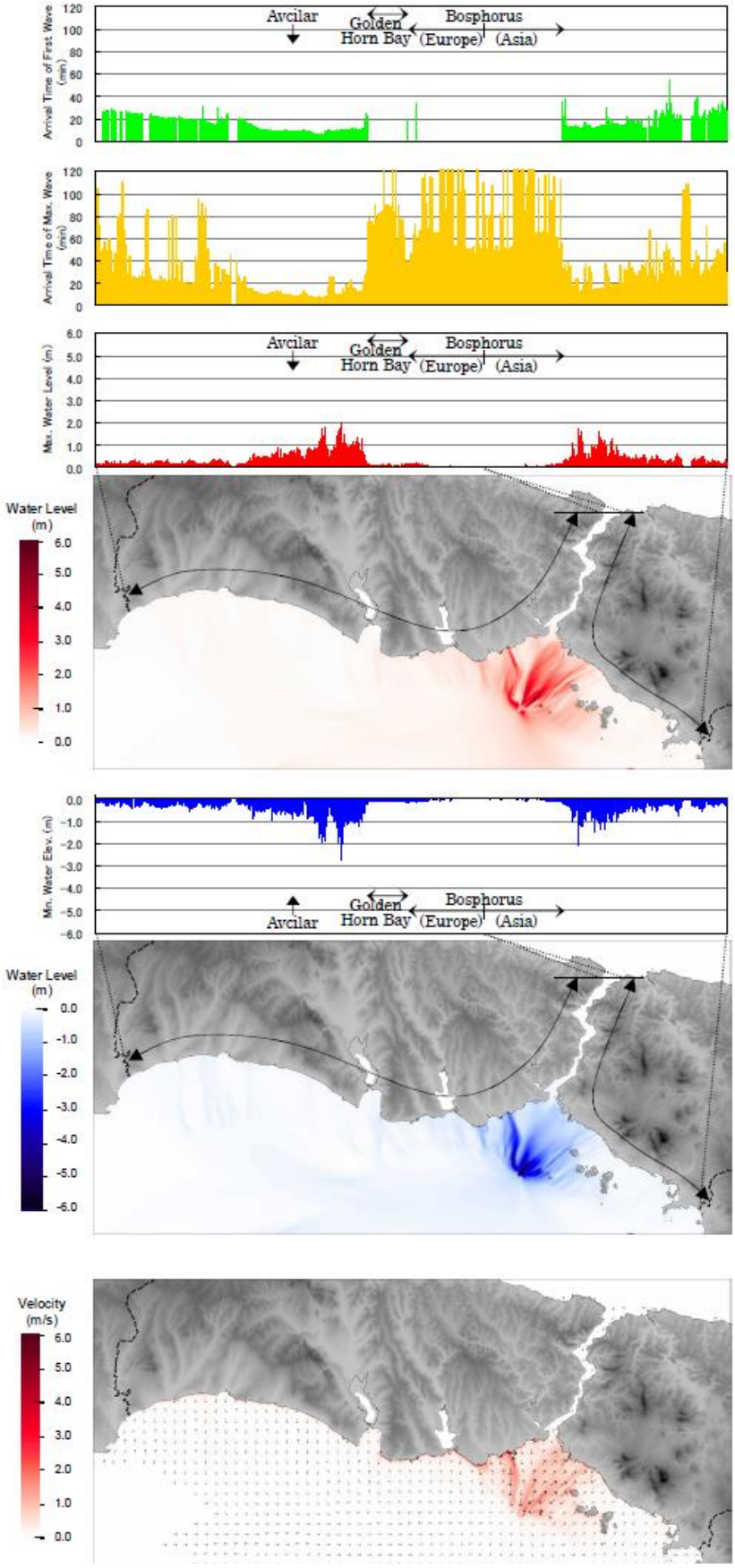
6) İlk dalganın varış zamanı

7) Max. dalganın varış zamanı

8) Max. yükseklik

9) Min. yükseklik

10) Max. dalga hızı



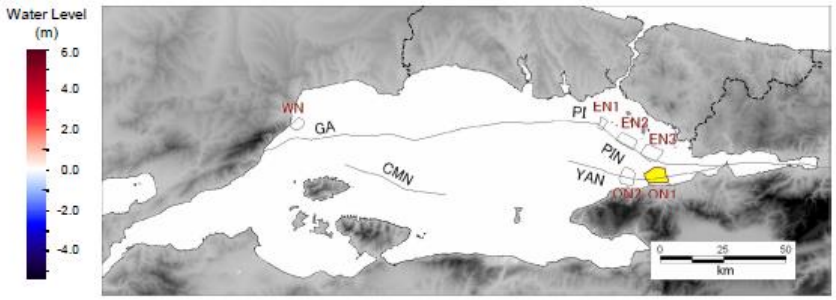
Şekil 3.11(b) EN1 (kuzey Çınarcık Havzası) için simüle edilmiş sonuçlar

Simülasyon Durum:47 (ON1)

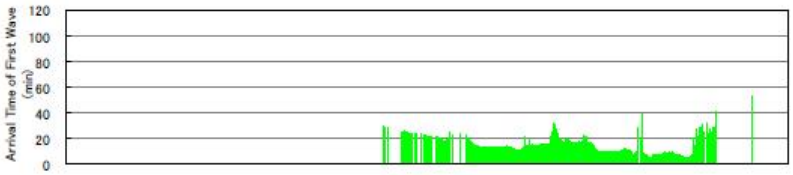
1) Fay modeli ve ilk su seviyesi dağılımı

Fay: (yok)

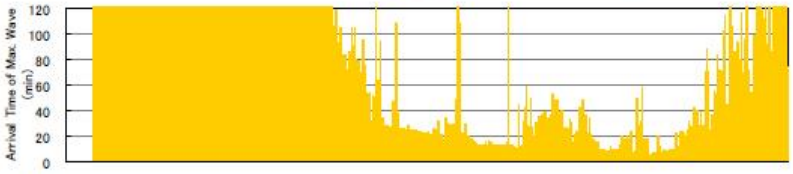
Heyelan: (ON1)



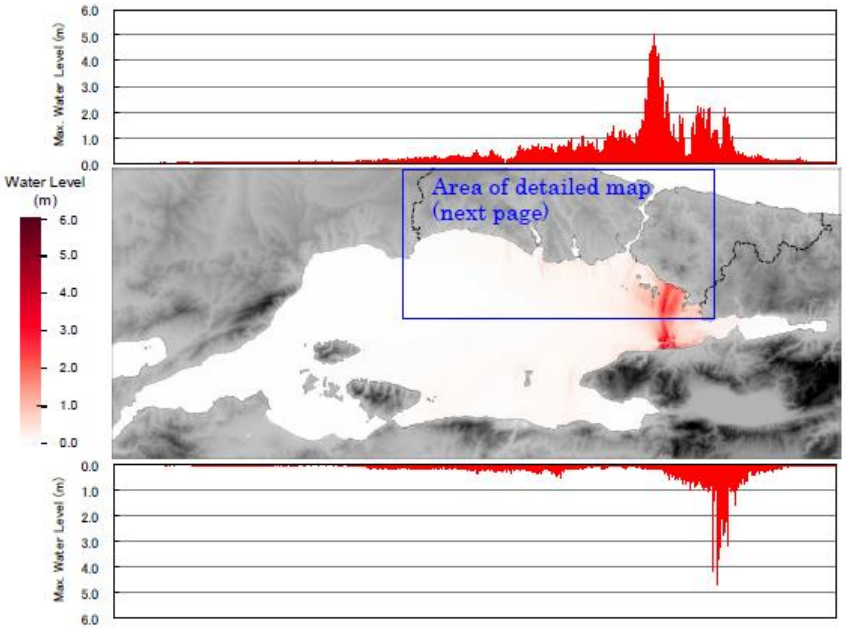
2) İlk dalganın varış zamanı



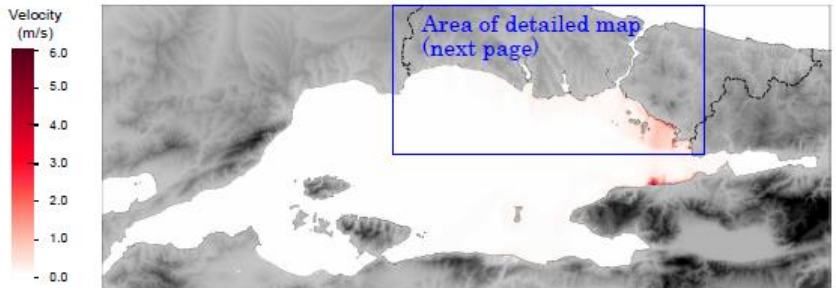
3) Max. dalganın varış zamanı



4) Max. yükseklik

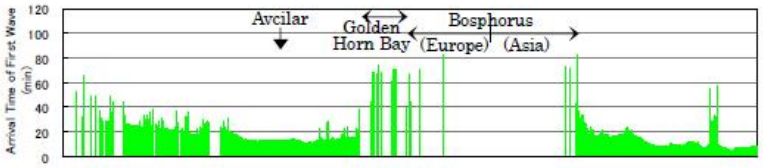


5) Max. dalga hızı

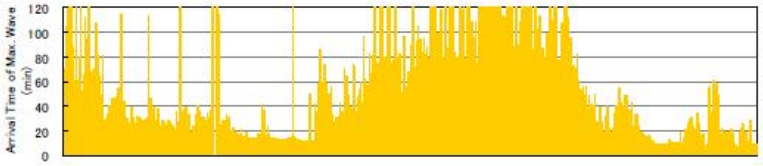


Şekil 3.12(a) ON1 (güney Çınarcık Havzası) için simüle edilmiş sonuçlar

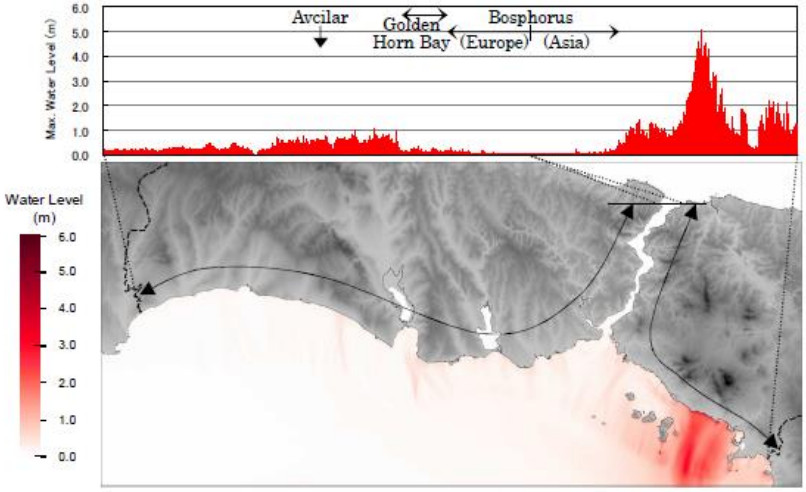
6) İlk dalganın varış zamanı



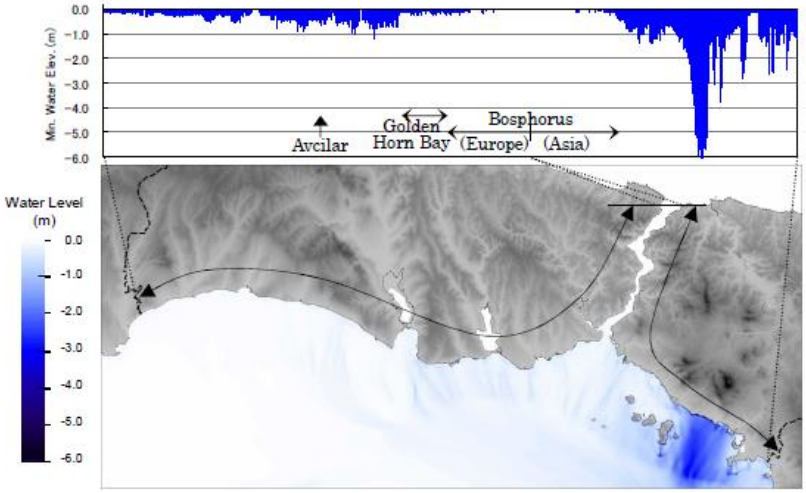
7) Max. dalganın varış zamanı



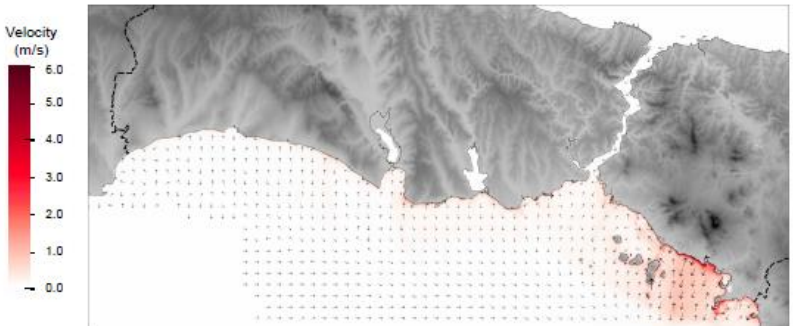
8) Max. yükseklik



9) Min. yükseklik



10) Max. dalga hızı



Şekil 3.12(b) ON1 (güney Çınarcık Havzası) için simüle edilmiş sonuçlar

3.3.3.3 Aktif Faylar ve Denizaltı Heyelanlarını Birleştiren Simülasyon Sonuçları

Aktif fay tsunami yaratmak için hareket ettiğinde, denizaltı heyelanları eşzamanlı olarak tsunami yaratabilir. Önceki bölümlerde belirtilen, geçmişte tek başına, hem aktif fayları hem denizaltı heyelanlarını aşan büyük tsunamileri düşünerek, aşağıdaki deney, hem aktif fayların hem de denizaltı heyelanının tetiklediği tsunami vakaları olarak 1509, 1894 ve 1912 deprem tsunami vakalarını yeniden üretmektedir.

Tablo 2.1 ve Tablo 3.17 karşılaştırılarak ve onlara atıfta bulunarak; 1509 depreminde, Yenikapı'da tsunami 6m'ye tırmanmış ve simülasyon sonucu burada 3.6m göstermiştir. 1894 depreminde tsunami Haliç'te 4-4.5m tırmanmış ve simülasyon sonucu burada 2m olarak göstermiştir. Daha sonra 1912 depreminde tsunami Yeşilköy'de 2.7m'ye tırmanmış ve simülasyon sonucu burada 0.4m tırmanma yüksekliği göstermiştir.

Bu farklılıkları oluşturan temel nedenin geçmişteki ve günümüzdeki topoğrafik farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Örnek olarak, Yenikapı limanı (bkz. Şekil 3.13) ve aynı şekilde Kadıköy limanından önce dalga kıranlar tsunami enerji kuyusu için direnç oluşturmuşlardır. Ayrıca, sahil şeridi boyunca görülen modern dolgu alanları (Bkz. Yenikapı örneği; Şekil 3.14) taşkın için elastikiyeti etkileyecektir. Ayrıca eski batık gemilerin ve her 500 yılda bir görülen tsunamiler ya da fırtınalar gibi güçlü bir kuvvet tarafından kesilmiş olan en az üç seviye kazık (Pile) bulunan Yenikapı kazı sahası gibi 1000 ve 1500 yıl eski (Şekil 3.15; Perinçek 2007, İBB ana sayfası) tsunami birikintileri için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Haliç için ise; 1894'teki Azapkapı köprüsünün şekli ve yüksekliği ile şimdiki Atatürk Köprüsü birbirinden farklı olabilir.

Halen bu metodoloji ilk girişimdir ve hareket hızı öngörüleri ile zemin özelliklerinin..vs geliştirilmesine ihtiyaç vardır ve İstanbul'da tsunami afet yönetimi ile kesin tsunami simülasyonu için geçmiş tsunami birikintileri için daha fazla çalışma gerekmektedir.

Tablo 3.15 Denizaltı heyelanlarnın yol açtığı tsunami yükseklikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaz	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul	Mar-
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenika	Diğer	içi		Tüm	Kadıkö	Tuzla	Diğer		Şehri	mara
1912: Ganos+WN	1.84	0.55	0.45	0.24	1.84	0.28	0.28	0.54	0.54	0.23	0.28	0.41	1.84	4.93
1509: (PI+PIN)+EN3+EN1+ON1	4.18	3.17	4.10	3.84	4.18	2.61	2.23	5.51	5.02	3.54	5.51	8.93	8.93	9.51
1894: Yalova+ON1+ON2	2.75	1.63	2.14	2.31	2.75	2.22	1.97	5.65	4.03	3.32	5.65	10.09	10.09	10.09
MAX.	4.18	3.17	4.10	3.84	4.18	2.61	2.23	5.65	5.02	3.54	5.65	10.09	10.09	10.09

Tablo 3.16 Denizaltı heyelanlarının yol açtığı tsunami taşkın derinlikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaz	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer	içi		Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		Şehri
1912: Ganos+WN	1.30	0.37	0.34	0.23	1.30	0.25	0.25	0.29	0.29	0.15	0.20	0.27	1.30
1509: (PI+PIN)+EN3+EN1+ON1	3.09	2.22	2.95	3.09	2.44	1.68	1.68	4.08	3.87	2.75	4.08	4.40	4.40
1894: Yalova+ON1+ON2	2.12	1.15	1.55	2.12	1.70	1.70	1.70	4.79	3.40	3.63	4.79	5.13	5.13
MAX.	3.09	2.22	2.95	3.09	2.44	1.70	1.70	4.79	3.87	3.63	4.79	5.13	5.13

Tablo 3.17 Denizaltı heyelanlarının yol açtığı tsunami tırmanma yükseklikleri (m)

Alan / Fay	Batı					Boğaz	Haliç	Doğu				Adalar	İstanbul
	Tüm	Avcılar	Yeşilköy	Yenikapı	Diğer	içi		Tüm	Kadıköy	Tuzla	Diğer		Şehri
1912: Ganos+WN	1.41	0.38	0.37	0.24	1.41	0.24	0.24	0.34	0.34	0.19	0.27	0.27	1.41
1509: (PI+PIN)+EN3+EN1+ON1	4.25	3.16	4.25	3.59	4.08	1.98	1.98	5.23	5.11	3.82	5.23	8.10	8.10
1894: Yalova+ON1+ON2	2.67	1.44	1.88	2.67	2.01	1.70	1.70	5.25	3.99	3.62	5.25	6.34	6.34
MAX.	4.25	3.16	4.25	3.59	4.08	1.98	1.98	5.25	5.11	3.82	5.25	8.10	8.10

Şekil 3.13 Yenikapı günümüz

Şekil 3.14 Yenikapı 60 yıl öncesi

Şekil 3.15 Yenikapı kazı alanı (IBB Anasayfası)

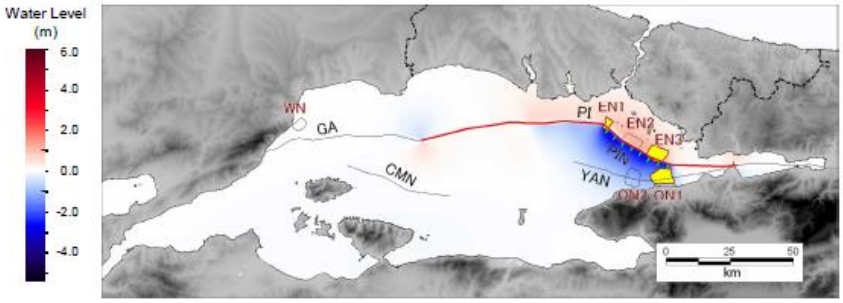
Şekil 3.16 Atatürk Köprüsü (günümüz) ve Azapkapı Köprüsü (geçmiş)

Simülasyon Durum:18 (PI+PIN+EN3+EN1+ON!)

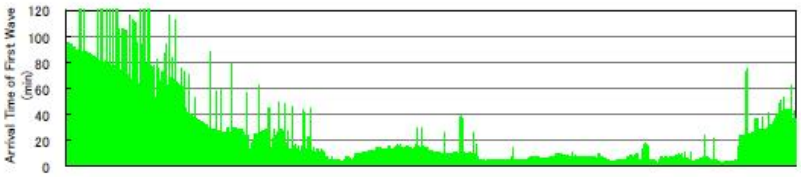
1) Fay modeli ve ilk su seviyesi dağılımı

Fay: PI+PIN

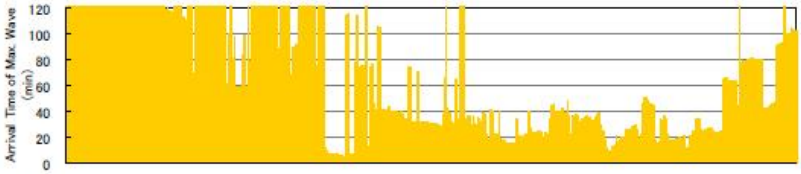
Heyelan: EN3+EN1+ON1



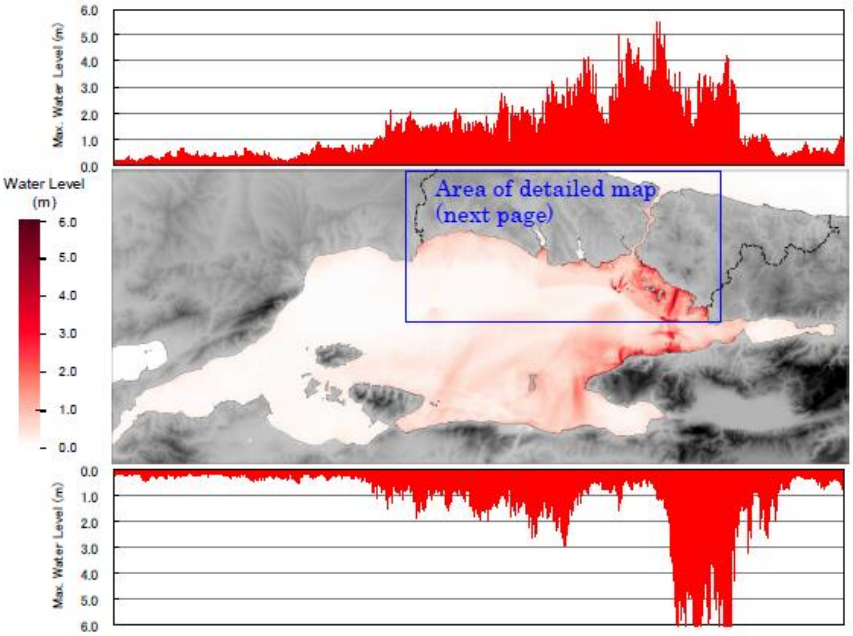
2) İlk dalganın varış zamanı



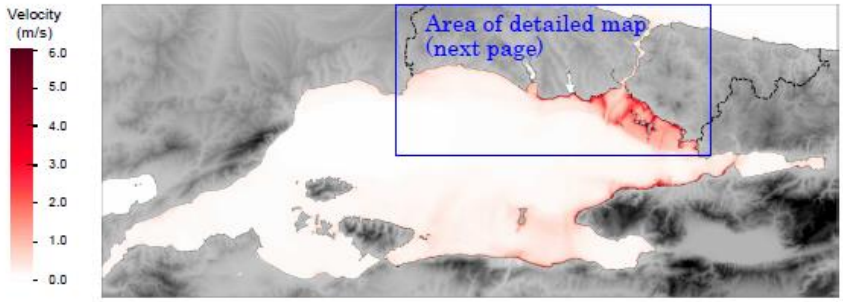
3) Max. dalganın varış zamanı



4) Max. yükseklik



5) Max. dalga hızı



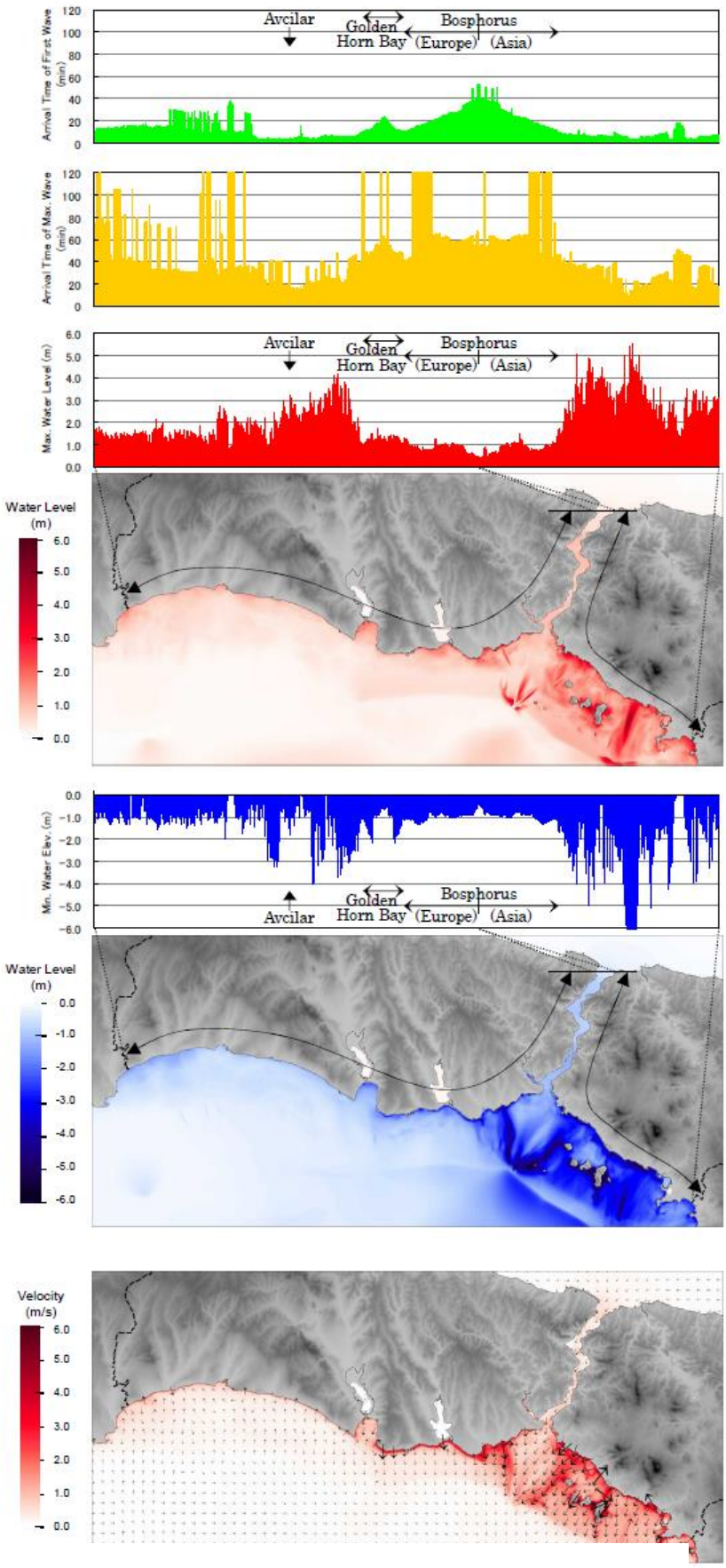
6) İlk dalganın varış zamanı

7) Max. dalganın varış zamanı

8) Max. yükseklik

9) Min. yükseklik

10) Max. dalga hızı



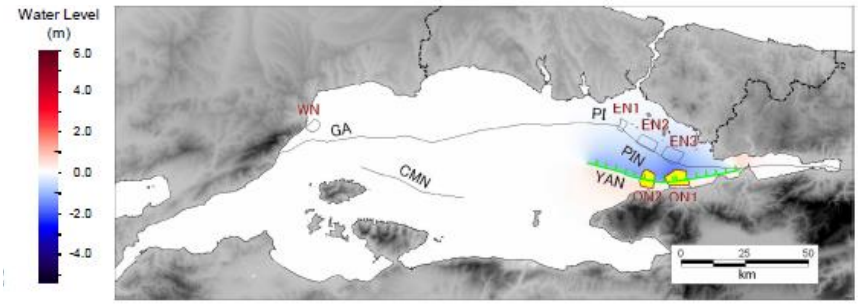
Şekil 3.17 Simülasyon Durum:18 (PI+PIN+EN3+EN1+ON!)

Simülasyon Durum:31 (YAN+ON1+ON2)

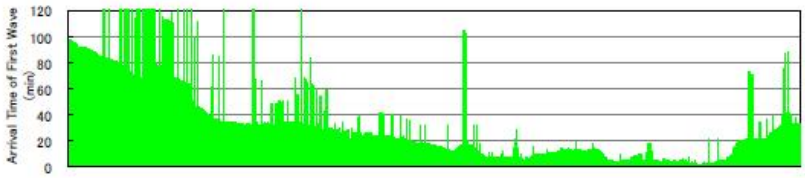
1) Fay modeli ve ilk su seviyesi dağılımı

Fay: YAN

Heyelan: ON1+ON2

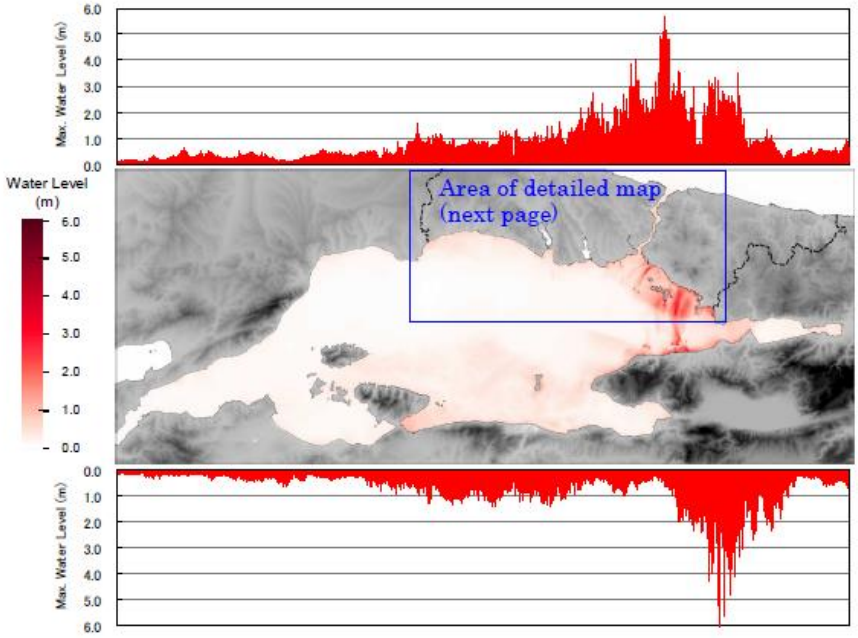


2) İlk dalganın varış zamanı

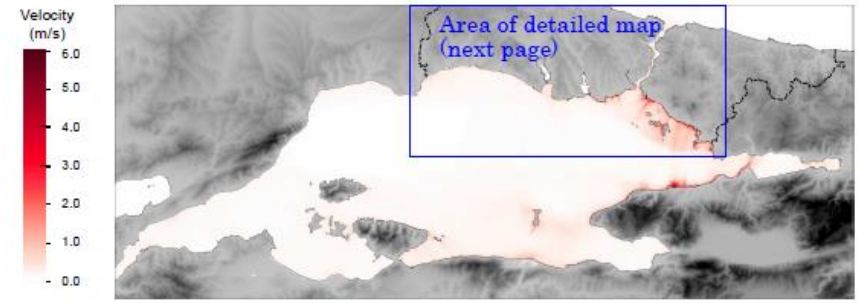


3) Max. dalganın varış zamanı

4) Max. yükseklik



5) Max. dalga hızı



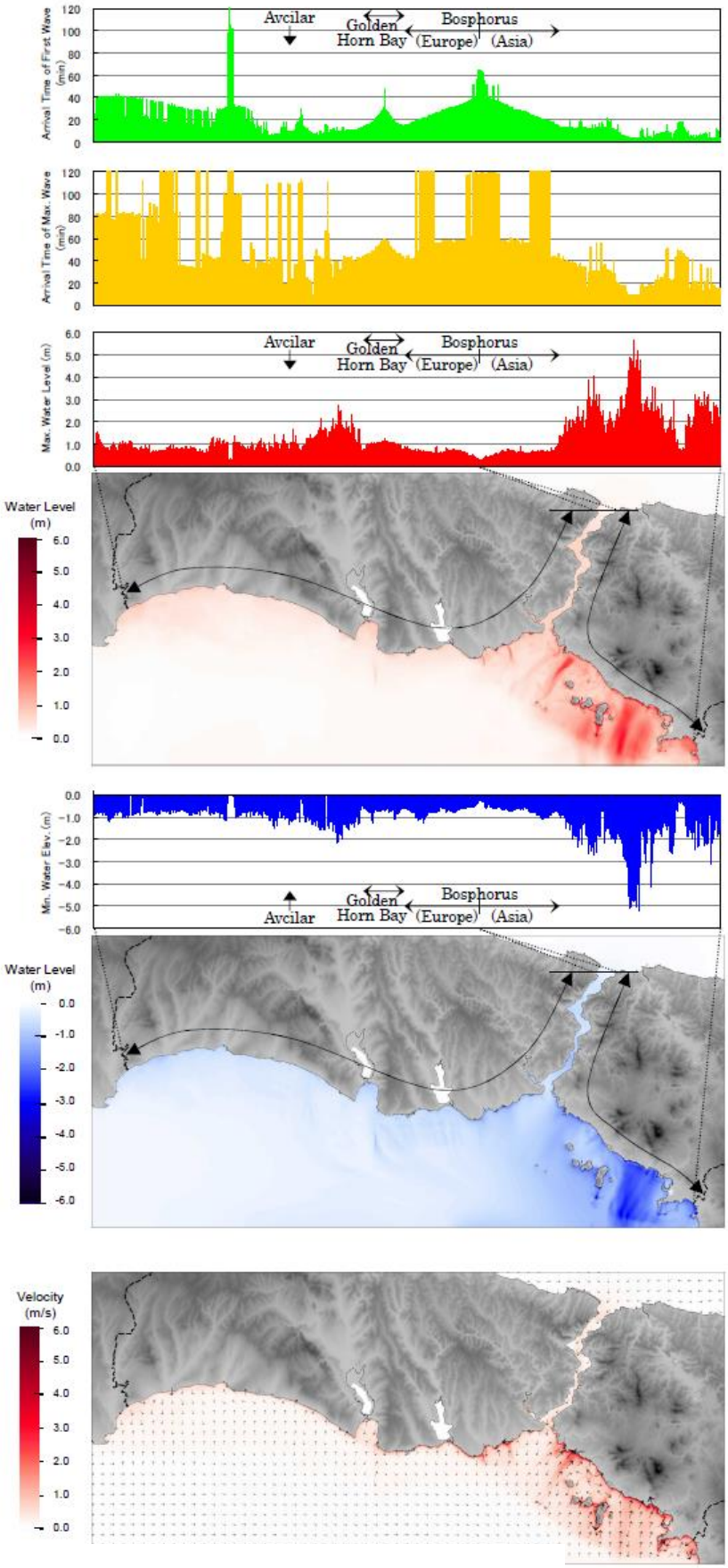
6) İlk dalganın varış zamanı

7) Max. dalganın varış zamanı

8) Max. yükseklik

9) Min. yükseklik

10) Max. dalga hızı



Şekil 3.18 Simülasyon Durum: 31 (YAN+ON1+ON2)

3.4 İstanbul için Tsunami Olasılığı

3.4.1 Metodoloji

Olasılıklı tsunami tehlike analizi metodolojisi, faylar için hazırlanan sismik tehlike analizi ile neredeyse aynıdır. Sahil ya da deniz kenarlarındaki tehlike eğrileri her tsunami kaynağına göre ilk olarak oluşturulmuş ve toplam tehlike eğrisi, her katkı eklenerek yapılmıştır. Sismik tehlike eğrisi PGA,PGV ya da Sa değeri için belli periyotlarda aşma olasılığını göstermektedir; aksine, tsunami tehlike eğrisi karadaki su basma derinliği yada sahilde dalga yüksekliği için kesin periyotta aşma olasılığını gösterir.

(1) Tsunami Kaynak Modelleri:

Bir deprem fay modeli için çeşitli kaynak modelleri oluşturulmuştur. İlgili deprem tarafından yıkılması daha yüksek olasılıklı olan yamaç, bahsi geçen deprem ile yıkılma olasılığı daha düşük olan yamaç yıkıldığında, daima yıkılacağı varsayılmaktadır.

Analizde, altı fay ve altı yamaç kombinasyonlarında 42 tsunami kaynak modeli düşünülmüş ve Tablo 3.18'de gösterilmiştir. Bu modeller en iyi ispat edilebilir faydan çok düşük olasılıklı olan ve sadece olasılıklı analiz için kullanılan faya kadar değişik fay hareketleri içerisinden altı fay hareketi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

(2) Eşik İvmesi:

Her yamaçta yıkılacak eşik ivmesi, tepki analizi ve yamaç stabilite (duyarlılık) analizi tarafından analiz edilmiştir. Eşik ivmesi Tablo 3.18'de gösterilmektedir.

Tablo 3.18 Yamacın yıkılmasında eşik ivmesi

WN	EN1	EN2	EN3	ON1	ON2
0.69g	0.55g	1.00g	0.47g	0.51g	0.54g

(3) Yamaç Göçme (failure) Olasılığı:

Deprem fay hareketi olasılığı daha önce deprem tehlikesi analizinde irdelenmişti. Yamç göçme olasılığı, yukarıdaki eşik ivmesine karşılık gelecek şekilde, yamacın banketindeki her fay için sismik tehlike eğrisi üzerinden okunmuştur.

(4) Tsunami Dalga Yüksekliği ve Taşkın Derinliği:

Kıyıdaki tsunami dalga yüksekliği ve karadaki taşkın derinliği her tsunami kaynak modeli için sayısal simülasyon ile analiz edilmiştir.

(5) Ardışık (Cascading):

Ardışık (Cascade) fay modeline ve Ardışık olmayan (No Cascade) modeline dayanan tsunami

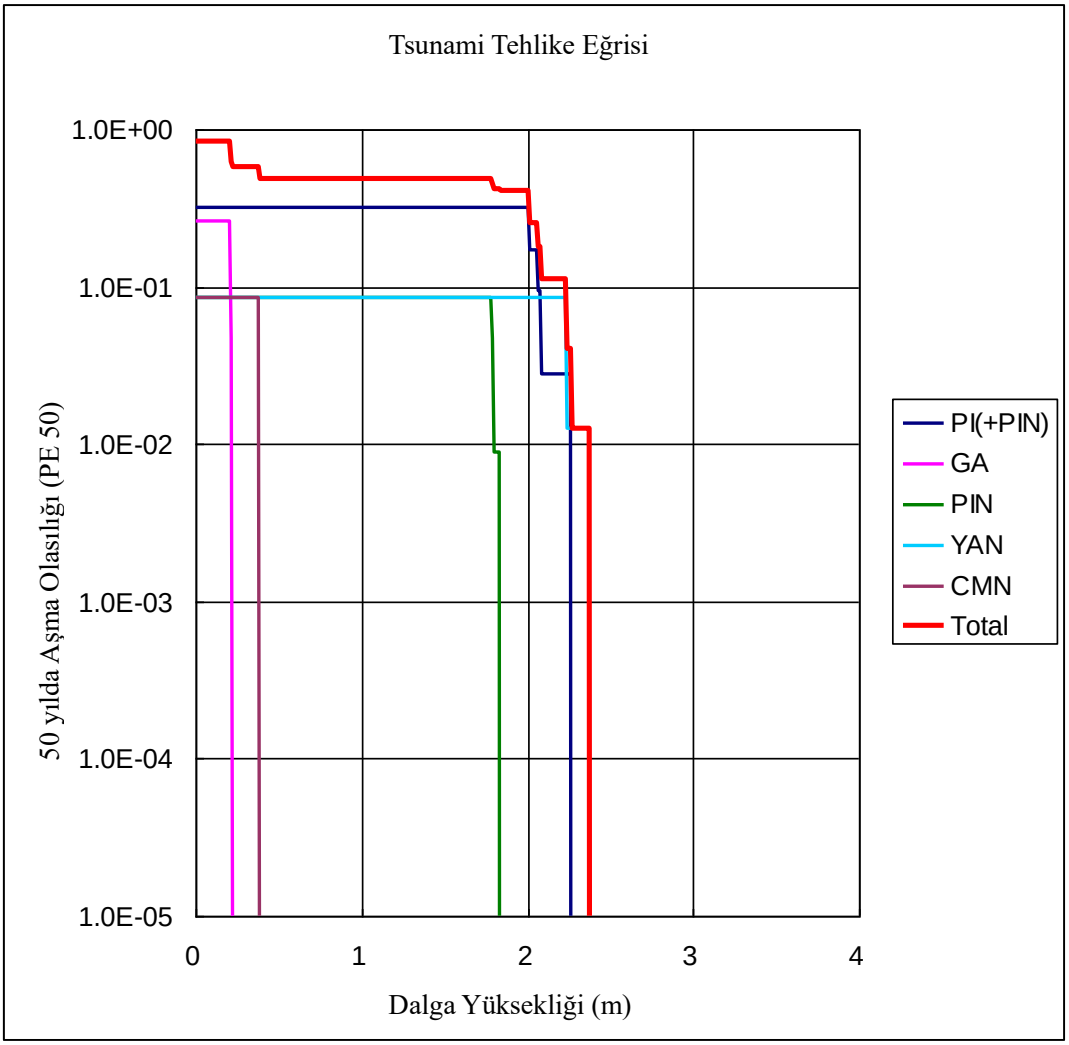
kaynak modelleri bağımsız olarak analiz edilmişlerdir. Nihai sonuç, sırasıyla 0.2 ve 0.8 ağırlıklarını kullanarak bu iki sonucu eklemek sureti ile başlatılmıştır. Bu ağırlık, sismik tehlike analizinde kullanılmış olan ile aynıdır. Ardışık (Cascade) ve Ardışık olmayan (No Cascade) vakalarının her biri beş fay modelini dikkate alır.

Tablo 3.19 Tsunami kaynak modelleri

ID	Cascading	Fault	Tsunami Source	PE in 50 yrs
1	Cascade	PI(+PIN)+GA	Fault Only	2.6E-01
2			Fault+EN3	1.7E-01
3			Fault+EN3+EN1	1.5E-01
4			Fault+EN3+EN1+ON1	1.1E-01
5			Fault+EN3+EN1+ON1+WN	6.0E-02
6			Fault+EN3+EN1+ON1+WN+ON2	4.6E-02
7			Fault+EN3+EN1+ON1+WN+ON2+EN2	2.4E-02
8	No Cascade	GA	Fault Only	2.6E-01
9			Fault+WN	4.7E-02
10			Fault+WN+EN1	9.9E-07
11			Fault+WN+EN1+EN3	7.7E-07
12			Fault+WN+EN1+EN3+ON2	4.4E-07
13			Fault+WN+EN1+EN3+ON2+ON1	2.6E-07
14			Fault+WN+EN1+EN3+ON2+ON1+EN2	6.7E-10
15	Both Model	PI(+PIN)	Fault Only	8.3E-02
16			Fault+EN3	4.4E-02
17			Fault+EN3+EN1	4.0E-02
18			Fault+EN3+EN1+ON1	2.4E-02
19			Fault+EN3+EN1+ON1+ON2	7.2E-03
20			Fault+EN3+EN1+ON1+ON2+EN2	4.9E-03
21			Fault+EN3+EN1+ON1+ON2+EN3+WN	2.4E-07
22		PIN	Fault Only	8.5E-02
23			Fault+EN3	5.3E-02
24			Fault+EN3+EN1	4.7E-02
25			Fault+EN3+EN1+ON1	2.1E-02
26			Fault+EN3+EN1+ON1+EN2	8.8E-03
27			Fault+EN3+EN1+ON1+EN2+ON2	5.3E-03
28			Fault+EN3+EN1+ON1+EN2+ON2+WN	1.2E-10
29		YAN	Fault Only	8.5E-02
30			Fault+ON1	5.3E-02
31			Fault+ON1+ON2	4.8E-02
32			Fault+ON1+ON2+EN3	1.3E-02
33			Fault+ON1+ON2+EN3+EN1	8.8E-04
34			Fault+ON1+ON2+EN3+EN1+EN2	4.0E-05
35			Fault+ON1+ON2+EN3+EN1+EN3+WN	3.2E-10
36		CMN	Fault Only	8.5E-02
37			Fault+WN	2.5E-05
38			Fault+WN+EN3	1.4E-07
39			Fault+WN+EN3+EN1	1.3E-07
40			Fault+WN+EN3+EN1+ON2	1.2E-07
41			Fault+WN+EN3+EN1+ON2+ON1	6.0E-08
42			Fault+WN+EN3+EN1+ON2+ON1+EN2	9.1E-11

(6) Tsunami Tehlike Eğrisi:

Sahildeki tsunami tehlikesi eğrisi yada her fay için taşkın noktaları oluşturulmuştur. Toplam tsunami tehlike eğrisi, bu tehlike eğrilerinin katkılarının eklenmesi ile elde edilmiştir. Şekil 3.19'de bir örnek gösterilmektedir. Bu şekilden, olasılıklı tsunami dalga yüksekliği 50 yıl içerisinde %10 aşma olasılığı ile 2.2 metre olarak okunmuştur.



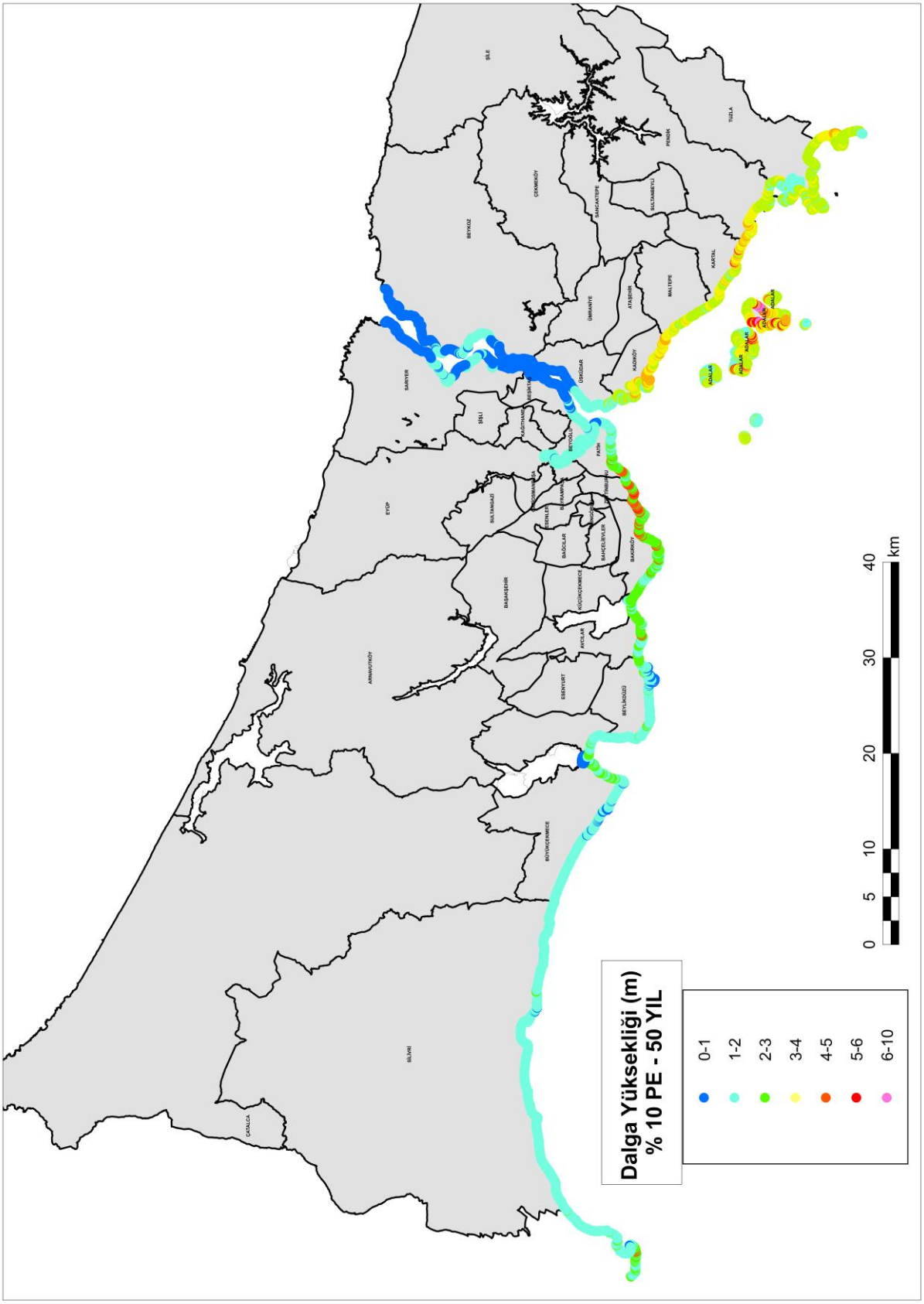
Şekil 3.19 Ardışıksız (No Cascade) model için Yenikapı'da dalga yüksekliği için Tsunami Tehlike Eğrisi Örneği

3.4.2 Tsunami Yüksekliği Sonucu

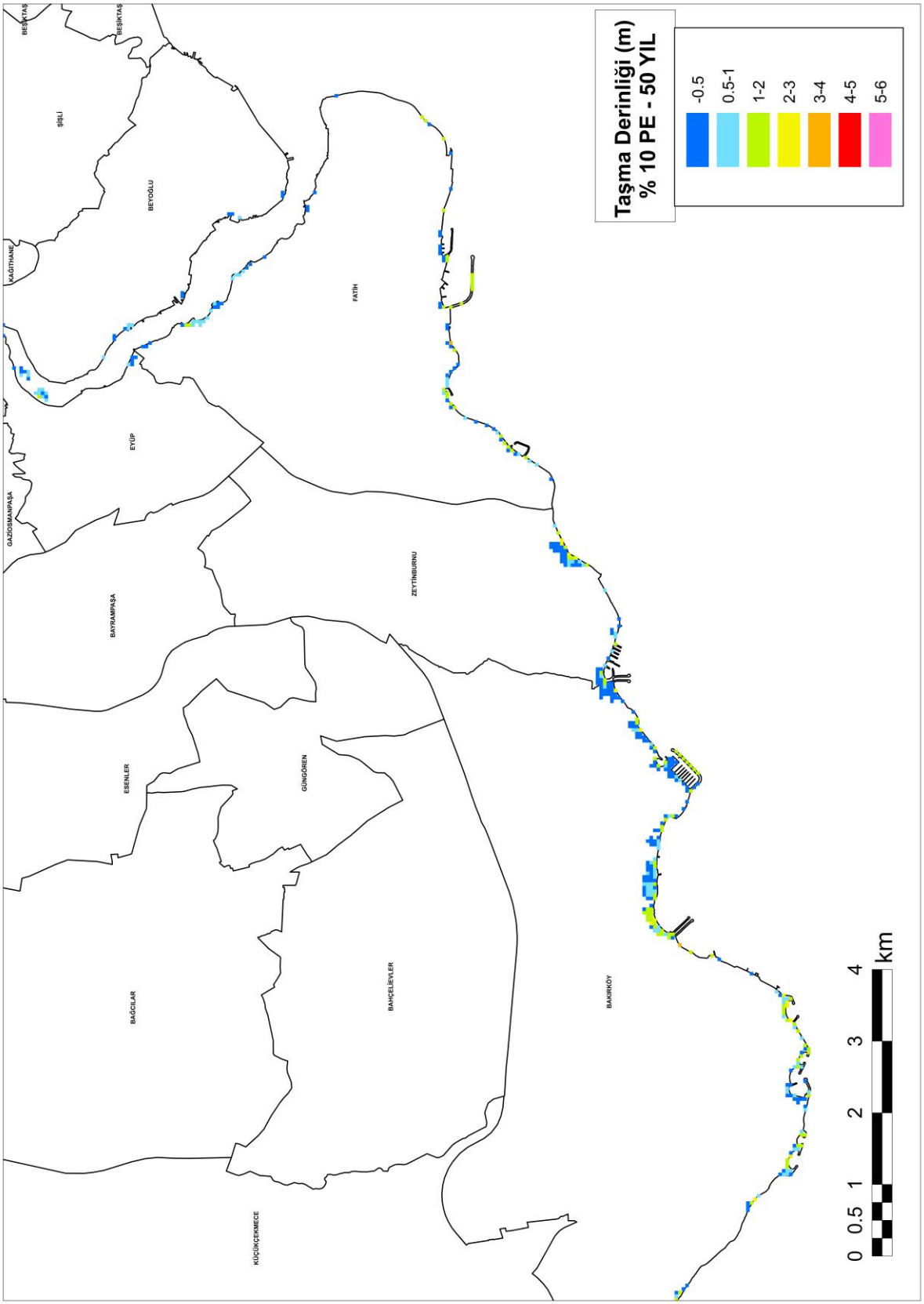
Sahildeki tsunami dalga yüksekliği 50 yıl için %10 aşma olasılığı ile Şekil 3.21'de gösterilmektedir. İstanbul'un Asya Yakası, Avrupa Yakası'na göre daha tehlikelidir. Maksimum dalga yüksekliği adalarda beklenmektedir ve bu yükseklik 9 metreyi aşmaktadır. Kartal ve Kadıköy, Asya Yakası'ndaki diğer tehlikeli alanlardır. Avrupa Yakası'nda, Bakırköy'den Zeytinburnu'na kadar 3 ila 4 metre yüksekliğinde dalgalar beklenmektedir.

3.4.3 Taşkın Derinliği Sonuçları

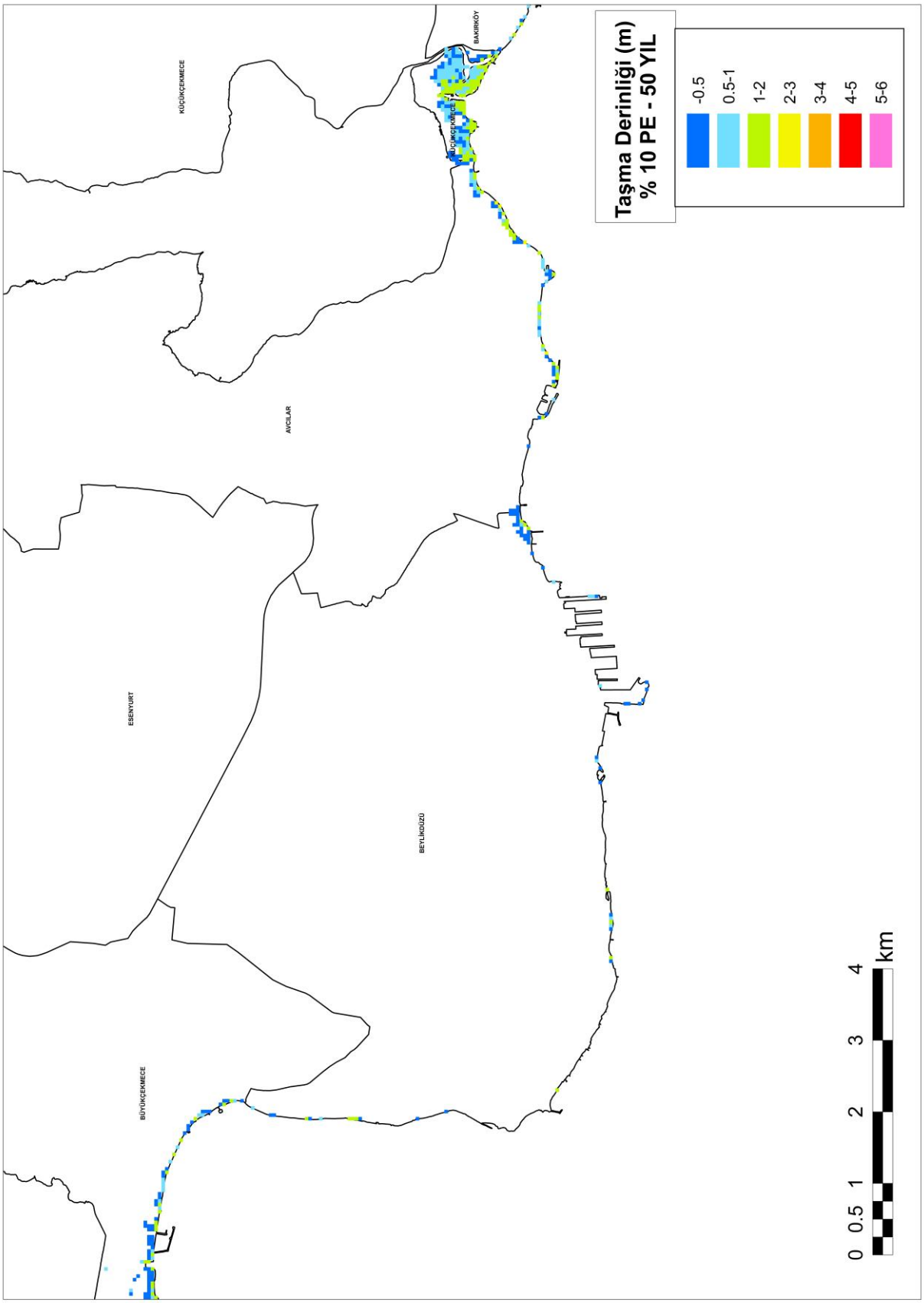
Deniz kenarında tsunami taşkın derinliği 50 yıl için %10 aşma olasılığı ile Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te gösterilmektedir. Küçükçekmece gölünün güneyindeki taşkın dikkat çekicidir. Sahilden itibaren maksimum taşkın uzaklığı 600 metreye yaklaşmaktadır. Kadıköy ve Kartal'dan Tuzla'ya kadar olan sahil şeridinin de sahilden 100 ila 300m tırmanma ile karşı karşıya kalması beklenmektedir.



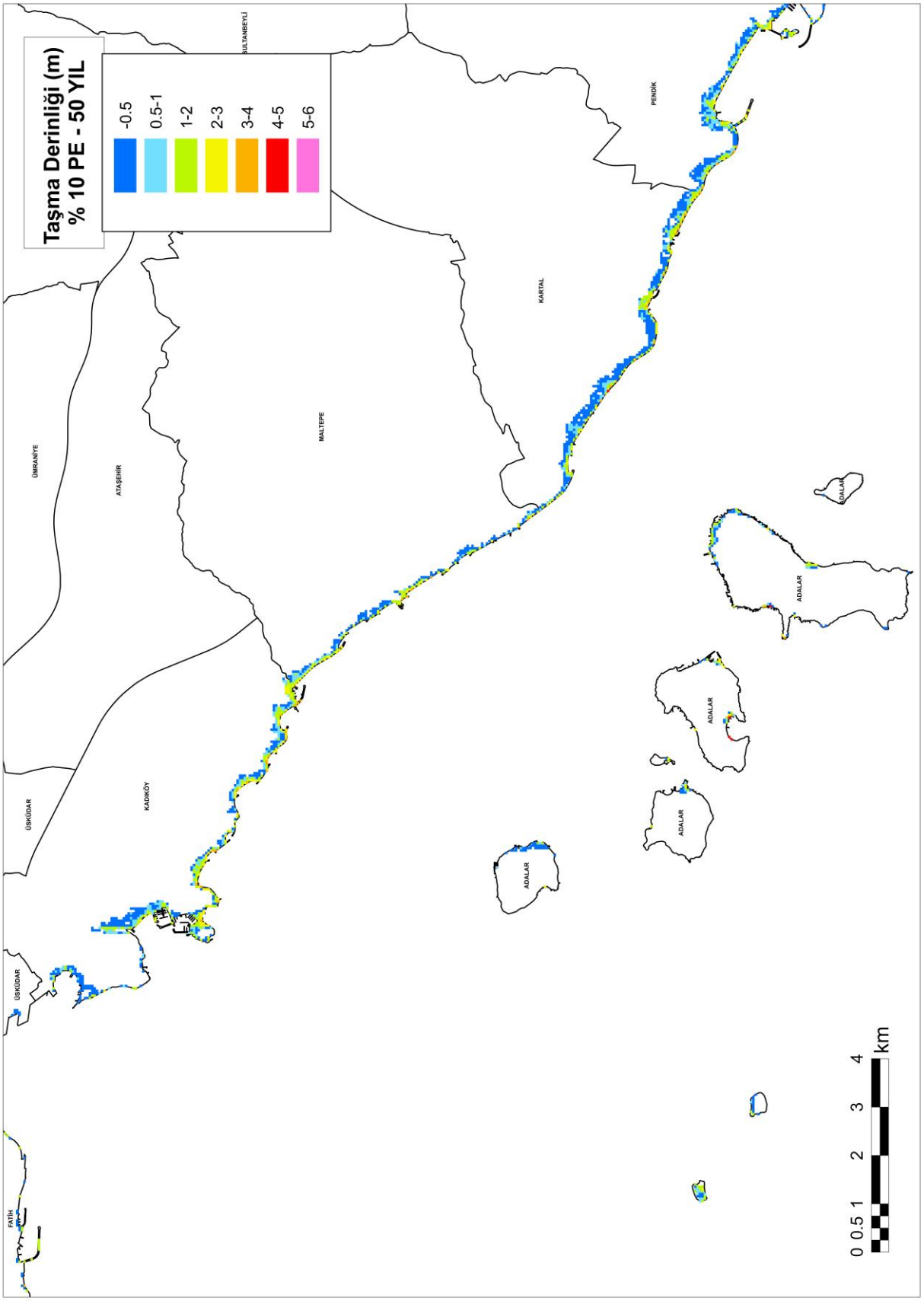
Şekil 3.21 50 yıl içinde %10 PE (%10 aşma olasılıklı) Tsunami Dalga yüksekliği



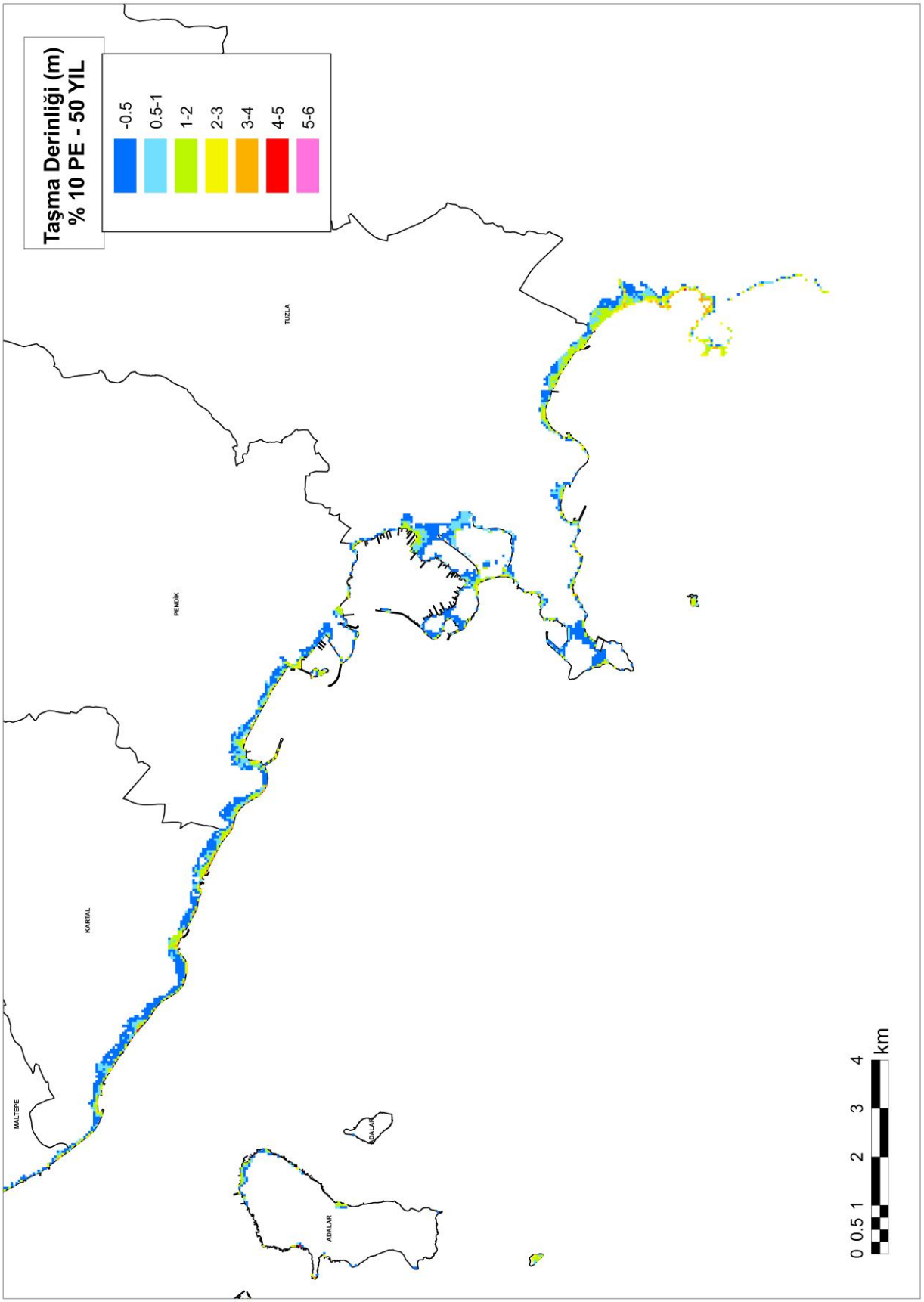
Şekil 3.22a 50 yıl içinde %10 PE (%10 aşma olasılıklı) Tsunami Taşkın Derinliği –(Batı Sahili)



Şekil 3.22b 50 yıl içinde %10 PE (%10 aşma olasılıklı) Tsunami Taşkın Derinliği –(Batı Sahili



Şekil 3.23a 50 yıl içinde %10 PE (%10 aşma olasılıklı) Tsunami Taşkın Derinliği-(Doğu Sahili)



Şekil 3.23b 50 yıl içinde %10 PE (%10 aşma olasılıklı) Tsunami Taşkın Derinliği-(Doğu Sahili)

3.5 İstanbul'da Tsunami'den Etkilenebilecek Alanlar

3.5.1 Tsunami Etkileri

Tsunamiler sahil kesimlerini, taşkınlar evlerin ve gemilerin yıkımları, ölümler ve yaralanmalar gibi insan kayıplarına yol açarak etkilemektedir. Bunlar tsunami şiddeti yada tsunami yüksekliği veya tırmanma yüksekliği ile ilişkili olarak gösterilmiştir. Tablo 3.20 Shuto (1993) ardından Japonya'daki en meşhur örnektir. Bu tabloya göre aşağıdakiler özetlenebilir;

1m'lik tsunami yüksekliği afetzedeler yaratabilir, gemileri etkileyebilir.

1) 3m'lik tsunami yüksekliği önemli afete yol açabilir

2)10m'lik yükseklik çok büyük afetlere yol açabilir (Sumatra,2004 Aralık)

3) Dalga hızı, sürüklenen materyaller ve geri çekilen dalgalar afetleri artırabilir.

Tablo 3.20 Tsunami şiddeti tsunami yüksekliği ve onun etkileri arasındaki ilişki (Shuto,1993 ardından)

Tsunami Yoğunluğu		2	3	4	5	6		
Tsunami Yüksekliği (m)		1	2	3	4	6	8	16	32
Dalgaların Özellikleri	Hafif Eğim	kıyıda yükselme		ikinci dalgada dalgakıranın hasar görmesi		Dalga uç noktasındaki etkinin artması	İlk dalgadan itibaren sarıcı dalgaların oluşması		
	Dik Eğim	ilk gelgit		ilk dalga					
Sesler			(deniz gürlemesi, şiddetli fırtına)						
			(gök gürültüsü, uzaktan az duyulur)						
			(bomba, patlama, uzağa ulaşır)						
Binalar evler	Ahşap	Kısmı hasar	Tümden göçme						
	Taş	Ayakta kalır		(malzemesiz)	Tümden göçme				
	Çelik/Beton	Ayakta kalır			Tümden göçme				
Balıkçı Tekneleri		Hasar oluşması		%50 hasar		%100 hasar			
Gelgit kontrol ağaçlandırma	Hasar	Az hasar		Orta hasar		Çok hasar			
	Etki	Etkiyi hafif azaltır		Geri çekilmeyi önler		Etkisi yoktur			
Sahil Yerleşimleri			Hasar başlar		%50 hasar		%100 hasar		
Dalgaların Tırmanma Yüksekliği (m)		1	2	4	6	8	16	32	

3.5.2 İstanbul'da Tsunami'ye Karşı Etkilenebilir Alanlar

Tsunami tehlikesi haritası için Alpar ve diğ (2004) bir ön çalışmayı sağlamıştır. Buna rağmen Tablo 3.20'de belirtildiği gibi, İstanbul'da tsunami yüksekliğinin 3m'yi aştığı ya da taşkın derinliği 0.5m'yi geçtiği alanlar gelecekteki tsunamilere karşı etkilenebilir alanlardır. Eğer bu değerler 3m aşarsa, olağanüstü bir afet meydana gelebilecektir. Bu çalışmanın simüle edilmiş sonuçları karşılaştırıldığında, özellikle İstanbul'un Kadıköy'den Tuzla'ya uzanan doğu kesimi sahilleri gelecekteki tsunamilere karşı daha etkilenebilir olacaklardır.

3.6 Tsunami Etkilerinden Korunma

3.6.1 Tsunami Öncesi Evresi (Hazırlık Dönemi)

Bir kentin hangi bölgelerinin hangi koşullarda ne düzeyde sular altında kalacağını gösteren haritalar (baskın haritaları) hazırlanmış olup yerel yönetimler tarafından üzerinde çalışılmaktadır. Bu çalışmalar ışığında, afet yönetim uzmanları tarafından sakınma ve etki azaltma konusunda önlemler, kıyıları terk yolları seçilmeli, kıyıyı kolayca terk yolu olmayan bölgeler için plan değişiklikleri yapılmalıdır. Plajlarda, denizyolları terminallerinde, kıyı kullanımının yoğun olduğu yerlerde depreşim dalgasından korunma ve sakınma amacına yönelik kısa ve anlamlı uyarıcı yazılar bulundurulmalıdır.

Deprem için yapılan acil durum aile planı depreşim dalgaları afet durumları için de geçerlidir. Bu konuda deprem hazırlık acil durum planları kullanılabilir. Bu konuda aşağıda kısa hatırlatma bilgileri verilmiştir.

Genel olarak 3 gün yetecek acil durum çantasının hazırlanması ve bu çantanın içinde ilaçlar, çabuk bozulmayan yiyecekler, konserve açacağı, su, mum, el feneri, radyo, yedek pil, gözlük, kişisel hijyenik öğeler, giyecek, önemli evrakların kopyaları, aile kayıtları, mal dökümü, ilk yardım seti, uyku tulumu, araç ve ev anahtarları vb. şeylerin bulundurulması tavsiye edilir.

3.6.2 Tsunami Oluşma Evresi

3.6.2.1 Sakınma Konusunda Temel Kurallar

Depreşim dalgaları çoğunlukla depreme bağlı nedenlerle oluşurlar ve yatık eğimli düşük kotlu kıyılarda, körfezlerde, nehir ağızlarında ve liman içlerinde yaratabileceği çok şiddetli akıntılar nedeniyle daha çok etkilidirler.

Türkiye kıyılarında tarih içinde defalarca depreşim dalgaları oluşmuştur. Bundan sonra da oluşması beklenmelidir. Günümüzde kıyıların çok çeşitli amaçlarla çok sayıda tesislerle donatılmış ve çok yoğun kullanılıyor olması, depreşim dalgasının, tarihteki etkilerine göre

günümüzde çok daha unutulmaz izler bırakması olasıdır.

Depreşim dalgası tek bir dalga değildir. Genellikle dört veya beş dalgadan oluşan bir dalga dizini biçimindedir. İlk dalga centilmen dalgadır. İkinci ve üçüncü dalgalar etkilidirler. Devam eden dalgaların etkisi daha azdır. Önde gelen centilmen dalga, kıyılarda birkaç dakika içinde olağan dışı su yükselmesi veya alçalması (çekilmesi) yaratır. Bu ilk dalga, arkadan gelebilecek olan bir veya iki etkili dalga için haberci niteliğindedir. Deniz çekildiğinde merak edip kıyının durumunu izlemeye kesinlikle gitmeyiniz. Çünkü can kayıplarının büyük bir bölümü bu sırada olmaktadır. Kısacası meraklılar büyük olasılıkla ölmektedir.

Etkili dalgaların kıyıya vurmasından sonraki birkaç saat tehlike devam edebilir. Resmi açıklamalar yapılana dek bekleyiniz ve kıyıdan daima uzakta kalınız.

Depreşim dalgası farkedildiğinde ya da uyarı alındığında en kısa zamanda kıyı çizgisinden uzaklaşmak zorunludur. Karada bulunan kişilerin kıyıdan 100-150 m. uzaklığa, denizde teknede bulunan kişilerin ise su derinliği en az 50 m. veya daha derin yerlere doğru uzaklaşarak olası dalga ve akıntı etkilerinden kurtulmaları olanaklıdır.

Unutulmamalıdır ki, dalganın karada ilerleme hızı, insanın koşma hızından daha fazladır. Merak edip dalganın kıyılardaki davranışlarını izlemek çok tehlikelidir. Kaçmak için zaman geç olabilir. Depreşim dalgası nedeniyle yaşamını yitirenlerin bir bölümü meraklı kişilerdir.

Depreşim dalgaları dereler, ırmaklar ya da denize bağlantılı kanallardan içerilere doğru kilometrelerce ilerleyebilirler. Dere, ırmak kıyıları ve bentlerinde zarar verici taşmalar oluşması doğaldır.

Depreşim dalgası konusundaki uyarıları ciddiye almak zorunludur. Unutulmamalıdır ki, Hawaii Hilo 1960 yılındaki depreşim dalgası için 10 saat önceden uyarı verilmiş ve korunma yöntemleri tekrarlanmış iken 61 can kaybı olmuştur

Deniz tabanında oluşan herhangi bir deprem nedeniyle depreşim dalgası oluşabilir. Kıyılarda iken bir deprem hissedildiğinde kıyıdan uzaklaşmak yararlı bir önlemdir. Unutulmamalıdır ki, Mayıs 1983 depreminin hemen sonrasında, Japonya Honshu adasının Kuzey Batı kıyılarına gelen tsunami, halkın korunma konusunda yeterli bilgisi olmasına karşın 230 kişinin ölümüne neden olmuştur.

Depreşim Dalgasının tırmanma yüksekliğinin 2 m. yi geçmesi durumunda küçük tekne barınaklarında çok şiddetli akıntılar nedeniyle hasarlar ve önemli düzeyde mal kaybı beklenmelidir. Japonya'da elde edilen deneyimler ve gözlenen örnekler değerlendirildiğinde, dalganın kıyılarda tırmanma yüksekliğinin 2.5 m. yi geçtiği yerlerde mal kayıpları artmakta ve ek olarak can kayıpları da olmaktadır (Shuto, Imamura, (2000)).

3.6.2.2 Tsunami Uyarısı Verildiğinde Yapılması Gerekenler

Televizyon, Radyo veya ilgili acil durum radyo kanallarını dikkatlice dinleyiniz.

Olası bir tsunami uyarısı yapıldığında uzaklaşmak için hazırlık yapılmalıdır. Eğer tsunami yakın bir zamanda bekleniyor uyarısı geldi ise hemen yüksek bir yere gidilmelidir.

Eğer uzaklaşılması gerekli bir yerdeyseniz, çıkmadan önce vaktiniz varsa su baskınlarına ve yangınlara karşı önlem olarak elektrik, gaz, su düğmelerini kapatınız.

Çukur ya da deniz seviyesine yakın kısımlara dönmeden önce yetkililerin resmi açıklamalarını bekleyiniz.

Kıyıda İken Yapılması Gerekenler:

En kısa zamanda bulunduğunuz yerden daha yüksek kısımlara çıkın! Eğer kıyıda denize yakın alçak bir bölgedeyseniz, güçlü depremi hissedebilirsiniz. Bu da birkaç dakika içinde tsunami geliyor demektir. Açık denizlerde bu zaman aralığı 15 dakika ile 15 saat arasında değişirken Marmara gibi kapalı denizlerde bu süre 8 dakika mertebesindedir. Eğer olanak varsa koşarak, bisikletle ya da arabayla kıyıdan uzağa ve yükseğe doğru gidilmelidir: Eğer bir binanın içindeyseniz yüksek katlara doğru çıkılmalıdır.

Kıyıda İken Yapılmaması Gerekenler:

Kıyıda deniz çekildiğinde merak edip izlemeye kesinlikle gitmeyiniz. Çünkü can kayıplarının büyük bir bölümü bu sırada olmaktadır. Yani kısaca meraklılar büyük olasılıkla ölmektedir.

Eğer büyük bir uğultu duyarsanız bu sesin nereden geldiğini araştırmak yerine gürültüden ve denizden uzaklaşmaya bakın. Çünkü tsunami dalgaları büyük uğultu yaratabilirler.

Resmi açıklamalar yapılana dek tehlikenin geçtiğini sanmayın.

Denizde İken:

Eğer denizdeyseniz ve bir tsunami uyarısı aldıysanız, açık denizde tsunami dalgası hissedemeyeceğinizden ya da göremeyeceğinizden limana ya da kıyıya kesinlikle dönmeyiniz. Tsunami sığ sularda su düzeyinde hızla değişimlere ve çok şiddetli akıntılara neden olacağından tekneniz ya da geminiz hasar görüp batabilir.

Bir tsunami uyarısı aldığınızda eğer kıyıya yakınsanız ve vaktiniz de varsa teknenizi veya geminizi açık denize doğru hareket ettiriniz ve aşağıdakileri dikkate alınız :

Büyük gemi sığınakları ya da limanlar denizcilik trafik sistemleri veya liman yetkililerinin kontrol ve yetkisi altındadır. Eğer gerekli görürlerse deniz araçlarını açık denize hareket etmeye zorlayabilirler. Bu konuda yetkililerle işbirliği içinde olunmalıdır.

Küçük limanlarda özel görevlendirilmiş yetkililer bulunmayabilir. Eğer bir tsunami uyarısının farkındaysanız, vaktiniz varsa sakin ve diğer deniz trafiğini de dikkate alarak düzenli bir biçimde

teknenizi açık denize sürünüz. Küçük teknelerin sahipleri eğer vakit varsa iskeledeki teknelerini terk etmeleri, karaya çıkmaları daha emin olabilir. Hele yapılan bu uyarı yersel oluşan tsunami içinse karaya çıkmak özellikle uygun olabilir. Eğer güvenli limanın dışında kötü hava koşulları varsa, bu durum küçük tekneler için çok tehlikeli bir durum olarak ortaya cıkacaktır. Bu da tek seçeneğinizin karada yüksek ve güvenli bir yer bulmak olduğunu göstemektedir.

Tsunaminin kıyıya vurmasını takiben hasar verici dalga hareketleri ve kestirilemeyen şiddetli akıntılar kıyıyı belli bir süre etkileyebilir. Güvenli bir şekilde limana dönmeden önce yetkililerle haberleşmeli ve limandaki koşulların yolunda olduğundan emin olunmalıdır.