

Yapılar Üzerinde Tsunami Etkileri

Nazlı Seda orbacı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak, 2012

Tsunami Effects on Buildings

Nazlı Seda Çorbacı

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

January, 2012

Yapılar Üzerinde Tsunami Etkileri

Nazlı Seda orbacı

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliğı Uyarınca

İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mizan Doğan

Ocak, 2012

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Nazlı Seda Çorbacı'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Yapılar Üzerinde Tsunami Etkileri” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mizan DOĞAN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mizan DOĞAN

Üye : Prof. Dr. Hasan GÖNEN

Üye : Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Üye : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Melih Cemal KUŞHAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Tsunami, okyanus ya da denizlerin tabanında deprem, zemin kaymaları, volkanik patlamalar, göktaş çarpması gibi olaylar sonucunda açığa çıkan enerjinin, deniz yüzeyinde uzun periyotlu dalgalar oluşturmasıyla meydana gelir. Kıyıdaki yapılara çarparak enerjisini tüketen tsunami dalgalarının zemin üzerinde büyük bir yıkıcı etkisi bulunmaktadır. Bu dalgalar, hem denizden karaya doğru tırmanırken hem de karadan tekrar denize dönerken zemine büyük bir kuvvet uygulayarak kıyıda bulunan yapılara büyük hasar vermektedir. Bu çalışmada tsunami dalgalarının betonarme yapıya çarpması sonucu oluşturduğu etkiler yönetmelikler çerçevesinde incelenmektedir. Ayrıca tsunami dalgalarının fiziksel özellikleri, oluşumu, hareketi ve kıyılardaki davranışlarına değinilmekte, dünyadan ve ülkemizden önemli tsunami olayları özetlenmekte, olası tsunami olayları karşısında gerekli olabilecek korunma yöntemleri anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tsunami, betonarme yapı, tahliye barınakları, hidrodinamik kuvvet, enkaz kuvveti, dalga kuvveti, deprem kuvveti.

SUMMARY

Tsunami is a series of long period waves, caused by earthquakes, landslides, volcanic eruptions or meteorite impacts on the ocean or sea floor. Tsunami waves which spend their energy by striking to coastal structures, has a devastating effect on the ground. These waves damage the structures on shore by applying very large force to the ground as they move along from the sea to the land and also return back to the sea from the land. In this study, effects of tsunami waves on reinforced concrete building are investigated based on codes. In addition, physical characteristics, formation, acting on coastal structures of tsunami waves are discussed, important tsunami events from all over the world and our country are summarized, required protection methods in the case of tsunami events are explained.

Keywords: Tsunami, reinforced concrete structure, evacuation shelters, hydrodynamic force, debris impact force, surge force, earthquake force.

TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında beni yönlendiren, bilgisini, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mizan Doğan Hocam'a, yetişmemde emeği geçen diğer bütün bölüm hocalarıma, hayatım boyunca her konuda desteklerini bana hissettiren ve her zaman yanımda olan başta annem ve babam olmak üzere aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nazlı Seda ÇORBACI

Ocak, 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
 1. GİRİŞ	 1
 2. TSUNAMİNİN OLUŞUMU VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	 4
2.1 Tsunaminin Fiziksel Özellikleri	4
2.2 Tsunaminin Oluşumu	6
2.3 Faylanma ve Dalgaların Oluşumu	8
2.4 Tsunami Büyüklüğü	10
 3. TSUNAMİ OLUŞUM ŞEKİLLERİ	 12
3.1 Depremle Oluşan Tsunamiler	12
3.2 Volkanlarla Oluşan Tsunamiler	14
3.3 Heyelanlarla Oluşan Tsunamiler	15
3.4 Meteor Çarpması Sonucu Oluşan Tsunamiler	15
3.5 Sualtı Patlatmaları Sonucunda Oluşan Tsunamiler	15
 4. TSUNAMİ TARİHÇESİ	 16
4.1 Dünyada Olmuş Tsunamiler	16
4.2 Türkiye’de Olmuş Tsunamiler	19
 5. ÖNLEM VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ	 24
5.1 Tsunami Uyarı Sistemleri	24
5.2 Tsunami Tahliye Barınakları	27
5.2.1 Barınakların fonksiyonel yönden değerlendirilmesi	28
5.2.2 Binanın şekli ve yapısal formu açısından değerlendirilmesi	29

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.2.3 Tahliye barınaklarına Japonya'dan örnekler	30
5.4 Tsunamiden Korunma Konusunda Temel Kurallar	33
6. TSUNAMİ ETKİLERİ	35
6.1 Tarihsel Veriler	35
6.2 26 Aralık 2004 Güney Asya Tsunamisine Ait Gözlemler	36
6.2.1 Sumatra kıyılarındaki hasar düzeyleri	36
6.2.2 Malezya kıyılarındaki hasar düzeyleri	37
6.3 Tsunami Sonucu Yapıya Etkiyen Yükler	39
6.3.1 Hidrostatik kuvvetler	39
6.3.2 Yüzen kuvvetler	39
6.3.3 Hidrodinamik kuvvetler	40
6.3.4 İtme kuvvetleri	41
6.3.5 Enkaz etkisi kuvvetleri	42
6.3.6 Su yoluyla taşınan enkaza set çekilmesi	43
6.3.7 Yükseltici kuvvetler	44
6.4 Yük Kombinasyonları (FEMA P646, CCH 2000 VE KANADA NBCC 2005)	44
6.5 Tsunami Dalga Yüksekliği	47
7. BİR BETONARME BİNANIN TSUNAMİ YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ İLE İLGİLİ SAYISAL ÖRNEK	49
7.1 Kolon Kuvvetlerinin 3 m Tsunami Dalga Yüksekliğine Göre Hesabı	51
7.1.1 Kolondaki hidrodinamik kuvvet	51
7.1.2 Kolondaki etki kuvveti	51
7.2 Perde Kuvvetlerinin 3m Tsunamiye Göre Hesabı.....	52
7.2.1 Perdedeki hidrodinamik kuvvet	53
7.2.2 Perdedeki dalga kuvveti	54
7.3 C8 Kolonu Üzerindeki Yük Kombinasyonları	55
7.4 Perde Üzerindeki Yük Kombinasyonları	57
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
9. KAYNAKLAR DİZİNİ	62
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Tsunami öncesi ve sonrası uydu görüntüleri; (a) Aceh, Sumatra, 2004, (b) Minamisanriku, Japonya, 2011	2
2.1 Dalga ile tsunaminin arasındaki farkı gösteren diyagram	4
2.2 Tsunami derinlik ve hız arasındaki ilişki.....	5
2.3 Tsunaminin oluşumu;(a)Faylanma durumu,(b)Tsunaminin oluşum evreleri ve etkisi.....	6
2.4 2004 Güney Asya tsunamisi etki alanı	7
2.5 Fay atımı	8
2.6 Dalga özellikleri	9
2.7 a) Tsunami periyodu (T) ile deprem büyüklüğü (M), b) Deprem (M) ile tsunami (m) büyüklüğü arasındaki ilişki	11
3.1 Depremle meydana gelen tsunami	12
3.2 Volkanik tsunami örnekleri	14
3.3 Tsunami oluş şekilleri ; (a) Heyelanla oluşan tsunami, (b) Meteor çarpmasıyla oluşan tsunami, (c) Su altı patlamasıyla oluşan tsunami	15
4.1 Tsunami sonrası görüntüler, Japonya 2011	17
4.2 Tsunami sonrası görüntüler; (a) Sumatra Adası 2004, (b) Tayland 2004	18
4.3 Ege’de meydana gelen Santorini tsunamisi	19
4.4 Gölçük’ten deprem sonrası görüntüler,1999	21
4.5 Türkiye çevresinde oluşan depremlerin büyüklüklerine göre dağılımları; a)Deprem büyüklüğü >5, b) Deprem büyüklüğü >6, c) Deprem büyüklüğü >7	22
4.6 a) Ege kıyılarını, b) Akdeniz kıyılarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemesi olası tsunami dalgalarının tahmin edilen oluşma bölgeleri	23
5.1 Tsunami dalgalarının ilerleme süreleri ve uyarı ağı	24
5.2 Tsunami uyarı ağı aparatları	25
5.3 Tsunami risk haritasında gösterilen tahliye rotası	28
5.4 Binanın geometrisi	29
5.5 Ayrılabilen ve güçlü duvarlar	30
5.6 (a) Nishiki Kulesi, Japonya, (b) Tasukaru Kulesi, Japonya, (c) Shirahama Sığınağı, Japonya	31
5.7 (a) Kaifu Tsunami Barınağı, Japonya, (b) Aonae’de inşa edilen banket, Japonya, (c) Aonae’deki tsunami sığınağı olarak kullanılan okul, Japonya	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Tsunami dalga yüksekliklerine göre bina hasar dereceleri	35
6.2 Sumatra kıyılarında tsunami dalgalarının a)Ahşap yapılar, b)Betonarme yapılar, c) Altyapı üzerindeki hasar düzeyleri	37
6.3 Tsunami sonrası Malezya kıyılarındaki hasar	38
6.4 Hidrostatik kuvvet etkisi	39
6.5 Binadaki yüzen kuvvetler	40
6.6 Hidrodinamik kuvvet etkisi	40
6.7 Suyun itme etkisi ve su ile taşınan enkaz etkisi	42
6.8 Enkaz etkisi; (a) 1993 Okushiri tsunamisi, (b) 2004 Güney Asya tsunamisi	42
6.9 Yükseltici kuvvetler	44
6.10 Önerilen yükleme koşulları; a)Başlangıç etki , b)Sonraki etki	46
6.11 R, z, x, l, h_{max} parametrelerinin gösterimi	47
6.12 Tsunami dalga yüksekliği için her bir kütle lineer momentum değişimi	48
7.1 Binanın plan görünümü ve yüksekliği	50
7.2 Hidrodinamik ve etki kuvvetleri için kolon modellemesi	52
7.3 Perdedeki hidrodinamik kuvvet ve etki kuvveti	54
7.4 Perde üzerindeki dalga ve etki yükleri	54
7.5 (a) Hidrodinamik ve etki kuvvetleri için C8 kolonu analiz değerleri, (b) Hidrodinamik ve etki kuvvetinin kolon üzerinde gösterimi	55
7.6 Hidrodinamik ve etki kuvvetleri için perde analiz değerleri	57
7.7 Dalga ve etki kuvvetleri için perde analiz değerleri	57
7.8 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için elde edilen sonuçların grafik üzerinde değerlendirilmesi; (a) Kolondaki toplam hidrodinamik kuvvetler, (b) Perdedeki toplam hidrodinamik kuvvetler, (c) Perdedeki toplam dalga kuvvetleri	61
7.9 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için tsunami kuvvetleri ile depremde kaynaklanan (a) Eksenel kuvvet, (b) Kesme Kuvveti, (c) Moment değerlerinin karşılaştırılması	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Tsunaminin büyüklüğü, enerjisi ve tırmanma yüksekliği	11
2.2 Tsunami enerjisi ile deprem enerjisinin karşılaştırılması	11
4 Dünyada olmuş tsunamiler	16
6.1 Lokal tsunami akış hızına göre ayakta kalan bina tipleri	36
6.2 Sürüklenme katsayıları	41
6.3 Enkaz etkisi süresi	43
6.4 Su üzerindeki enkaz için kütle ve rijitlik değerleri	43
7.1 SDC kategorilerine göre bina yerleşimleri	49
7.2 3 m tsunami kuvvet modeli için kolon sonuçları	55
7.3 3 m tsunami C8 kolonu için yük kombinasyonları özeti	56
7.4 SDC A dizayn kuvvetleri ve 3 m tsunami kuvvetleri	56
7.5 3 m tsunami kuvvet modelleri için perde analiz sonuçları	57
7.6 3 m tsunami yüksekliğinde incelenen perde için yük kombinasyonlarının özeti	58
7.7 3 m tsunami yüksekliği ve perde için maksimum yük değerleri	58
7.8 3 m tsunami kuvvetleri ve perde kapasitesi	58
7.9 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için C8 kolonu kuvvetlerinin dizayn değerleriyle karşılaştırılması	59
7.10 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için perde kuvvetlerinin dizayn değerleriyle karşılaştırılması	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A_f	Kat panelinin alanı
A_w	Paneldeki ıslak alan
B_d	Enkaz setinin derinliği
B	Yapının genişliği
b	Duvarın genişliği
C_m	İlave edilmiş kütle katsayısı
C_d	Sürüklenme Katsayısı
D	Hareketli yük
F_s	Kolon ve kirişler üzerindeki itme kuvvetleri
F_h	Hidrostatik kuvvet
F_b	Yüzen kuvvet
F_d	Hidrodinamik kuvvet
F_i	Enkaz etkisi kuvveti
g	Yerçekimi ivmesi
h_b	Kat tarafından yeri değiştirilen su yüksekliği
h_{max}	Duvar temelının üstündeki maksimum su yüksekliği
H	Akış Derinliği
k	Enkazın etkin rijitliği
L	Ölü yük
l	Sahil başlangıç çizgisinden maksimum dalga yüksekliğine kadar toplam mesafe
m	Enkazın kütlesi
n	Hareketli yük katılım katsayısı
p_c	Hidrostatik basınç
R	Tsunami dalga yüksekliği
U	Akış hızı
u_{max}	Enkaza taşıyan maximum akış hızı
V	Bina tarafından yeri değiştirilen suyun hacmi
w	Perde genişliği
w_d	Birim yükseklikteki hidrodinamik kuvvet
x	Sahil başlangıç çizgisinden sahile doğru olan mesafe

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Z	Yapının temelindeki zemin yüksekliği
ρ_s	Tortu içeren akışkan yoğunluğu
α	Sahil eğimi
Δ_t	Yapı elemanı için farzedilen enkaz etkisi süresi
γ	Deniz suyunun yoğunluğu

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ASCE/SEI	American Society of Civil Engineers / Structural Engineering Institute
cm	Santimetre
CCH	City and County of Honolulu Building Code
et al	Ve diğerleri
FEMA/ CCM	Federal Emergency Management Agency/ Coastal Construction Manual
IBC	International Building Code
JMA	Japon Meteoroloji Ajansı
km	Kilometre
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
kNm	Kilonewton metre
m	Metre
N	Newton
NBCC	The National Building Code of Canada
s	Saniye
SDC	Seismic Design Categories
t	Ton
TDY	Türk Deprem Yönetmeliği
vd	Ve diğerleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Tsunami sözcüğü, Japonya'da, yaklaşık 21.000 kişinin hayatını kaybettiği 1896 yılındaki “Büyük Meiji Tsunamisi”nden sonra, Japonlar'ın tüm dünyaya yaptığı yardım çağrısı içinde yer alan sözcük olarak tanınmış, o tarihten beri de birçok dilde aynı adla “tsunami” olarak kullanılmaya başlanmıştır. Tsunami sözcüğü Çince kaynaklı olup, tsu (liman) ve nami (dalga) sözcüklerinin birleşiminden oluşarak “liman dalgası” anlamında kullanılmaktadır. Bunun nedeni, zayıf bir tsunaminin bile kıyılarda ve sığ sularda şiddetli akıntılar oluşturması ve özellikle limanlarda hasara yol açmasıdır.

En az anlaşılan doğa olaylarından biri olan tsunami, tüm doğal afetler arasında en büyük yıkıma yol açanlar arasındadır. Tsunami dalgaları genelde deprem gibi denizaltı hareketlenmeleri veya volkanik patlamalar sonucu açığa çıkmakta olup, okyanusları baştan sona aşabilir, şehirleri tamamen yutabilir ve geride onbinlerce ölü bırakabilirler. Tarih boyunca felaketlere yol açmış olan tsunamiler öldürücü oldukları kadar gizemlidir. Çünkü bugüne kadar çok azı bilim adamları tarafından gözlenebilmiştir. Pek çoğu önceden çok az uyararak ya da uyarmadan meydana gelen tsunamiler, sadece geçen yüzyılda 60 binden fazla insanın ölümüne yol açmıştır.

Tsunami, kuvvetli bir etki sonucu oluşması nedeniyle, bünyesinde taşıdığı su zerrecikleri aniden yoğunlaşır ve viskoz hale gelir. Bu haliyle rüzgar dalgalarından ayrılır. Tsunami dalgası içinde bir canlının hareket etmesi zordur. Canlı cansız içerdği her şey sürükleyici kuvvetin enerjisi bitene kadar tsunami dalgası ile birlikte hareket eder. Bu hareket esnasında bu dalgalar ya açıklıkta uzun yol kat ederek sönümlenir veya deniz ve kıyıdaki yapılara çarparak sönümlenir. Tsunami dalgalarının diğer deniz dalgalarından farkı, su zerreciklerinin sürüklenmesi sonucu hareket kazanmasıdır. Derin sularda varlığı hissedilmezken, sığ sulara geldiğinde dik yamaçlı kıyılarda ya da V tipi daralan körfez ve koylarda bazen 30 m'ye kadar tırmanarak çok şiddetli akıntılar

yaratabilen bu dalga; insanlar için deprem, tayfun, çığ, yangın ya da sel gibi bir doğal afet haline gelebilmektedir.

Tsunami ilk oluştuğunda tek bir dalgadır ancak kısa bir süre içerisinde üç ya da beş dalgaya dönüşerek çevreye yayılmaya başlar. Bu dalgaların birincisi ve sonuncusu çok zayıftır ancak diğer dalgalar etkilerini kıyılarda şiddetli biçimde hissettirebilecek bir enerjiyle ilerlerler. Bu nedenle depremlerden kısa bir süre sonra kıyılarda görülen yavaş ama anormal su düzeyi değişimi ilk dalga geldiğini gösterir. Bu değişim, arkadan gelecek olan çok kuvvetli dalgaların ilk habercisi de olabilir.

Genelde tsunaminin verdiği hasar, kendisini oluşturan ana etkinin verdiği hasardan daha büyük olmaktadır. Örneğin 2004 Endonezya ve 2011 Japonya’da olan depremlerden büyük hasarlar olmazken bu depremler sonucu oluşan tsunamilerden çok büyük hasarlar olmuştur. Tsunami dalgalarının kıyı yapılar üzerinde oluşturduğu hasar etkisi Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1 Tsunami öncesi ve sonrası uydu görüntüleri; (a) Aceh, Sumatra, 2004, (b) Minamisanriku, Japonya, 2011

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, tsunami dalgalarının betonarme yapıya çarpması sonucu oluşturduğu etkiler yönetmelikler çerçevesinde incelenmektedir. Yedi bölümden oluşan bu çalışmanın ikinci bölümünde, tsunaminin oluşumu ve fiziksel özelliklerinden; üçüncü bölümde tsunamiyi meydana getiren etkenlerden; dördüncü bölümde ise tarih boyunca dünyada ve Türkiye’de meydana gelen tsunamilerden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, tsunamiye karşı önlem ve uyarı sistemleri ile tsunami tahliye binalarının dizaynına değinilmiştir ve Japonya’da bulunan tahliye binalarından birkaçının genel özelliklerinden bahsedilmiştir. Altıncı bölümde, tsunaminin yapıya olan etkileriyle ilgili tarihsel verilerden ve FEMA P646 yönetmeliğine göre tsunami sonucu yapıya etkiyen kuvvetlerden bahsedilmiştir. Bu bölümde ayrıca dünya çapında çeşitli yönetmeliklerde geçen yük kombinasyonlarına değinilmiştir. Yedinci bölümde, bir betonarme binaya çeşitli dalga yüksekliklerinde etkiyen tsunami yüklerinin belirlenmesiyle ilgili sayısal bir örnek çözülmüştür. Ayrıca incelenen yapıda tsunamiden kaynaklanan kuvvetler, deprem kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2

TSUNAMİNİN OLUŞUMU VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

2.1 Tsunaminin Fiziksel Özellikleri

Normal okyanus dalgaları ortalama 100 m dalga uzunluğuna sahipken tsunamilerde dalga uzunluğu 200 km'ye kadar çıkabilir. Ayrıca tsunami dalgaları, diğer normal okyanus dalgalarına göre daha hızlı hareket eder. Suyun en derin olduğu okyanusun açık bölgelerinde tsunamilerin hızı saatte 900 km veya daha fazla olabilir. Normal okyanus dalgalarının hızı ise saatte 90 km'ye yakındır. Hız ve su derinliği arasındaki ilişkiden dolayı, dalgalar sık kıyı sularına eriştiklerinde birbirlerinin üzerine yığılır biçimde aniden yavaşlar. Bu durum, dalga yüksekliğinin, sahin su seviyesinden çarpıcı bir biçimde artmasına neden olur. Bazı verilere göre bu dalgaların normal deniz seviyesinin 20, 30 hatta 40 m kadar üzerine çıktıkları belgelenmiştir (Ersoy, 2005).

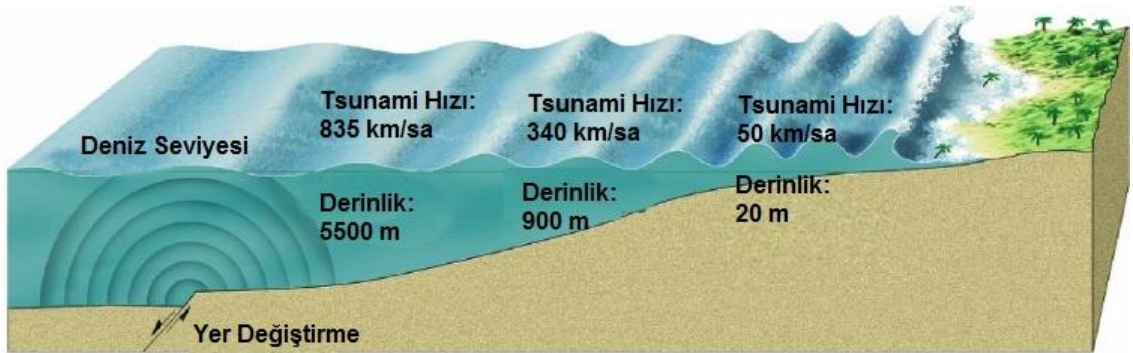
Rüzgarın oluşturduğu dalgadaki suyun hareketi dairesel ve kıyıda ileriye-geriye doğru iken tsunamideki suyun hareketi çok hızlı hareket eden bir akıntı şeklindedir (Şekil 2.1). Bu nedenle verdiği zarar çok daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.1 Dalga ile tsunaminin arasındaki farkı gösteren diyagram
(<http://www.ess.washington.edu/tsunami/index.html>)

Tsunaminin kıyıya eriştikten sonraki davranışı normal okyanus dalgalarından farklıdır. Bazen kıyıdaki su, tsunami başlangıcından önce belirgin şekilde çekilebilir. Bu sırada deniz tabanı görülür, balıklar çırpınmaya başlar, tekneler tabana vurur. Çekilme olarak bilinen bu durumdan sonra, dalga tekrar kıyıya vurduğunda araştırma ya da izleme için gidenlerin ölümüne sebep olabilir.

Tsunaminin uzun dalga boyu nedeni ile kıyıya ulaşması ve çekilmesi uzun zaman alabilir. Su seviyesi yükselip doruk noktasına ulaştıktan sonra bu noktada dakikalarca kalabilir. Tsunamiler içinde doruk noktasına ulaşım 1 saat gibi uzun bir zaman alabilir. Bunun nedeni hıza ve dalga boyuna bağlı olan dalga frekansıdır. Uzun dalga boyuna sahip tsunami dalgasının bir tepe noktasından bir sonraki tepe noktasına ulaşma süresi uzun zaman alır. Dalga periyodu dediğimiz süre 5-60 dakika kadardır. Açık denizlerde dalga dorukları arasındaki uzaklık yaklaşık 100 km ve dalga genişliği ise 1 m'yi geçmediğinden buradaki gemilerde tsunami hissedilmez. Okyanus tabanı, kıyılara doğru yükseldiğinden dalga hızı azalır ve bunun sonucu dalga yüksekliği artar (Şekil 2.2). Dalga yüksekliği, kıyı topoğrafyasına ve kıyının biçimine bağlıdır. Tsunaminin yayılma hızı $C = \sqrt{g \cdot d}$ olarak ifade edilir. Bu ifade de "g", yer çekimi ivmesi ve "d" de su derinliğidir (Bishop, 1988). Tsunami yayılma hızında su derinliğinin büyük etkisi olmasından dolayı tsunaminin derin sularda yani okyanuslarda daha etkili olduğu söylenebilir. Aynı düşünce ile tsunami küçük denizlerde, okyanuslarda olduğu gibi etkili olmaz. Buna göre ülkemizde çok yıkıcı tsunami beklenmez.

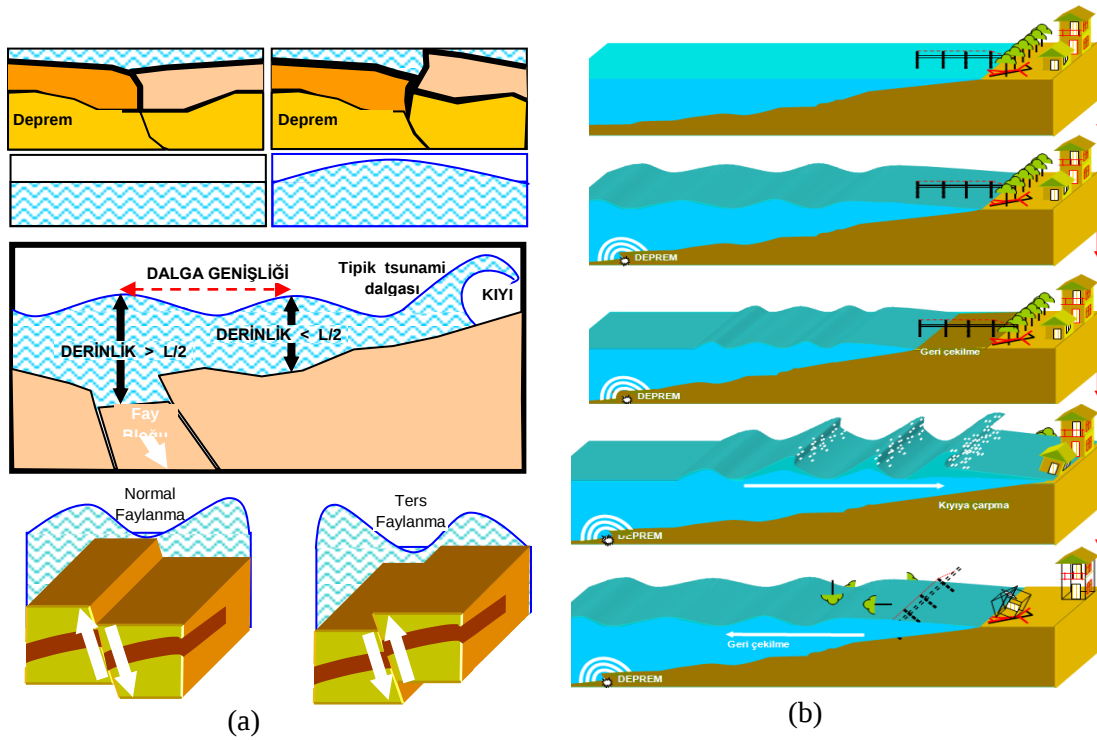


Şekil 2.2 Tsunami derinlik ve hız arasındaki ilişki

2.2 Tsunaminin Oluşumu

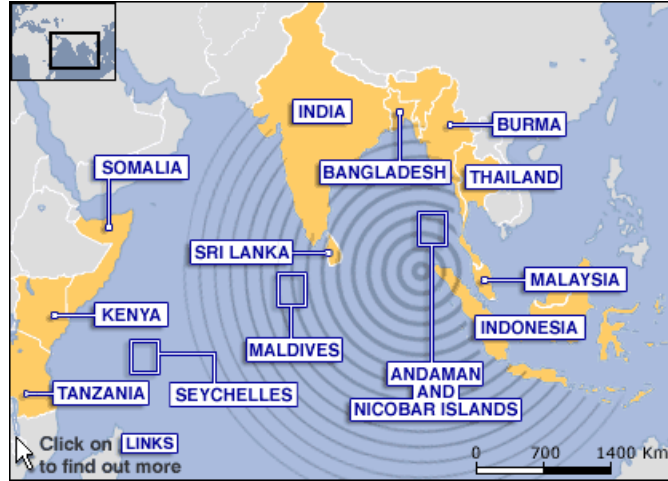
Çoğu tsunami kıyıya yakın ya da uzak depremler nedeni ile meydana gelir. Dalga gruplarının asıl sebebi, enerji boşalımları ve deprem sonucu oluşan kabuksal deformasyonlardır. Büyük bir deniz dibi hareketine neden olan tsunami olayı, aynı zamanda eşit hacimdeki suyun yer değiştirmesine de neden olur.

Sismik etki ile doğrudan tsunami oluşması için, deniz altında depremle beraber normal atılımlı fay kırılması olması gerekir (Şekil 2.3.a). Normal atılımlı faylanma, fay kırığının olduğu çizginin bir yanındaki zeminin diğer yandaki zemine göre bir miktar yükselmesi veya alçalması sonucu oluşan faylanmadır. Bu faylanma sonucu suya dik yönde gelen etki, tsunaminin oluşmasına sebep olabilir. Diğer faylanma durumları, tsunami oluşmasında normal atılımlı faylanma kadar etkili değildir. Şekil 2.3.b’de tsunaminin oluşumu adım adım görülmektedir.



Şekil 2.3 Tsunaminin oluşumu; (a) Faylanma durumu, (b) Tsunaminin oluşum evreleri ve etkisi (Doğan, 2011)

Tsunami dalga grubunun önemli bir özelliği, bu dalgaların birincisi ve sonuncusunun dalga yüksekliği ve dolayısıyla şiddetinin diğer orta dalgalara göre düşük olmasıdır. Tsunami dalgası, ilerlerken suyun hareketi gereği derinliğin az olduğu yerlerde yansımaya çalıştığından derin sulara doğru yönelir. 26 Aralık 2004'teki Güney Asya tsunamisinde oluşan dalgaların, derinliğin büyük olduğu yöne doğru hareket etmesi sonucu dalgalar, Afrika kıyılarına kadar ulaşmıştır (Şekil 2.4). Çünkü bu tür dalgalar, derin sularda hem daha hızlıdır hem de daha geniş alana yayılır. Bundan dolayı Güney Asya tsunamisinde de görüldüğü gibi tsunamiler açık ve derin okyanuslarda daha çok görülmekte ve daha etkili olmaktadır.

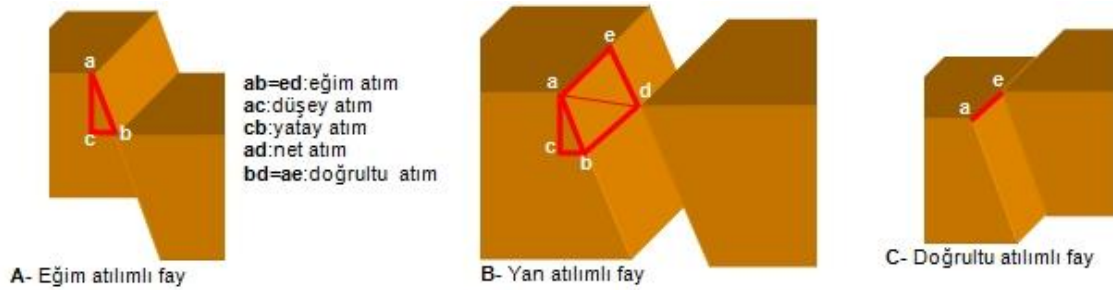


Şekil 2.4 2004 Güney Asya tsunamisi etki alanı (BBC News, 2004)

Sesli bir biçimde kıyıya gelişi ve su yüzeyinin anormal bir biçimde (10-15 dk) yükselmesi ya da alçalmasıyla kendini belli eden tsunami dalgaları önüne çıkan ada gibi engellere çarpıp sapmaya uğrayarak ilerlemeye devam eder. Öncü dalganın şiddeti diğer dalgalara göre zayıftır. Bu zayıf dalga arkadan gelecek şiddetli dalgaların habercisi olmaktadır. Tsunami dalgaları kıyıya geldiğinde yansımadan dolayı tırmanmaya başlar. Bu tırmanma sırasında karşılaştığı engellere şiddetine göre çeşitli hasarlar vermektedir. Dalgalar denize geri dönerken önce dalga yönünde etkilediği yapıları bu sefer tersi yönünde etkileyerek yapıların hasar görmesini artırmaktadır.

2.3 Faylanma ve Dalgaların Oluşumu

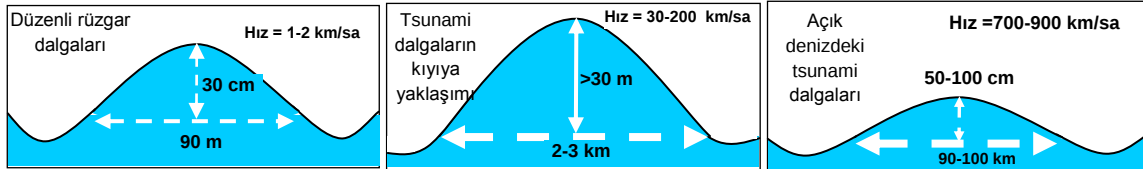
Faylanmış kayaçlarda, iki blok arasındaki yer değiştirmenin miktarına atım denir. Faylarda atımın değişik türleri vardır. Fay bloklarının birbirine göre fay düzleminin eğimi boyunca aşağı veya yukarıya doğru yaptıkları yer değiştirme miktarına eğim atım denir. Eğim atımın dikey bileşenine düşey atım, yatay bileşenine ise yatay atım denir. Fay düzleminin yalnız doğrultu boyunca blokların birbirine nazaran yaptıkları yer değiştirme miktarına doğrultu atım adı verilir (Şekil 2.5). Faylarda atımı tam olarak belirten net atımdır. Net atım, blokların fay düzleminin hem doğrultusu hem de eğimi boyunca gerçekleşen kaymanın bileşkesi olup, yer değiştirmenin gerçek değerini verir. Net atım sadece yanal atımlı faylarda gelişir ve ölçülür. Çünkü sadece yanal atımlı faylarda hem doğrultu hem de eğim boyunca oluşan kayma söz konusudur. Halbuki, sadece eğim atıma sahip faylar, eğim atımlı normal ve ters faylardır. Sadece doğrultu atıma sahip faylar, doğrultu atımlı faylardır.



Şekil 2.5 Fay atımı (Doğan, 2011)

Tsunami, uzun periyotlu ve en fazla 4-5 dalganın peş peşe hareketinin oluşturduğu deniz dalgaları olarak görülür. Tsunaminin etkisini belirleyen; depremin, denizin ve zeminin özellikleridir. Deprem sonucu oluşan enerji, su ortamında dalga hareketi ile ilerleyebilmektedir. Bu dalgaların hepsi, dalgayı oluşturan etkilerin özelliklerine göre değişmektedir.

Tsunamilerin denizlerdeki yayılma hızı yaklaşık 700-900 km/sa'tır. Açık denizlerdeki tsunami dalga dorukları arasındaki uzaklık yaklaşık 100 km'yi, dalga genliği ise 1 m'yi geçmez (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Dalga özellikleri (Doğan, 2011)

Rüzgarın oluşturduğu dalgalarda, dalga süresi 5 ile 10 saniye (takip eden iki dalga arası süre), dalga uzunluğu 100-200 m (takip eden iki dalga arası uzunluk) arasında değişir. Tsunami dalgalarında ise dalga süresi 10 dakika ile 2 saat ve dalga uzunluğu da 5-10 km ile 500 km arasında değişir.

Tsunamiler, su derinliği ile dalga boyu arasındaki oranın çok büyük olması nedeniyle sığ su dalgası olarak değerlendirilir. Derin sularda hemen hiç enerji kaybetmeden çok yüksek hızla ilerleyen tsunami, okyanus aşırı mesafelere kısa zamanda ulaşır. Örneğin; derinliği 6 km olan bir denizde tsunami, saatte 900 km gibi bir jet uçağı hızı ile ilerler.

Tarihte olmuş tsunamilerin dalga yüksekliği en büyük olanı, 70 m ile Alaska'nın Valdez Körfezi'nde 1883 yılında meydana gelmiştir. Saatte 660 km hızla, 24.000 km kat ettikten sonra Biscaya Körfezi'nde kendisini göstermiş, Manş Denizi, Kuzey Denizi ve Skagerak üzerinden Danimarka'ya ulaşmış ve suyun 10 cm yükselmesine neden olmuştur. 1960 yılında ise Şili açıklarında meydana gelen tsunami, Şili kıyısına yaklaştığında suyu o kadar hızla emmiştir ki denizin dibine vuran ve çırpınan balıkları avlamaya koşan yaklaşık 2500 kişi, bu avdan bir daha geri dönememiştir. Pasifik Okyanusu'nun 17.000 km uzaklıktaki öbür ucuna saatte 1000 km hızla geçen bu tsunami, Japon sahillerini de 20 m'yi bulan bir ölüm duvarı ile vurmuş, çok büyük zararlara neden olmuştur.

Havadaki atmosfer basıncı değişimleri ya da karmaşık yön ve hızda esen fırtınalar ya da depremin sarsıntısı ile oluşan küçük dalgalanmaların kapalı denizlerde dolaşırken yansımalarla birikmesi ile bir süre içinde ortaya çıkan “salınım” adı verilen bir başka uzun dönemli dalga türü daha vardır. Bu tür dalgaların oluşması için, kıyılarda yansımanın yüksek düzeyde olması ve denize geçen enerjinin su ortamında bir süre dolaşması gerekir. Küçük genlikli küçük dönemli dalgalar, uzun dönemli dalgalara göre kıyılardan kolay yansıyamaz ve enerjilerinin büyük bölümünü yitirirler. Salınım ile tsunami dalgaları arasındaki en belirgin fark, tsunaminin hemen oluşması ve 4-5 dalga grubu olarak hareket etmesi; salınının ise daha geç oluşması, fazla sayıda dalga grubu olması ve daha uzun süreli olmasıdır.

İlerleyen bir salınım dalgasının yüzey yörünge hareketi, su içinde aşağı doğru giderek zayıflayan bir biçimde iletilir ve yüzeyden yaklaşık dalga boyunun yarısı kadar bir derinlikte etkisizleşir. Buna karşın okyanus derinliklerinden daha büyük olabilen tsunami dalgaları yörünge hareketi açısından deniz tabanına yakın kesimlerde önemli gecikmelere uğrayarak derinlik ne olursa olsun bir sığ su davranışı göstererek devam eder. Yani salınının hızı, derinleştikçe azalırken; tsunami dalgasının hızı değişmez (Yalçiner, 1999).

2.4 Tsunami Büyüklüğü

1896 yılında Japonya’daki Meiji tsunamisinin şiddeti $M=4$ olup kıyılardaki tırmanma yüksekliği 30 m, can kaybı ise 21.000 kişidir. Yine Japonya’da 1933 yılındaki Sanriku tsunamisi, 25 m tırmanmış ve 3.000 kişi ölmüştür (Yalçiner ve Kuran, 1993). Tsunami büyüklüğü (m); H , merkezden 10-300 km uzaklıkta ölçülmüş tsunami dalga yüksekliği olmak üzere, $m = \log_2 H$ bağıntısıyla hesaplanabilir (Yalçiner ve Kuran, 1991). Çizelge 2.1’de tsunaminin büyüklüğü, enerjisi ve tırmanma yüksekliği arasındaki ilişki gösterilmiştir. Tsunamilerin büyüklükleri -1 ile 5 arasında değişmektedir. Tsunami periyodu ile deprem büyüklüğü birbirinden farklıdır. Deprem enerjisi, tsunami enerjisinden yaklaşık 10 kat daha büyüktür (Çizelge 2.2).

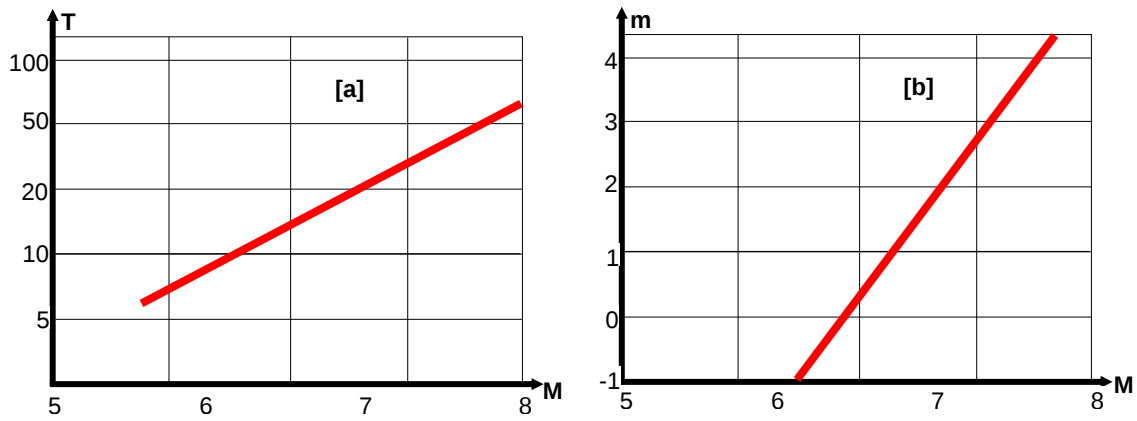
Çizelge 2.1 Tsunaminin büyüklüğü, enerjisi ve tırmanma yüksekliği (Wiegel, 1990)

m (tsunami büyüklüğü)	Tsunami enerjisi ($\times 10^{23}$ erg)	Tsunami tırmanma yüksekliği (m)
5	25.6	>32
4	6.4	16-24
3	1.6	8-12
2	0.4	4-6
1	0.1	2-3
0	0.025	1-1.5
-1	0.006	0.50-0.75

Çizelge 2.2 Tsunami enerjisi ile deprem enerjisinin karşılaştırılması (Wiegel, 1990)

Tarih	Yer	Tsunami enerjisi ($\times 10^{22}$ erg)	Deprem enerjisi ($\times 10^{23}$ erg)	Tsunami enerjisi / Deprem enerjisi
1933	Sanriku	17.0	20.0	0.085
1944	Tonankai	7.9	6.4	0.120
1946	Nankaido	8.0	9.0	0.088
1952	Tokachi	8.0	9.0	0.088
1952	Kamchatka	15.0	13.0	0.110

Deprem ile tsunami büyüklüğü ve periyodu arasındaki ilişki Şekil 2.7’de verilmiştir.



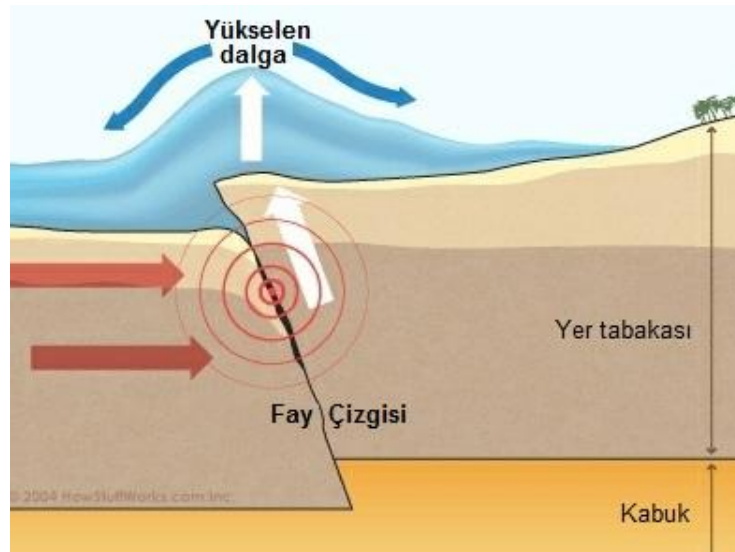
Şekil 2.7 a) Tsunami periyodu (T) ile deprem büyüklüğü (M), b) Deprem (M) ile tsunami (m) büyüklüğü arasındaki ilişki (Doğan, 2011)

BÖLÜM 3

TSUNAMİ OLUŞUM ŞEKİLLERİ

3.1 Depremle Oluşan Tsunamiler

Tsunamiye neden olan herhangi bir depreme tsunamijenik deprem denir. Tsunaminin büyüklüğü onu meydana getiren depremin büyüklüğüne bağlıdır. Daha büyük bir deprem daha büyük bir tsunaminin meydana gelmesine neden olur. Ancak depremlerin büyüklüğü ile tsunamilerin ilişkisi her zaman bu kadar basit değildir. Tsunamilerin meydana gelişi, kabuğun yatay deformasyonlarından çok düşey deformasyonlarıyla ilgilidir. 1906 San Fransisko Depremi'nde faylar boyunca deniz tabanı 6 m yer değiştirmesine rağmen, tsunami meydana gelmemiştir. Depremin olduğu San Andreas Fayı, suyun dibinde düşey hareket olmadığı, yatay bir ötelenmeyle karakterize edilir. Bunun tersine, deniz tabanı düşey olarak hareket ederse su, sanki bir kürekle deformasyon seviyesinden dışarıya atılıyormuş gibi davranır. Yani, normal veya ters faylar boyunca gelişen düşey hareketler sonucu kabuksal ötelemeler tsunamiyi oluşturur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Depremle meydana gelen tsunami

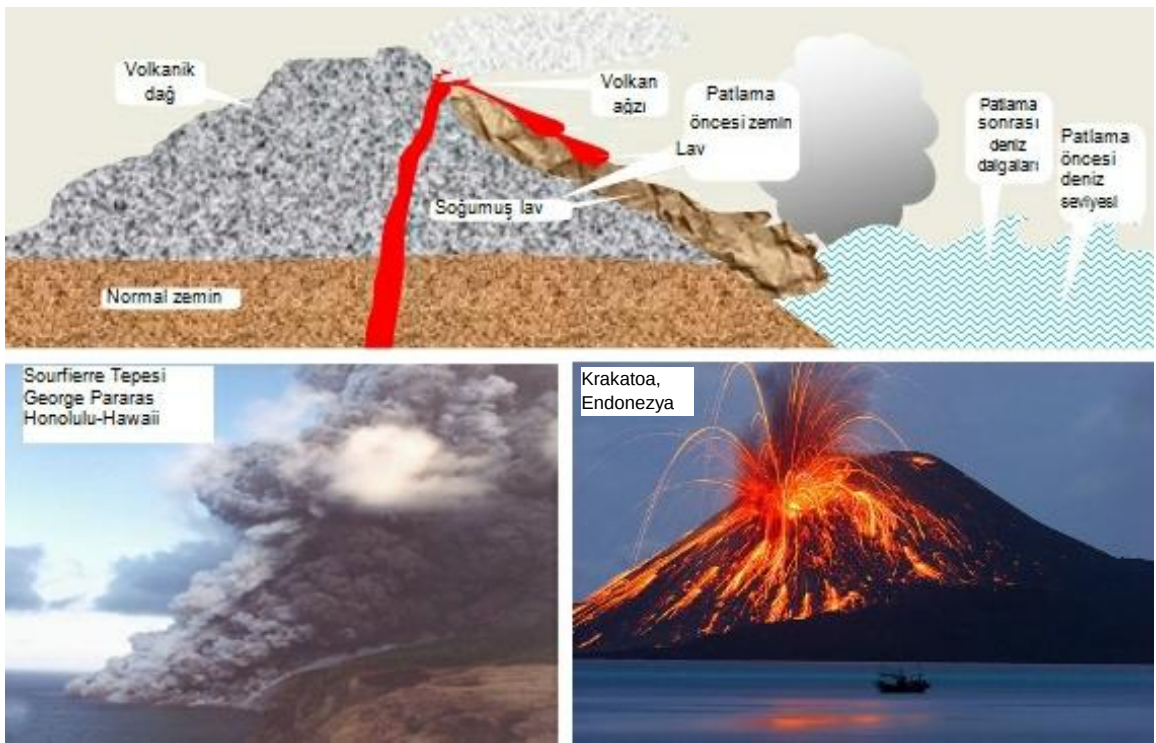
Büyük depremlerde meydana gelen düşey hareket normal veya ters faylanma olsa bile, bazen orta büyüklükte bir tsunami oluşur ya da hiç oluşmayabilir. Bazen de meydana gelen deprem küçük ya da orta büyüklükte olmasına rağmen oluşan tsunami beklenenden daha büyük olabilir. Bu nedenle Japon uzmanlar tsunami oluşturan depremleri kökenlerine göre ayırmışlardır. Depremler, sarsıntının büyüklüğüne göre alışılmışın dışında tsunamiler yaratabilirler. 27.000 kişinin hayatını kaybettiği ve dalgaların 24 m'ye yükseldiği 1896 Sanriku Depremi ile saatte 800 km'lik bir hızla 4,5 saat sonra 18 m'lik dalgalarıyla Hilo kıyılarında 150 kişinin ölümüne ve 25 milyon dolarlık maddi zarara neden olan 1946 Unimak Depremi böyledir. Çünkü bunlar çok büyük ölçekli depremler değildir. Buna rağmen hasar büyük olmuştur.

Okyanuslarla büyük anakara arasında takım adaların olduğu ve iki kıtanın birbirinin altına daldığı kıyılarda depremden sonra adaların su altındaki pekişmemiş kütleleri derin deniz çukurlarına doğru kayar ve çökerler. Bu durum depremin etkisinin daha da büyümesine neden olur ve büyük tsunamiler oluşur. Sanriku ve Unimak tsunamileri bu şekildedir. Dalma batma kuşağı olmamasına karşın böyle bir etki Marmara Denizi'nde de oluşabilir. Çünkü Marmara'da 1000 m'yi geçen 3 tane çukur bulunmaktadır. Bu çukurların yamaçlarında askıda duran, kaymaya hazır bazı çökel kütleleri vardır.

Diğer taraftan, 2 Eylül 1992'de orta büyüklükteki Nikaragua depreminde ($M_w=7$) beklenenden daha büyük bir tsunami oluşmuştur. Tsunaminin maksimum dalga yüksekliği 10 m'ye varmıştır. Dalgalardan yaklaşık 170 kişi hayatını kaybederken, 500 kişi de yaralanmıştır. Bu arada 1500 ev yıkılmış ve 13.000 kişi evsiz kalmıştır. Sanriku ve Aleutian adalarının tersine Nikaragua kıyıları jeolojik olarak daha farklıdır. Bu farklılığa rağmen her ikisinde de orta büyüklükteki depremlerde büyük tsunamiler oluşmuştur. Bunun nedeni Sanriku ve Hilo depremlerinde heyelanların depremin etkisini artırmasıdır. Nikaragua'da ise tsunamiyi büyüten faktör, fayların düşey hareketidir (Ersoy, 2005).

3.2 Volkanlarla Oluşan Tsunamiler

Volkanik patlamalar tsunami oluşturabilir. Volkanik bir patlama büyük hacimlerde kayaları gökyüzüne fırlatma gücüne sahiptir. Eğer volkan suyun altındaysa bu sefer de büyük hacimlerdeki suyu yerinden oynatabilir ve bu da tsunamileri oluşturur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Volkanik tsunami örnekleri (Doğan, 2011)

Java ve Sumatra arasında yer alan ve Endonezya'ya bağlı bir ada olan Krakatoa'daki yanardağ 1883 yılında, beklenmedik bir şekilde faaliyete geçerek yüzlerce nükleer bombanın yaratacağı bir güçle patlamış ve dev tsunamilerin oluşmasına neden olmuştur. Kıyıya ulaştığında yükseklikleri 35 m'yi aşan dalgalar, Java Adası'nda nüfusun en yoğun olduğu yerlerde 136 köyün yok olmasına ve 36.000 kişinin ölümüne sebep olmuştur.

3.3 Heyelanlarla Oluşan Tsunamiler

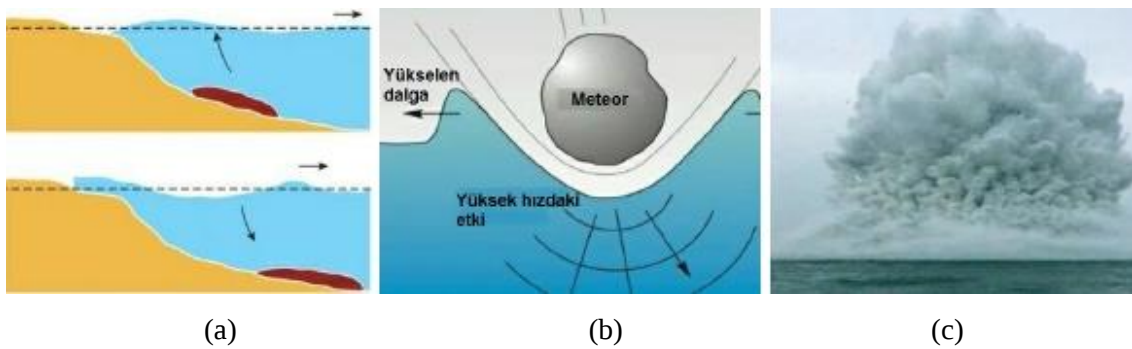
Tsunamiler kıyı ve deniz dibi heyelanları sonucu meydana gelebilirler. Bu tür kayma ve çökmeler ise çoğunlukla volkan ve deprem aktiviteleri ile oluşurlar. Deniz dibi kanyon yamaçlarında gevşek tutturulmuş çökeller birikebilirler. Bunlar herhangi bir depremle sarsıldıklarında kanyonun dibine doğru hareket ederler. Kuzey Amerika'nın batı kıyıları boyunca meydana gelen bu tür kütle hareketleri tsunami oluşturmuştur. Örneğin, 1964 Alaska'da meydana gelen Good Friday Depremi en az 20 ayrı göçme sonucu tsunamileri tetiklemiştir (Şekil 3.3.a).

3.4 Meteor Çarpması Sonucu Oluşan Tsunamiler

Meteorun büyüklüğüne bağlı olarak, okyanusa düşen bir meteor çok yıkıcı dalgalara yol açabilir ve yüzlerce metre yüksekliğinde bir dalga ortaya çıkabilir. Bir meteorun neden olduğu dev bir tsunami, birkaç bin yılda bir olabilir (Şekil 3.3.b).

3.5 Sualtı Patlatmaları Sonucunda Oluşan Tsunamiler

Tsunamiler bazen insanlar nedeni ile oluşurlar. Örneğin 1940 ve 1950'lerde Marshall Adası'nda yapılan nükleer denizaltı testleri tsunamiler meydana getirmiştir. (Şekil 3.3.c).



Şekil 3.3 Tsunami oluş şekilleri ; (a) Heyelanla oluşan tsunami, (b) Meteor çarpmasıyla oluşan tsunami, (c) Su altı patlamasıyla oluşan tsunami

BÖLÜM 4

TSUNAMİ TARİHÇESİ

4.1 Dünyada Olmuş Tsunamiler

Dünyada her 15-18 yılda bir büyük tsunami görülmüştür. Büyüklüğü ve jeolojik özellikleri gereği çeşitli oluşum mekanizmalarına bağlı olmak üzere büyük bir kısmı Pasifik Okyanusu'nda, bir kısmı ise Hint Okyanusu'nda meydana gelmiştir. Tarih boyunca meydana gelmiş tsunamilerin genel listesi Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4 Dünyada olmuş tsunamiler

TARİH	YER	OLUŞ NEDENİ	ÖLÜ SAYISI
21 Temmuz 365	İskenderiye	Deprem	50.000'den fazla
7 Temmuz 1692	Jamaika	Deprem	Binlerce
1700 yılı	Japonya	Deprem	30.000
1 Kasım 1755	Portekiz	Deprem	10.000 ila 60.000
8 Ağustos 1868	Şili	Deprem	Binlerce
26-27 Ağustos 1883	Endonezya Krakatoa Adası	Yanardağ patlaması	36.000
15 Haziran 1896	Japonya	Deprem	27.122
28 Aralık 1908	İtalya ve Sicilya	Deprem	120.000
1 Eylül 1923	Japonya	Deprem	145.000
3 Mart 1933	Japonya Sanriku	Deprem	2990
1 Nisan 1946	Alaska Hilo, Hawaii Adaları	Deprem	165
1960 Mayıs	Şili ve Hawaii Adaları	Deprem	2300
28 Mart 1964	Alaska	Deprem ve heyelan	130
17 Ağustos 1976	Filipinler Mindao Adası	Deprem	8.000
18 Temmuz 1979	Endonezya Lomblem Adası	Yanardağ patlaması	539
16 Ekim 1979	Fransa Nice	Toprak kayması	23
1 Eylül 1992	Nikaragua	Deprem	170
12 Aralık 1992	Flores ve Babi Adaları	Deprem	263
12 Temmuz 1993	Japonya Okuşi Adası	Deprem	200
3 Haziran 1994	Endonezya Batı Java Bölgesi	Deprem	223
11 Kasım 1994	Mindoro Adası	Deprem	70
21 Şubat 1996	Peru kuzey sahili	Deprem	12
17 Temmuz 1998	Papua Yeni Gine	Deprem	3000
26 Aralık 2004	Endonezya Sumatra Adası	Deprem	300.000
11 Mart 2011	Japonya	Deprem	16.000

Tarih boyunca birçok tsunaminin yaşandığı Japonya’da 11 Mart 2011 günü Richter ölçeği ile $M_w = 9.0$ büyüklüğünde meydana gelen deprem, Japonya’nın tüm Pasifik kıyısı boyunca çok büyük bir zarara yol açmış olan büyük bir tsunamiyi meydana getirdi. Deprem sonrasında bölgede, yüksekliği 37.9 metreye varan tsunami dalgaları meydana geldi ve dalgalar saatte 500 km hızla Hawaii’ye ulaştı. Hawaii’nin ardından tsunami dalgaları Kuzey California, Oregon Sahilleri ve Meksika’ya kadar ulaştı. Ancak bu bölgelerde büyük hasara yol açmadı. Japonya’da yaklaşık 16.000 kişinin hayatını kaybettiği bu depremde 3760 kişinin kayıp olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte yapılar, kara ve demiryolları ağır hasar gördü, çeşitli yerlerde yangınlar çıktı. Fukuşima Nükleer Elektrik Santralinde kazalar meydana geldi. Tsunami sonucu oluşan zararın bu denli fazla olmasının en büyük nedenlerinden biri, dalgaların beklenmedik derecede yüksek olan boyutlarıydı. Tsunaminin vurduğu birçok şehirde, daha önce tsunamiden korunmak için yapılan 6-12 m yüksekliğindeki betonarme setler, dalgaların yüksekliğinden daha küçük olduklarından, dalgalar bu setleri aşabilmiştir. 2004 Güney Asya tsunamisinde olduğu gibi, Japonya’da tsunami, kendisini oluşturan depremden çok daha fazla zarara yol açmıştır (Şekil 4.1).



Şekil.4.1 Tsunami sonrası görüntüler; Japonya, 2011

Son yüzyıl içinde meydana gelen en büyük depremlerden biri olan 2004 Hint Okyanusu depremi ve tsunamisi, 26 Aralık 2004 günü, Endonezya'nın Sumatra Adası'nın batı kıyısı açıklarında meydana gelmiştir. Sumatra'nın bulunduğu bölgede yer alan Burma levhası ile Hindistan levhalarının birbirine doğru olan hareketi ile uzun bir zaman aralığında bu zonda biriken enerjinin açığa çıkması, Richter ölçeğine göre $M_w=9.3$ büyüklüğündeki depremi meydana getirmiştir. Deniz tabanındaki bu hareket, tsunami dalgalarını oluşturarak, deprem etkisinin sadece depremin olduğu bölgede değil, yüzlerce kilometre uzaklıktaki bölgelerde de hissedilmesine neden olmuştur. Yüksekliği 30 m'ye kadar çıkan tsunami dalgaları, Endonezya sahilleriyle beraber Hindistan, Sri Lanka, Malezya, Tayland, Maldivler, Myanmar, Somali gibi ülkelerde 300.000'e ulaşan can kaybına ve ağır hasara neden olmuştur (Şekil 4.2).

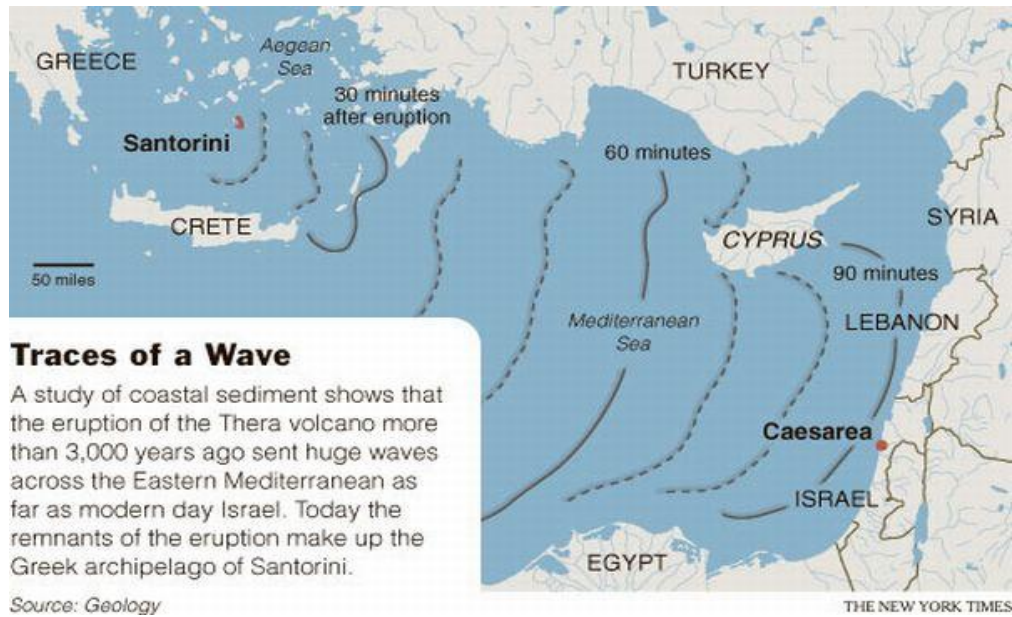


Şekil.4.2 Tsunami sonrası görüntüler; (a) Sumatra Adası, 2004, (b) Tayland, 2004, (c) Sri Lanka, 2004

4.2 Türkiye’de Olmuş Tsunamiler

Türkiye ve yakın çevresinde 3500 yıllık bir gözlem süresi (M.Ö 1500-M.S 2000) içerisinde etkili olan tsunamilerin sayısı 100’ün üzerindedir. Türkiye kıyılarında etkili olan tsunamilerin yanısıra Türkiye’nin yakın çevresinde olmuş ve kıyılarımızı etkilemiş olanlar da vardır (Altınok, 2005).

Yapılan araştırmalara göre günümüzden yaklaşık 3000 yıl önce M.Ö 1400-1500 yılları arasında meydana geldiği tahmin edilen, dünyanın en büyük ve en yıkıcı volkan patlaması Ege Denizi’nde yaşanmıştır (Şekil 4.3). O dönemlerdeki adı Thera olan ve Girit’in kuzeyinde yer alan hilal biçimindeki adanın ortasında bulunan Santorini volkanının aktif duruma geçmesiyle tsunami oluşmuştur. İsrail’e kadar ulaşan tsunami dalgaları Girit, Mısır, Kıbrıs ve Türkiye’de yıkıcı sonuçlar doğurmuştur. Ege kıyılarında kurulu olan Minoan uygarlığı bu felaket sonrasında ortadan kaybolmuştur. Ölü sayısı bilinmemekle birlikte Ege Denizi’ndeki patlamanın, dünyanın en büyük volkan felaketi olan Endonezya’daki Krakatoa volkanı felaketinden daha yıkıcı olduğu belirtilmiştir (The New York Times, 2009).



Şekil 4.3 Ege’de meydana gelen Santorini Tsunamisi

Tarih boyunca Marmara, Ege, Karadeniz ve Akdeniz’de oluşan tsunami dalgalarının Anadolu kıyılarında çeşitli etkiler yarattığı ve izler bıraktığı bir gerçektir. 1996 yılından beri Anadolu kıyıları ve Ege adalarının birçoğunda yürütülen çeşitli kıyı incelemeleri ve kazı çalışmaları sonucunda, tarihteki bazı tsunami olaylarına ait izler bulunabilmiştir. İzler üzerinde yapılan incelemelerle, dalgaların kıyıda ilerleme uzaklıkları, tırmanma yükseklikleri ve tsunamilerin oluştuğu tarihler hakkında önemli bulgulara ulaşılmıştır (Yalçiner, 2004).

Son 1000 yılda, Marmara’da 12, Ege’de 35, Karadeniz’de 22 ve Doğu Akdeniz’de ise 17 tsunami olduğu anlaşılmaktadır. Bunlardan özellikle 1509 ve 1894 yıllarında Marmara içinde meydana gelen depremlerle oluşan tsunamiler en önemlileridir. 14 Eylül 1509 İstanbul depremi sonucu oluşan tsunamide, Galata Köprüsü parçalanmış, Pera ve İstanbul merkezi arasındaki surları dalgalar aşmış, kıyıları sular basmıştır. Yenikapı surlarını aşan dalgalar, Aksaray’ı su baskınına uğratmış, İzmit Tersanesi sular altında kalmıştır. Bu depremin oluşturduğu dalga boyunun 6 m’yi aştığı, deprem büyüklüğünün ise 8 civarında olduğu ileri sürülmektedir. 10 Eylül 1894 tarihindeki Marmara Denizi merkezli tsunamide ise deniz suları Avcılar ve Kartal arasında 50 m çekilmiştir. Dalga yüksekliği 6 m’den az olan deniz suyu yükseldikten sonra 200 m sahile taşmış, birkaç dalgalanmadan sonra normale dönmüştür.

Mersin, Kahramanmaraş, ve Şanlıurfa’da etkili olan ve İsrail’de de hissedilen 10 Ağustos 1114 depremi, Doğu Akdeniz’de tsunami yaratmıştır. Bu bölgede tsunami oluşturduğu bilinen bir başka deprem de 20 Mayıs 1202 depremidir (Yalçiner ve Kuran, 1991).

Karadeniz’de de tsunami örneğine 1939 Erzincan depreminde rastlanmıştır. Depremin etkisiyle, deprem merkezinden 200 km uzaklıkta Doğu Karadeniz kıyılarında tsunami oluşmuştur. Bundan Fatsa, Sivastopal ve Yalta etkilenmiştir (Yalçiner, 1999).

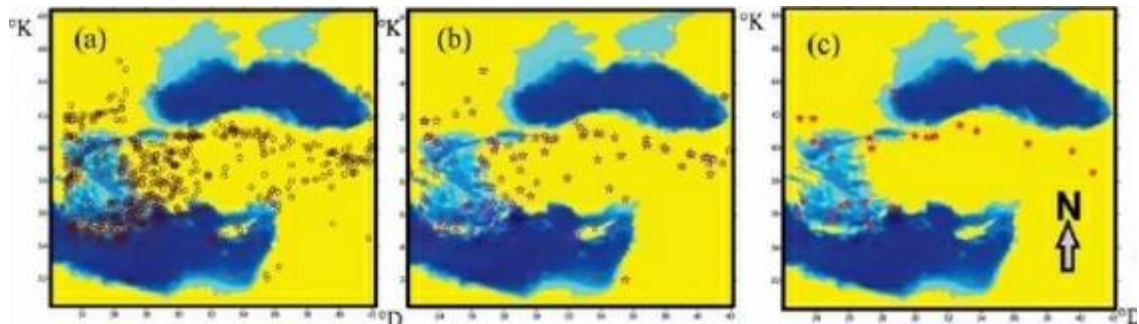
Yakın tarih içinde önemli sayılan tsunamilerden biri de Ege Denizi'nde 9 Temmuz 1956'da meydana gelmiştir. 7 şiddetindeki depremde sonra gelişen tektonik olaylar sonucu doğan 4,6 m yüksekliğindeki tsunami dalgaları İzmir yakınlarına 1 saat kadar sürede ulaşabilmiştir. Ege'deki Amargos ve Astipalaea adaları kıyılarında 25 m ve 20 m yüksekliğine tırmandığı ve Ege Denizi'nde çalkantının 1 gün sürdüğü de belirtilmektedir (Papazachos, 1985).

1999 İzmit Depremi ile oluşan tsunami Marmara için son bin yılın 12. tsunamisi. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde Gölcük'ün büyük bir kısmı sular altında kaldı (Şekil 4.4). Buradaki durum hakkında, hem deprem aktivitesi hem de zeminin denize kayması sonucu tsunami olduğuna dair çalışmalar bulunmaktadır (Yalçın, 1999). İzmit'in Körfez ilçesinin sahil bölgesinde deniz sularının yaklaşık 100-120 m kıyıya doğru geldiğine dair yosun ve balık kalıntıları görülmüştür. Marmara denizinin bir iç deniz olması ve derinliğinin yaklaşık 1100 m olmasından dolayı, burada okyanustaki gibi bir tsunami oluşmasa da, etkili bir tsunami oluşabilir. Bu bölge, hem yapılaşma hem de deniz araçları ve büyük sanayi yapılarının bulunması bakımından ülkemizin en yoğun bölgesidir. Bu bölgede oluşan rüzgar dalgaları bile bölgeye hasar verebilmektedir.



Şekil 4.4 Gölcük'ten deprem sonrası görüntüler, 1999 (Doğan, 2011)

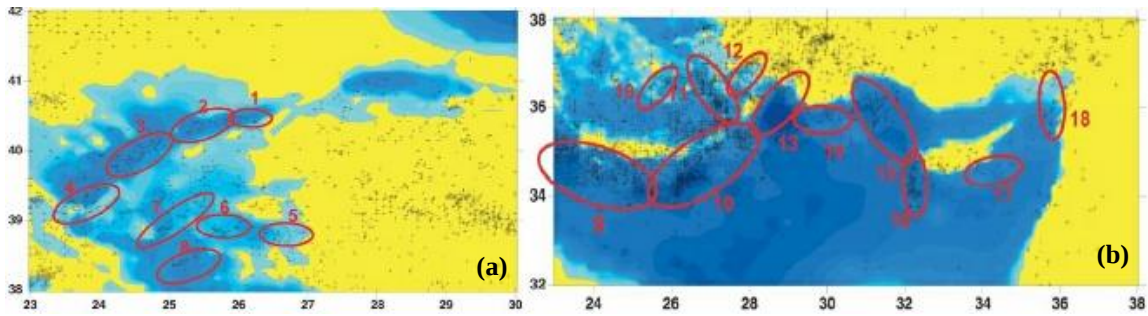
Türkiye’de tarihte yaşanmış ve gelecekte yaşanabilecek olası tsunami dalgalarının oluşabilecekleri yerlerin saptanması için deprem merkezlerini içeren veriler çok önemlidir. Bu çalışma kapsamında Kandilli Rasathanesi tarafından, Jeofizik Anabilim Dalı aletsel dönem verileri değerlendirilerek hazırlanan ve Türkiye çevresinde 23-42° Doğu boylamları ile 30-48° Kuzey enlemleri arasında kalan bölgede oluşan depremlerin merkezlerini gösteren haritalar, deprem büyüklüklerine göre sınıflandırılarak hazırlanmıştır (Şekil 4.5). Burada en belirgin özellik, büyük depremlerin kuzeyde Avrasya plakası, güneyde Afrika ve Arap plakaları, doğuda Doğu Anadolu bloğu ve batıda Ege bloğu tarafından çevrilmiş Anadolu plakasının sınırları boyunca dizilim göstermesidir. Bu haritalarda deniz alanlarında yer alan deprem merkezlerinin bulunduğu bölgeler olası tsunami dalgası oluşturan bölgeler olarak dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.5 Türkiye çevresinde oluşan depremlerin büyüklüklerine göre dağılımları;
a) Deprem büyüklüğü >5, b) Deprem büyüklüğü >6, c) Deprem büyüklüğü >7
(Kandilli Rasathanesi Jeofizik Anabilimdalı verileri)

Ege ve Akdeniz için olası depremler, belirlenen bölgelerde ve bu bölgelerde yer alan muhtemel sismik boşluklarda yer alabilecektir. Bölgede bilinen fayların karakterleri ileride oluşacak depremlerin, tsunami oluşturabilecek nitelikte fay hareketine neden olabileceğini göstermektedir. Ancak oluşacak fayın doğrultu, atım özellikleri, deprem bölgesinde heyelana dönüşebilecek taban eğimi ve zemin malzemesinin bulunup bulunmaması, tsunami oluşumu için önemli parametrelerdir. Bu veri eksikliklerine rağmen eldeki mevcut jeolojik bilgiler ve jeofizik veriler değerlendirildiğinde bu bölgelerin hemen hepsinde, ancak öncelikli olarak Güney Ege ve Akdeniz’deki bölgeler içinde, düşey atılımlı faylanma beklenmelidir.

Kandilli Rasathanesi Jeofizik Anabilim Dalı tarafından belirlenen veriler kullanılarak, Türkiye batı ve güney kıyılarını doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemesi olası tsunami olaylarının tahmin edilen oluşma bölgeleri oluşturulmuştur. Ege Denizi'nde 8 ayrı alanda yoğunlaşma gösteren bölgeler Kuzey Ege çukuru ile orta Ege çukurlarında gruplaşmalar göstermektedir (Şekil 4.6.a). Akdeniz kıyılarını doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemesi olası tsunami olaylarının tahmin edilen oluşma bölgeleri ise Helenik yay üzerinde ve Kıbrıs adası çevresinde 10 farklı bölgede yoğunlaşmalar göstermektedir (Şekil 4.6.b). Tarihsel tsunami kaynaklarının bu bölgeler içinde oluştuğu kuvvetle muhtemeldir ve gelecekte ortaya çıkabilecek olası tsunami olaylarının kaynaklarının da yine bu bölgelerde oluşabileceği beklenebilir.



Şekil 4.6 a) Ege kıyılarını, b) Akdeniz kıyılarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemesi olası tsunami dalgalarının tahmin edilen oluşma bölgeleri. (Kandilli Rasathanesi Jeofizik Anabilimdalı verileri)

Anadolu ve çevresindeki fayların genel özellikleri, tsunami oluşumu ve hareketi, tarihteki çeşitli tsunami olayları değerlendirildiğinde, her depremden sonra (merkezin denizde olması durumunda), kıyılara tsunami dalgasının gelme olasılığı bulunmaktadır. Bu duruma ender rastlanabilecek ise de bu dalganın kıyıda can ve mal kaybı yaratması olasılığına karşı duyarlı olunması gereklidir. Buna göre, kıyılarda yapılan termik santraller, kıyı koruma yapıları, çeşitli tesisler gibi çok pahalı ve önemli yatırımların tasarımında tsunami etkisi de düşünülmelidir (Alpar vd., 2005; Yalçiner ve Kuran, 1991).

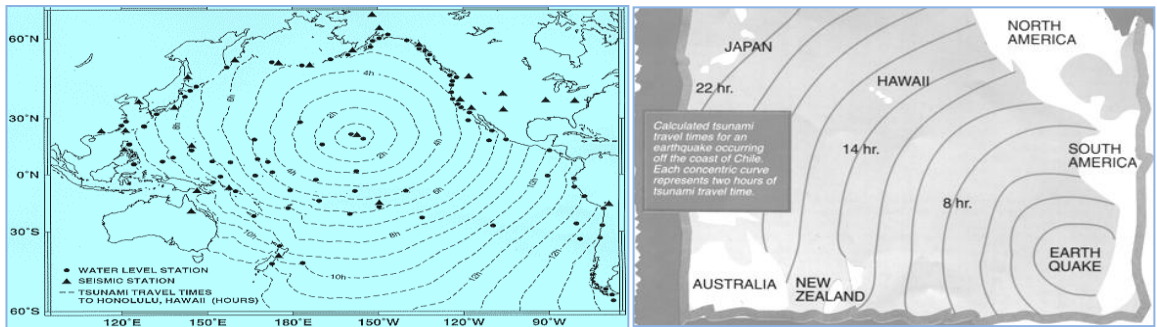
BÖLÜM 5

ÖNLEM VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

5.1 Tsunami Uyarı Sistemleri

Tsunami erken uyarı sistemi, tsunami dalgalarını algılayan, can ve mal kaybını önlemek için uyarılar veren bir sistemdir. Bu sistem tsunami dalgalarını algılamak için sensörlerden oluşan bir ağ ve kıyı bölgelerinden kaçışa izin veren güncel uyarılar yayınlayan iletişim alt yapısından oluşan, aynı derecede önemli iki bileşenden oluşur.

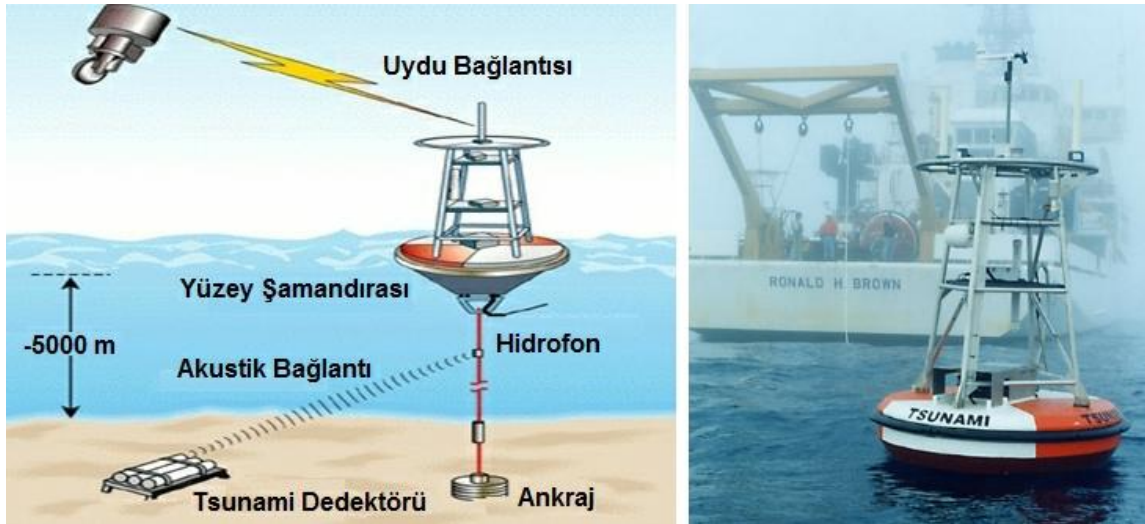
Gezegimizin sismik açıdan en hareketli kısmında bulunan Pasifik Okyanusu'nda bulunan Hawaii, Hilo'da 1946 yılında meydana gelen tsunamiden 2 yıl sonra, 1948'de Honolulu'da Pasifik Tsunami Uyarı Merkezi kurulmuştur. Günümüzde günün 24 saati alarm halinde olan bu merkez Pasifik Okyanusu'na kıyısı olan birçok ülkenin çalışmalarını koordine etmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Tsunami dalgalarının ilerleme süreleri ve uyarı ağı

Uydu teknolojisi, sismik sensörler ve dalga monitörlerinden oluşan büyük bir ağla donanmış olan uyarı merkezi, tüm büyük depremlerin izini sürebilmekte ve bir tsunami olup olmadığına karar verebilmektedir. Bununla birlikte tsunaminin etkilerini daha doğru tesbit etmeyi sağlayacak yeni bir teknoloji mevcuttur. İleri teknoloji ürünü dalga sensörleriyle donanmış, 6 m boyunda bir sinyal şamandırası, yanlış alarmlara son verip hayat kurtarmaya yardımcı olabilir. Okyanusun ortasına sabitlenen sistem,

tsunami dalgalarının yüksekliğini, zamanını ve vuracağı yeri tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır (National Geographic, 2005). Denizaltı ölçüm cihazları, her bir dalga geçtiğinde kesin ölçümü yapmakta, veriyi yüzeyde yüzen şamandıraya ilettikten sonra bir uydu, tsunami uyarı merkeziyle aradaki bağlantıyı tamamlamaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Tsunami uyarı ağı aparatları (BBC News, 2005)

Japonya pek çok deprem ve tsunaminin yaşandığı aktif dalma batma zonu yakınında bulunmaktadır. Japonya yakınında bulunan bu dalma batma zonunun neden olduğu depremler tarafından üretilen yerel tsunamiler ülkede büyük hasarlara neden olmuştur. Bu yüzden Japonya, Pasifik'te ve dünya çapında en büyük tsunami uyarı sistemlerinden birini geliştirmiştir. Japon Meteoroloji Ajansının (JMA) asıl gözlemevi Tokyo'da bulunmaktadır ve 5 bölgesel gözlemevi tsunami uyarıları yayınlamadan sorumludur. JMA'da veriler sürekli bir şekilde hücreli iletişim ve uydular kullanılarak toplanmalıdır. Tahmini tsunami yüksekliğine dayanarak yapılan tsunami uyarısı büyük tsunami (3 m veya daha fazla) ve tsunami (1 m veya 2 m) olmak üzere ikiye ayrılır. Tsunami uyarıları azami derecede tedbir almayı gerektirir. Tsunami olasılığında ise tsunami yüksekliği 0,5 m veya daha azdır ve tsunami olma olasılığına karşı önlem almak gerekir. JMA tarafından yapılan bu uyarılar acilen uydu sistemleri ve afetten korunma amaçlı bilgi ağları kullanılarak afet yönetimi kuruluşları ve medyaya iletilir.

Uyarılar daha sonra bu kuruluşlar tarafından denizdeki gemilere ve risk altındaki kıyı bölgelerinde yaşayan insanlara iletilir.

Japonya’da meydana gelen yerel tsunamilere ek olarak Şili veya Alaska gibi Japonya’dan uzak Pasifik Okyanusu’na kıyısı olan bölgelerde meydana gelen depremlerin ürettiği uzak tsunamilerde uyarı vermek için uluslararası veri alışverişi ve bilgi paylaşımı şeklinde bir işbirliği gerekmektedir. Bu nedenle JMA, Japonya sahili boyunca tsunaminin meydana getireceği etkileri tahmin etmek ve tsunami uyarıları verebilmek için Hawaii’de bulunan Pasifik Tsunami Uyarı merkezi ile yakın ilişkiler içerisinde. Bu amaçla uzak tsunamiler için dünya çapındaki sismoloji ağı ve deniz aşırı seviyesi verilerini toplayarak analiz eder ve ilgili kuruluşlar aracılığı ile halkı uyarır.

Japonya, Pasifik Okyanusu’na kıyısı olan Tohoku bölgesinde 11 Mart 2011’de 9.0 büyüklüğünde ve 32 km derinliğinde meydana gelen deprem ve ardından oluşan tsunami ile tarihin en büyük afetlerinden birini yaşamıştır. Tsunami uyarısı ise deprem meydana geldikten 3 dakika sonra en yüksek seviyede verilmiş ve en az 3 m yüksekliğindeki bir büyük tsunami olarak nitelendirilmiştir. Ayrıca tsunami uyarısı depremden 9 dakika sonra Pasifik Okyanusu’na kıyısı olan Tayvan, Endonezya, Yeni Zelanda, Rusya, Filipinler, Pasifik Adaları, Hawaii, Meksika, Peru ve Kolombiya gibi ülkelerde de verilmiştir. Depremden 26 ile 35 dakika sonra kıyılara ulaşan dalgalar bu ülke kıyılarına ulaşmadan önce gerekli önlemler alınmıştır. Ancak tsunaminin yüksekliği tahmin edilenden fazla olduğu için ve deprem uyarısı da yeteri kadar geniş bir bölgede verilmediği için depremin ve tsunaminin yol açtığı hasar Japonya’da oldukça büyük olmuştur (Yenilmez, 2011).

Erken uyarı sistemleri ile tsunaminin oluşturacağı etki oldukça azaltılır. Ancak kıyı bölgeler, tsunami dikkate alınmadan yapılanmış ise bu uyarı ağı sadece can kaybını azaltır, yapıların hasar görmesi önlenemez. Burada asıl olan can ve mal kaybının minimum düzeyde olmasıdır. Bazı tip tsunamiler bir anda ve çok büyük güçle meydana geldikleri için en gelişmiş sistem bile önceden uyarı vermeyebilir.

5.2 Tsunami Tahliye Barınakları

Tsunaminin nadiren görülen bir olay olması ve yapıya etkiyen yüklerin çok büyük olması nedeniyle bütün yapıların tsunamiye dayanıklı inşa edilebilmesi hem ekonomik olarak hem de pratikte mümkün değildir. Sonuçta, olası bir çözüm olarak tahliye edilen topluluğun tsunami uyarı sistemi tarafından verilen süre içinde girişi sağlanacak şekilde tahliye barınakları inşa edilebilir.

Tahliye barınakları, dizayn koşullarına ayrıntılı olarak değinilen FEMA P646 yönetmeliğinde “düşey tahliye yapıları” olarak geçmektedir. Bu yapılar, özellikle tsunami uyarısı ve tsunami taşkını arasında, toplumu taşkın bölgesinin dışına ya da var olan yüksek alanlara çıkarmak için yeterli zaman olmadığında faydalıdır.

Bir tahliye barınağı inşa etmeye karar verme aşamasında birçok etken göz önünde bulundurulmalıdır. Bölgenin tsunamiden etkilenme olasılığı, tsunaminin hasar ve can kaybı gibi potansiyel sonuçları, ulaşılabilen tahliye alternatifleri, tsunamiye dayanıklı yapının maliyeti, bu etkenler arasındadır.

Barınak, mümkün olabilen maksimum büyüklükteki tsunami kuvvetlerine karşı koyabilecek dayanıklılıkta olmalıdır. Düşey tahliye barınaklarının dizaynında, yerleşimin coğrafik durumu, tsunami tahliye rotası, nüfus yoğunluğu, toplumun yerleşim şekli, geçmiş tsunami olaylarından elde edilen kayıtlara göre belirlenen maksimum dalga yüksekliği gibi birçok faktör göz önüne alınmalıdır. Tsunaminin etkilediği alandaki birçok yapının göçmesi, ağaçların sürüklediği dallar, otomobiller, gemiler gibi enkazdan kaynaklanan etki nedeniyle olmaktadır. Bu nedenle, tsunami barınağının dizaynında, dalga etkisi kadar enkaz etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Tsunami barınakları fonksiyonel yönden ve binanın şekli açısından olmak üzere iki açıdan değerlendirilmelidir.

5.2.1 Barınakların fonksiyonel yönden değerlendirilmesi

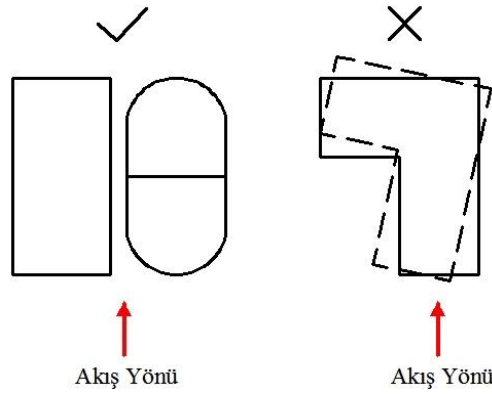
Tsunami barınağı, tsunami uyarı sistemi tarafından verilen makul süre içinde, tahliye edilen topluluğun yapıya ulaşabilmeleri için, tsunami risk alanındaki tahliye rotası üzerinde olmalıdır (Şekil 5.3). Binanın büyüklüğü (kat alanı ve kat sayısı), topluluğun büyüklüğüne göre ve tahliye edilen her bir kişi için gereken minimum alana göre hesaplanmalıdır. Örneğin FEMA 55 (2000)'e göre her bir tahliye edilen kişi için minimum 2 m² gereklidir. Bununla birlikte binaya giriş yollarında herhangi bir engel bulunmamalıdır. Bina içindeki döşemeler arasındaki giriş yolları, eğimi az olan rampalardan oluşmalıdır. Giriş rampaları, yaşlılar, çocuklar ve engelliler için minimum 2 m genişliğinde olmalıdır.



Şekil 5.3 Tsunami risk haritasında gösterilen tahliye rotası
(Pimanmas et al., 2010)

5.2.2 Binanın şekli ve yapısal formu açısından değerlendirilmesi

Düzensiz bina şekilleri, yapısal elemanlarda burulma gibi istenmeyen kuvvetlere neden olabilir. Bu yüzden binanın şekli olabildiği kadar basit olmalıdır. Genelde L şeklindeki veya düzensiz bir şekle göre, dikdörtgen bir plan tercih edilir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Binanın geometrisi

Binanın alt katları, suyun serbest akışına izin vermek için engellerden uzak olmalıdır. Eğer duvarlar veya bölmeler inşa edildiyse, binanın dışındaki rüzgar basıncı veya diğer çevresel yüklere dayanabilmesi için yeterince güçlü olan ayrılabilen duvarlar olmalıdır. Bir tsunami olayında bu duvarlar suyun akışına izin vermek için güçlük çekmeden kırılabilmelidir. Aşağıdaki şekilde, bir tsunami olayı boyunca, ayrılabilen ve güçlü duvarlarla inşa edilmiş olan yapıların performansı karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi, duvar ayrılabilen olduğu zaman, yapıdaki hasar minimum düzeyde olmaktadır. Diğer taraftan güçlü duvar olması durumunda yapısal elemanlar, duvarlardan aktarılan yüklemelere maruz kaldıkları için şiddetli şekilde hasar görebilmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Ayrılabilen ve güçlü duvarlar (Pimanmas et al., 2010)

Bir tahliye barınağı için, momente dayanıklı çerçeve, perde-çerçeve sistem ve desteklenmiş çerçeve gibi birçok sistem mevcuttur. Bir yapısal betonarme duvar, binaya önemli ölçüde bir yanal mukavemet ve rijitlik kazandırabilir. Yapıyı oluşturan elemanlar arasındaki bağlantılar rijit ve sürekli olmalıdır. Prefabrik sistemler de kullanılabilir, fakat birleşimlerin dizaynında dikkatli olmak gerekir (Pimanmas et al., 2010).

5.2.3 Tahliye barınaklarına Japonya'dan örnekler

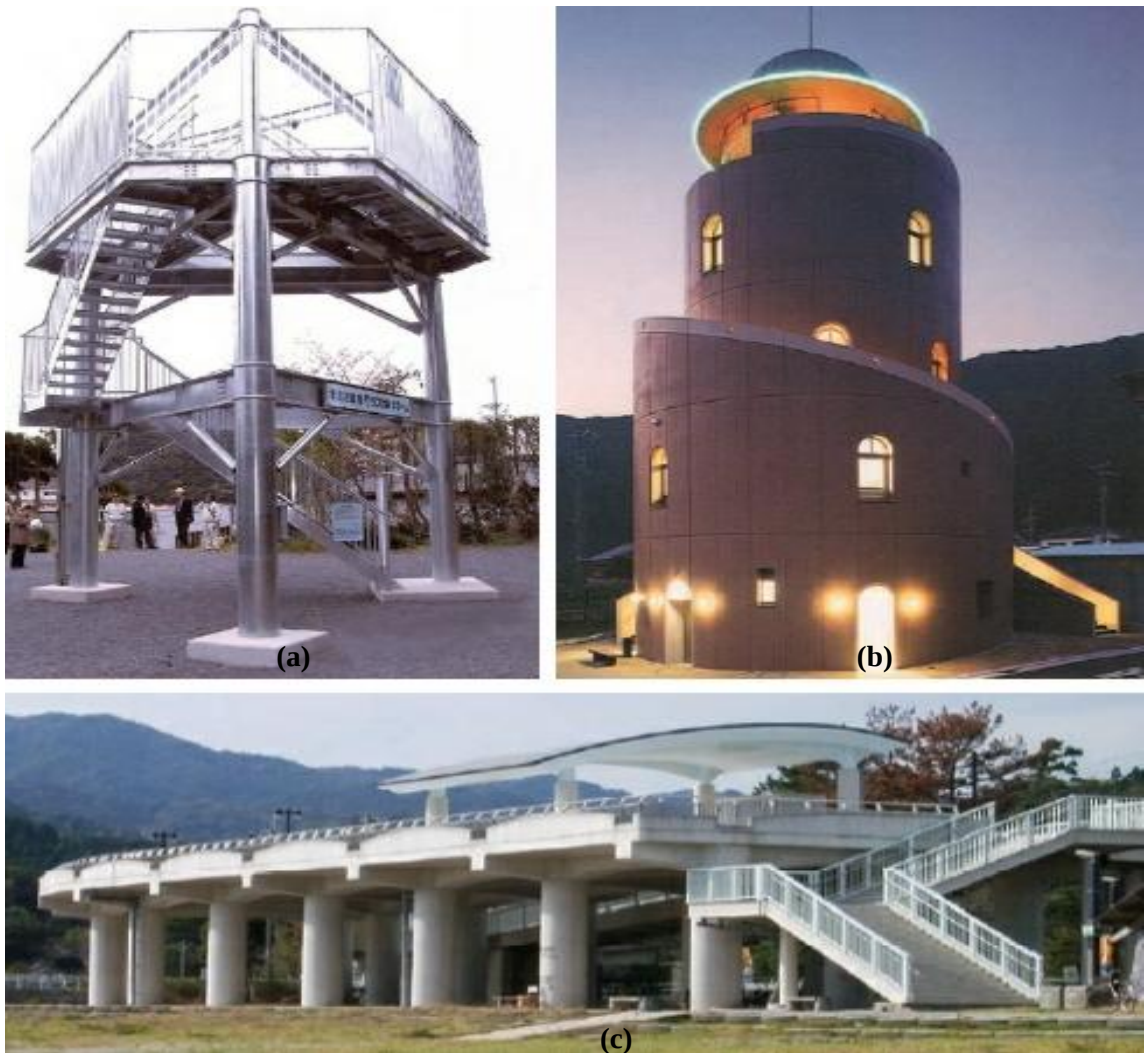
Japonya'da özel olarak tsunami sığınağı amacıyla dizayn ve inşa edilmiş olan örnekler bulunmaktadır. Aşağıda bu yapılardan bazıları özellikleriyle beraber gösterilmiştir (FEMA P646).

Tasukaru Kulesi: Tahliye edilen kimseler için geçici bir sığınmaya imkan tanıyan basit ve ekonomik bir yapıdır. Yapı, destekleyici direkler arası 5.4 m açıklığa sahiptir. Sığınak yüksekliği 5.8 m olup 50 kişilik kapasitesi vardır (Şekil 5.6.a).

Nishiki Kulesi: Mie şehrinde inşa edilen kule, 5 katlı, 22 m uzunluğunda ve bir deniz feneri görünümünde betonarme yapıdır. Özellikle tsunami sığınağı olarak hizmet verebilecek şekilde dizayn edilmiştir, fakat normal zamanlarda başka amaçlar için kullanılmaktadır. İlk kat, itfaiye ekibi için depo alanı, ikinci kat görüşme odası, üçüncü kat ise doğal afetlerle ilgili arşiv kütüphanesi olarak kullanılmaktadır. Dördüncü ve beşinci katlar, tahliye edilen kimseler için 73 m² 'lik sığınak alanına sahiptir. 6 m

yüksekliğindeki tsunamiye ve 10 t ağırlığındaki enkaza dayanabilecek şekilde dizayn edilmiştir (Şekil 5.6.b). Beklenen performans seviyesi, can kaybı meydana gelmeksizin, binanın kısmı hasarına izin vermektedir.

Shirahama sahil bölgesindeki yükseltilmiş barınak: Japonya'nın Shirahama tatil bölgesinde estetik görünümde inşa edilen sığınak, 700 m² 'lık alanda 700 kişinin barınmasına olanak tanıyan şekilde dizayn edilmiştir. Dizayn taşkın yüksekliği 7.5 m'dir ve tahliye platformu 11.5 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Şekil 5.6.c). Bölgedeki potansiyel zemin sıvılaşması nedeniyle sondajlar, anakayanın yaklaşık 20 m altına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.6 (a) Nishiki Kulesi, Japonya, (b) Tasukaru Kulesi, Japonya, (c) Shirahama Sığınağı, Japonya (FEMA P646)

Diğer tsunami sığınak yapıları: Japonya’da özel olarak tsunami sığınağı olarak inşa edilmiş başka yapılar da vardır. Tokushima, Kaifu’daki betonarme yapı Şekil 5.7.a’da gösterilmiştir. Okushiri Adası, Aonae’de yapılan yüksek banket Şekil 5.7.b’de verilmiştir. 1993’te meydana gelen Okushiri tsunamisinden sonra Şekil 5.7.c’de gösterilen okul, tsunamiye dayanıklı yapı olarak tekrardan inşa edilmiştir. Üst katları tsunami sığınak alanı olarak kullanılabilen okulun zemin katı, tsunami kuvvetlerini hafifletmek için ayrılabilen duvarlarla inşa edilmiştir.



Şekil 5.7 (a) Kaifu Tsunami Barınağı, Japonya, (b) Aonae’de inşa edilen banket, Japonya, (c) Aonae’deki tsunami sığınağı olarak kullanılan okul, Japonya (FEMA P646)

5.4 Tsunamiden Korunma Konusunda Temel Kurallar

Tsunamiler çoğunlukla depreme bağlı nedenlerle oluşurlar ve yatık eğimli, düşük kotlu kıyılarda, körfezlerde, nehir ağzlarında ve liman içlerinde, yaratabileceği çok şiddetli akıntılar nedeniyle daha çok etkilidirler. Aşağıda tsunami dalgalarından korunma konusunda temel kurallardan bahsedilmiştir.

- Tsunami dalgaları, tek bir dalga değil, genellikle dört veya beş dalgadan oluşan bir dalga dizini biçimindedir. İkinci ve üçüncü dalgalar etkilidirler. Devam eden dalgaların etkisi daha azdır. Önde gelen ilk 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 niteliktedir. Deniz çekildiğinde merak edip kıyının durumu izlemeye gidilmemelidir. Çünkü can kayıplarının büyük bir bölümü bu sırada olmaktadır. Dalganın karada ilerleme hızı, insanın koşma hızından daha fazladır. Bu nedenle kaçmak için zaman geç olabilir.
- Etkili dalgaların kıyıya vurmasından sonraki birkaç saat tehlike devam edebilir. Resmi açıklamalar yapılana dek beklenmeli ve kıyıdan daima uzak kalınmalıdır.
- Tsunami dalgası fark edildiğinde 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 veya akıntı etkilerinden kurtulmaları olanaklıdır.
- Tsunami dalgaları dereler, ırmaklar ya da denize bağlantılı kanallardan içerilere doğru kilometrelerce ilerleyebilirler. Dere, ırmak kıyıları ve bentlerinde zarar verici taşmalar oluşması doğaldır. Tsunami konusundaki uyarıları ciddiye almak zorunludur. Unutulmamalıdır ki, Hawaii Hilo, 1960 yılındaki tsunami için 10 saat önceden uyarı verilmiş ve korunma yöntemleri tekrarlanmış iken 61 can kaybı olmuştur.
- Deniz tabanında oluşan herhangi bir deprem nedeniyle tsunami oluşabilir. Kıyılarda iken bir deprem hissedildiğinde kıyıdan uzaklaşmak yararlı bir önlemdir. Unutulmamalıdır ki, Mayıs 1983 depreminin hemen sonrasında, Japonya Honshu Adası'nın Kuzey Batı kıyılarına gelen tsunami, halkın korunma konusunda yeterli bilgisi olmasına karşın 230 kişinin ölümüne neden olmuştur.

➤ Tsunami 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 can ve mal kayıplarının arttığı görülmektedir.

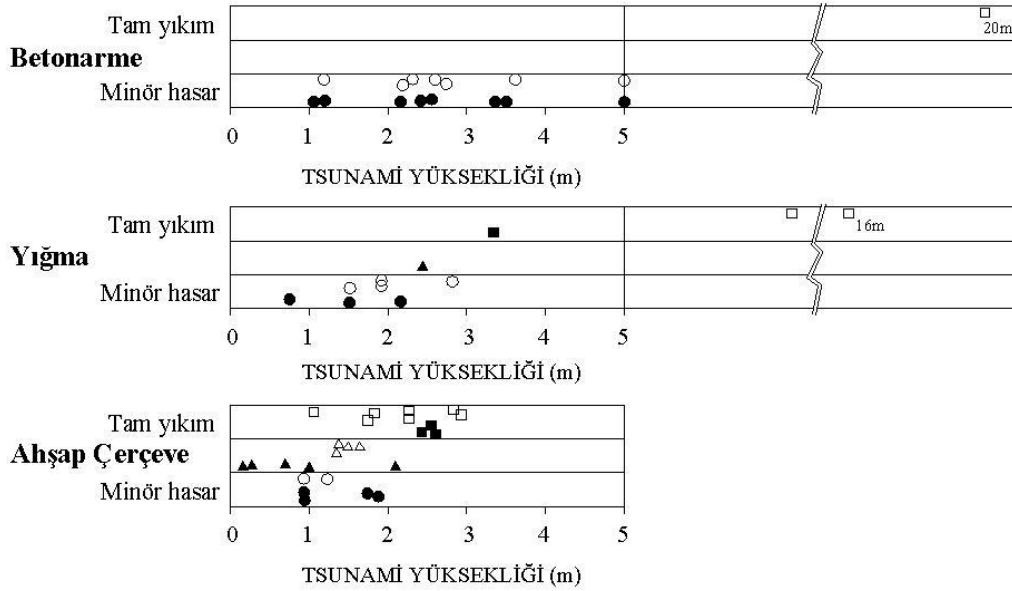
Deprem, fırtına, taşkın veya sel kadar sık olmasa bile, doğal afetler arasında yer alan tsunami olayları, tarih içinde defalarca tsunamilerin olduğu Türkiye kıyıları için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Günümüzde kıyıların çok çeşitli amaçlarla çok sayıda tesislerle donatılmış ve çok yoğun kullanılıyor olması, tsunaminin, tarihteki etkilerine göre günümüzde çok daha unutulmaz izler bırakması olasıdır. Bu konuda korkuya kapılmadan duyarlı olunması ve basit korunma kurallarının göz önünde bulundurulması, olası can ve mal kayıplarını en aza indirmek için zorunludur (Yalçiner ve Ersoy, 2005).

BÖLÜM 6

TSUNAMİ ETKİLERİ

6.1 Tarihse Veriler

Shuto (1994), tsunamiden kaynaklanan bina hasarlarının derecesini Şekil 6.1’de gösterildiği gibi özetlemiştir. Siyah dolgulu olan işaretler, 1993 Okushiri tsunamisinden elde edilen verilerdir. Dolgulu olmayan işaretler ise, daha önceki tsunami olaylarından elde edilmiştir. Bina yerleşimleri ve akış hızları gibi detaylı bir bilgi verilmemiş olmasına rağmen, şekildeki tsunami yükseklikleri, binaların bulunduğu yerleşim bölgelerindeki maksimum dalga yüksekliği değerleridir. Shuto’nun verileri açıkça gösteriyor ki, ahşap çerçeve binalar ve yığma binalar daha fazla hasar görürken, betonarme binalar, tsunami etkilerinin birçoğuna dayanabilmektedir.



Şekil 6.1 Tsunami dalga yüksekliklerine göre bina hasar dereceleri

Elde edilen hesaplar genelleştirilerek, Matsutomi ve Shuto (1994), lokal tsunami akış hızına göre ayakta kalan binalar için bir kılavuz sunmuşlardır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Lokal tsunami akış hızına göre ayakta kalan bina tipleri (Matsutomi ve Shuto, 1994)

Bina tipi	Akış hızı (m/s)	Kuvvetler (tf/m)
Betonarme	>10,2	>16,9
Yığma	10,2	16,9
Ahşap Çerçeve	4,2	1,06

6.2 26 Aralık 2004 Güney Asya Tsunamisine Ait Gözlemler

6.2.1 Sumatra kıyılarındaki hasar düzeyleri

2004 yılında meydana gelen Güney Asya tsunamisi sonrasında Sumatra kıyılarında yapılan incelemeler, tsunamiden etkilenen yapıların davranışları hakkında fikir vermektedir (Yalçiner, 2005). İncelenen bölgelerde yapısal davranış 3 yapı türü için incelenebilir: a) Ahşap yapılar, b) Betonarme yapılar, c) Altyapı.

a) Ahşap yapılar: Ahşap yapılar, beton bir zemin üzerine ahşap kazıklar ve çok ince tahta ya da teneke duvar olarak inşa edilmiştir. Tsunaminin, akış derinliğinin 2.5-3 m'yi aştığı bölgelerde, yapıların ahşap kısımlarını süpürüp tamamen zarar verdiği net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Şekil 6.2.a'da tsunaminin ahşap yapılar üzerinde yaptığı tipik hasarlar ve hasar seviyeleri görülmektedir.

b) Betonarme yapılar: Betonarme yapılar, tsunami dalgalarının 3 m yüksekliğe kadar ulaştığı yerlerde sağlam kalabilmektedir. Ancak yapının dalgalara karşı direnci ve yıkılmadan kurtulma ihtimali, yapı civarında suyun akış derinliğine, zemin kat pencere büyüklükleri ve duvarlardaki açık alan oranına bağlıdır. Her ne durum olursa olsun, yapı yıkılsa da sağlam kalsa da, betonarme yapılar çevresinde şiddetli oyulmalar, temelin ortaya çıkması ve bazen de oyulmalar nedeniyle yapının yana yatması durumu gözlenmiştir. Şekil 6.2.b'de tsunami dalgalarının betonarme yapılar üzerindeki tipik hasarları gösterilmiştir.

c)Altyapı: Sumatra adasındaki yerleşim bölgeleri, köyler ve kasabalar tamamen denize 200-1000 m mesafede ve genellikle de çok sayıdaki ırmak kıyılarında ahşap yapılardan oluşan biçimde yoğunlaşmıştır. Kasabalar ve köyler arası ulaşımın ana birimleri, kıyıya paralel ve yakın geçen dar asfalt bir yol, çok sayıdaki ırmak üzerindeki köprüler ve nehir ağızlarındaki küçük tekne barınakları, kasabaların küçük limanları olup, tsunami için zayıf birer hedef olarak kalmış, afet sonrasında ulaşım tamamen durmuştur. Tsunaminin çeşitli altyapı sistemleri üzerinde yaptığı hasarlar Şekil 6.2.c’de görülmektedir.



Şekil 6.2 Sumatra kıyılarında tsunami dalgalarının a)Ahşap yapılar, b)Betonarme yapılar, c) Altyapı üzerindeki hasar düzeyleri (Yalçiner, 2005)

6.2.2 Malezya kıyılarındaki hasar düzeyleri

2004 Hint Okyanusu tsunamisi, Malezya kıyılarında 3,5 m tırmanma yaratmış, 68 can kaybı ve çeşitli düzeylerde kıyı yapıları, nehir ağızları ve tesislerde hasarlar yaratmıştır (Şekil 6.3). Malezya deneyimi, 3 m yüksekliğindeki tsunami dalgalarının, ülkemizde beklenen ortalama düzeydeki tsunami dalgalarının etkilerini anlamak açısından önemlidir. Bu nedenle 2004 tsunamisi sonucunda Malezya kıyılarında hasarlar, dalga erişim zamanları, tırmanmalar ve can kayıplarının nedenleriyle ilgili çeşitli incelemeler yapılmıştır (Yalçiner, 2005).



Şekil 6.3 Tsunami sonrası Malezya kıyılarındaki hasar

Etkilenen bölgelerde hasar gören evlerin büyük bölümü eski ahşaptan ya da kısmen tuğladan yapılmış binalardır. Kuala Muda’da, tuğla duvarların, tsunami dalgalarının şiddetine dayanamadığı gözlenmiştir. Ancak denizden hemen sonra ilk sırada olan evlerin beton donatılı duvarları sağlam kalmıştır. Ahşap yapılar ve tuğla duvarlar, herhangi büyüklükteki tsunami dalgalarına karşı dayanıksızdır. Betonarme yapılar, su akma derinliği 2 m’den düşük olduğu takdirde, sağlam kalabilirler. Betonarme yapılarda hasar düzeyini azaltmak için, zemin katlarda dalgaın yapıdan geçmesine izin verecek kadar açıklık bırakmak yararlıdır. İncelemelerde ve tsunami sonrası bölgede yapılan çalışmalarda, Hint Okyanusu’na kıyısı olan tüm bölgelerde, betonarme yapılar etrafındaki aşınma, örme duvarlardaki kısmi hasar, ahşap ve tek tuğla yapıların tamamen hasar görmesi, yapılardaki en belirgin hasarlar olarak dikkat çekmektedir.

Depremden 3 saat sonra kıyıya ulaşan tsunami dalgaları en yüksek 2.5-3 m olduğu için kıyı koruması amacıyla inşa edilen 3 m yüksekliğindeki kıyı duvarları, arkalarındaki araziye korumuşlardır. Can kayıplarının en büyük nedeni, kumsalların arkasında kaçma tahliye yolları bulunmaması ve insanların tsunami hakkında bilgi sahibi olmamasıdır. Sonuç olarak; Hint Okyanusu tsunamisine yol açan deprem, tehlikenin ve gerekli önlemlerin ne kadar önemli olduğunu, stratejilerin, toplum bilincinin, farkındalığın ve hazırlıklı olmanın çok gerekli olduğunu göstermiştir. Malezya’daki tsunami etkilerinden ülkemiz için alınacak dersler fazladır. Ülkemizde de tarih boyunca bu düzeyde ve daha yüksek tsunami olayları yaşanmış ve gelecekte de yaşanacaktır.

6.3 Tsunami Sonucu Yapıya Etkiyen Yükler

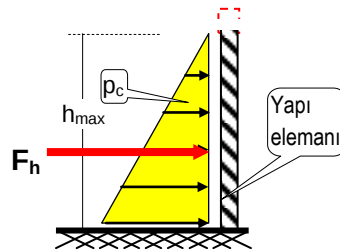
Günümüzde geçerli olan yapısal dizayn standartlarından FEMA P646'ya göre yapılara tsunamiden kaynaklanan hidrostatik, hidrodinamik, itme, enkaz etkisi, enkaza set çeken, yükseltici ve ek düşey yük kuvvetleri etkiyebilmektedir. Bu yükler aşağıda açıklanmaktadır.

6.3.1 Hidrostatik kuvvetler

Hidrostatik kuvvetler, duran ya da yavaş hareket eden su, bir yapı veya yapısal bir elemanla karşılaştığında meydana gelir. Bu kuvvet her zaman eleman yüzeyine dik olarak etki eder. Bu durum yapı ya da bileşenin karşıt taraflarındaki farklı su derinliğine bağlı basınç dengesizliğinden kaynaklanır (Şekil 6.4). Buna göre duvar panelindeki yatay hidrostatik kuvvet aşağıdaki denklemle hesaplanır.

[p_c =Hidrostatik basınç, g =Yerçekimi ivmesi, A_w =Paneldeki ıslak alan, b =Duvarın genişliği, ρ_s =Tortu içeren akışkan yoğunluğu ve h_{max} =Duvar temelinin üstündeki maksimum su yüksekliği olmak üzere]

$$h_{max} > h_w \Rightarrow F_h = p_c \times A_w = \rho_s \times g \times \left(h_{max} - \frac{h_w}{2} \right) \times b \times h_w \quad (3)$$



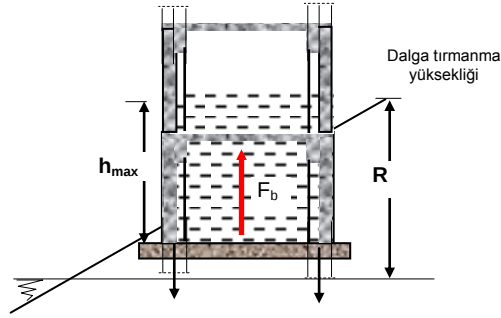
Şekil 6.4 Hidrostatik kuvvet etkisi

6.3.2 Yüzen kuvvetler

Yüzen ya da düşey hidrostatik kuvvetler, kısmi ya da bütün olarak batmaya maruz kalan yapı elemanı ya da yapı üzerinde, yer değiştirmiş hacmin merkezi boyunca,

dik olarak hareket eder (Şekil 6.5). Su geçirmez bir yapı için, toplam yüzen kuvvet aşağıdaki denklemde verilmiştir. [V =Bina tarafından yeri değiştirilen suyun hacmi, ρ_s =Tortu içeren akışkan yoğunluğu olmak üzere]

$$F_b = \rho_s \times g \times V \quad (4)$$

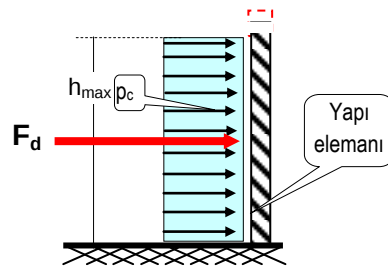


Şekil 6.5 Binadaki yüzen kuvvetler

6.3.3 Hidrodinamik kuvvetler

Su, bir yapının etrafında aktığında, hidrodinamik kuvvetler yapıya ve her bir yapı elemanına bir bütün olarak uygulanır. Bu kuvvetler, orta hızdan yüksek hıza doğru hareket eden suyun akışı tarafından indirgenir ve akışkan yoğunluğunun, akış hızının ve yapı geometrisinin bir fonksiyonudur. Bileşke hidrodinamik kuvvet, elemanın ıslak alanının yaklaşık olarak merkezine uygulanır (Şekil 6.6). Hidrodinamik kuvvetler, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır. [C_d =Sürüklenme Katsayısı, h =Akış Derinliği, B =Yapının genişliği, u =Akış hızı olmak üzere]

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times B \times (hu^2)_{\max} \quad (5)$$



Şekil 6.6 Hidrodinamik kuvvet etkisi

C_d sürüklenme katsayısının genişlik ve derinliğe göre değişimi Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Sürüklenme katsayıları (FEMA CCM)

Genişlik-derinlik oranı (w/ds veya w/h)	Sürüklenme Katsayısı C_d
1-12 arası	1,25
13-20	1,3
21-32	1,4
33-40	1,5
41-80	1,75
81-120	1,8
> 120	2

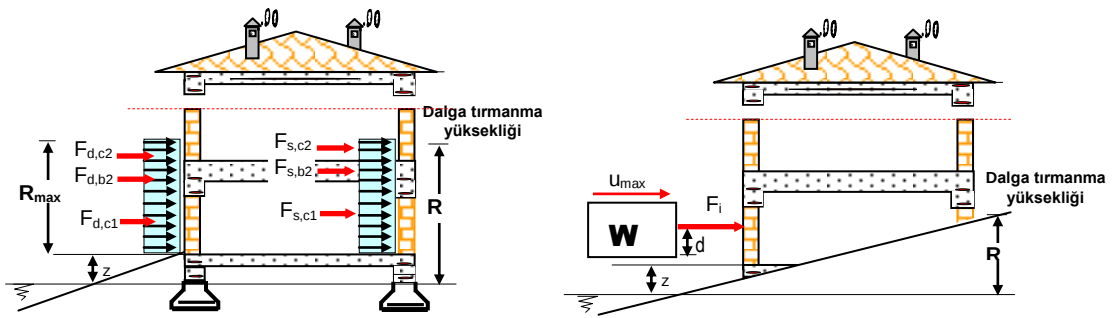
Hidrodinamik kuvvetler, tsunami boyunca herhangi bir zamanda oluşan, her bir birim kütlede meydana gelen maksimum momentum değişimi olan $(hu^2)_{\max}$ parametresine dayanmalıdır. $(hu^2)_{\max}$ değeri aşağıda verilen denkleme göre kabaca hesaplanabilir. [R=Tsunami dalga yüksekliği, z=Yapının temelindeki zemin yüksekliği olmak üzere]

$$(hu^2)_{\max} = g \times R^2 \left(0,125 - 0,235 \cdot \frac{z}{R} + 0,11 \left(\frac{z}{R} \right)^2 \right) \quad (6)$$

6.3.4 İtme kuvvetleri

İtme kuvvetleri, yapıya çarpan büyük su dalgasıyla meydana gelir ve hidrodinamik kuvvelerin 1.5 katı olarak ele alınır. [F_s =Kolon ve kirişler üzerindeki itme kuvvetleri, F_d = Kolon ve kirişler üzerindeki sürüklenme kuvvetleri olmak üzere]

$$F_s = 1,5 \times F_d \quad (7)$$



Şekil 6.7 Suyun itme etkisi ve su ile taşınan enkaz etkisi
(Yapı Mekaniği Semineri, ODTÜ-OGÜ, 2011)

6.3.5 Enkaz etkisi kuvvetleri

Su yoluyla taşınan enkazdan kaynaklanan etki kuvveti (suların sürüklediği ağaç dalları, kereste, botlar, gemi konteynırları, otomobiller, binalar vb) bina hasarında baskın olabilir (Şekil 6.8). Enkaz etkisi kuvveti aşağıdaki denkleme göre hesaplanır. [C_m =İlave edilmiş kütle katsayısı, m =Enkazın kütlesi, k =Enkazın etkin rijitliği ve u_{max} =Enkazı taşıyan maximum akış hızı olmak üzere]

$$F_i = C_m \times u_{max} \times \sqrt{k \times m} \quad (8)$$



Şekil 6.8 Enkaz etkisi; (a) 1993 Okushiri tsunamisi, (b) 2004 Güney Asya tsunamisi

Diğer kuvvetlerden farklı olarak, etki kuvvetlerinin, yapının tek bir elemanı üzerinde, lokal olarak hareket ettiği varsayılır. Enkaz etkisi kuvvetleri, binaların yeri ve alandaki enkaz potansiyeli göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Enkaz etkisi kuvvetlerini belirlemek için FEMA P646’da verilen enkaz etkisi süreleri (Çizelge 6.3) ve enkaz için kütle ve rijitlik değerlerinden (Çizelge 6.4) faydalanılmaktadır.

Çizelge 6.3 Enkaz etkisi süresi

Bina Tipi	Etkinin Süresi (s)	
	Duvar	Kolon
Ahşap	0,7-1,1	0,5-1,0
Çelik	NA	0,2-0,4
Betonarme	0,2-0,4	0,3-0,6
Beton Yığma	0,3-0,6	0,3-0,6

Çizelge 6.4 Su üzerindeki enkaz için kütle ve rijitlik değerleri

Kaynağın yerleşimi	Kütle (kg)	Etkin rijitlik (N/m)
Ahşap parçalar	450	$2,4 \cdot 10^6$
12 m standart gemi konteynırı	3800 (boş)	$6,5 \cdot 10^8$
6 m standart gemi konteynırı	2200 (boş)	$1,5 \cdot 10^9$
Ağır gemi konteynırı	2400 (boş)	$1,7 \cdot 10^9$

6.3.6 Su yoluyla taşınan enkaza set çekilmesi

Su yoluyla taşınan enkazın birikiminden kaynaklanan set çekme etkisi, hidrodinamik kuvvet olarak kabul edilir. Enkaza set çekme kuvveti aşağıdaki denklemle hesaplanır. [C_d =Sürüklenme katsayısı, h = Akış derinliği, B_d =Enkaz setinin derinliği, u =Yapının bulunduğu alandaki akış hızı olmak üzere]

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times B_d \times (hu^2)_{\max} \quad (9)$$

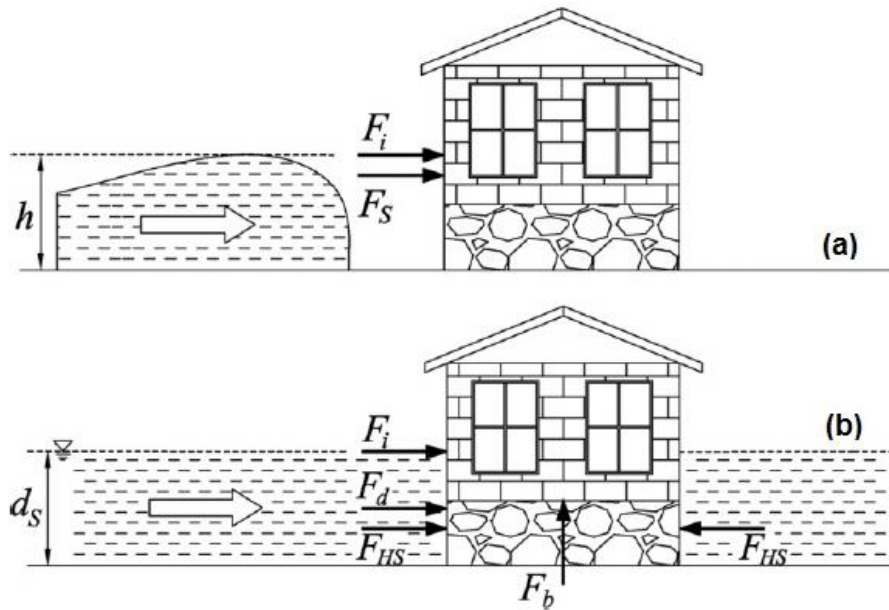
1.yük kombinasyonu, toplu hareketli yük ile tamamen yüklenmiş düşey tahliye yapılarının içindeki sığınak alanını göz önüne alır. Toplu hareketli yük, sığınak alanının içinde ayaktaki tahliye edilen kişilerin maksimum yoğunluğu için bir üst limit sunar. Tsunami taşkını kombinasyonunda, diğer bütün kat alanlarının, dizayn hareketli yükün %25'ine eşit, indirgenmiş hareketli yüke maruz kalması beklenir. Bu indirgenmiş hareketli yük, deprem yükleriyle birlikte kombinasyonda kullanılan, hareketli yük indirgemeleriyle tutarlıdır. Düşey yük etkileri, tsunami yük etkilerine karşı olduğunda, 2. yük kombinasyonu uygulanır. Tsunami yüklerine hiçbir ek önem katsayısı I, bu dokümanda uygulanmamıştır. Bu dizayn kılavuzları özellikle tsunami tahliye binaları için geliştirilmiştir ve bu yapıların kritik doğası baştan sona göz önüne alınmıştır. Sismik yükler, tsunami yükleriyle birlikte kombinasyon olarak göz önüne alınmamıştır.

Kuzey Amerika'da belirli bir biçimde tsunami yüklemesine hitap eden dizayn kodları çok azdır. Honolulu Bina Yönetmeliği (CCH, 2000), FEMA 55, 2003 mühendislere rehberlik eden dokümanlardan ikisidir. Bir tsunami olayı için açıkça belirtilen kuvvetler, yüzen kuvvetler, hidrostatik kuvvetler, hidrodinamik kuvvetler, enkaz etkisi kuvvetleri, dalga veya dalga kıran kuvvetlerini içerir. Bu iki doküman arasında önemli farklılıklar vardır.

CCH 2000, özellikle duvar tipi yapı elemanları için, tsunami büyük dalga tipi tarafından oluşturulan dalga kuvvetlerini belirler. Diğer taraftan FEMA 55, kıyısız taşkınlar ve fırtına olayları için tipik olan, dalga kıranı göz önüne alır, 24 Aralık 2004 Hint Okyanusu tsunamisi boyunca görülene benzer karakteristiklere sahip olan, özellikle tsunami dalgalarına hitap etmez. Diğer önemli fark, sürüklenme kuvvetini hesaplamada kullanılan akış hızının hesabıdır. CCH 2000'de dalga hızı, binadaki su derinliğine eşit hesaplanmıştır. Diğer taraftan FEMA 55, bir tsunami olayı boyunca kıyıya yakın alanda önemli ölçüde daha yüksek bir hız belirlemiştir. Akış hızı $2\sqrt{g \times d_s}$ olarak hesaplanmıştır (d_s =dizayn akış derinliği).

Sonuç, hesapta karşılaştırmada daha büyük sürüklenme kuvvetleri CCH 2000’de verilmiştir. Sadece FEMA verilen kuvvet bileşenleri için yük kombinasyonları geliştirir. Bununla birlikte bu kombinasyonlar, açıkça taşkın senaryoları ve dalga kıran kuvvetleri için formüle edilmiştir. Nistor (2008), özellikle büyük dalga etkileri içeren bir tsunami olayını göz önüne alan yük kombinasyonları önermiştir.

İlk yükleme kombinasyonu (başlangıç etki), dalga ve enkaz etkisi kuvvetlerini, esas yanal yük bileşenleri olarak göz önüne alır. Bu tsunami dalgasının ilk etkisini gösterir. İkinci durumda (sonraki etki), enkaz etkisi, hidrodinamik ve hidrostatik kuvvetleri yanal yükler olarak ele alır (Şekil 6.10). Hidrostatik kuvvetlerin tipik olarak, yapıya bir bütün olarak etkiyen önemsiz bir yanal yük oluşturduğuna dikkat çekmek gerekir. Bununla birlikte hidrostatik kuvvet, her bir duvar elemanı üzerindeki yüklerin değerlendirmesi için daha önemli olabilir. Yanal yüklere ek olarak, bir yüzen kuvvet bileşeni sonraki etki olayına dahildir. Bu kuvvet, bir yapının kayma ve devrilme dayanımında azalmayı içeren stabilite problemlerine neden olabilir. Ayrıca, su baskınına uğramış yapının içinde hızlı yükselen su seviyesi için etkenler verilmelidir. Bu olay, döşeme elemanları üzerinde çok önemli yükseltici kuvvetlerle sonuçlanabilir.



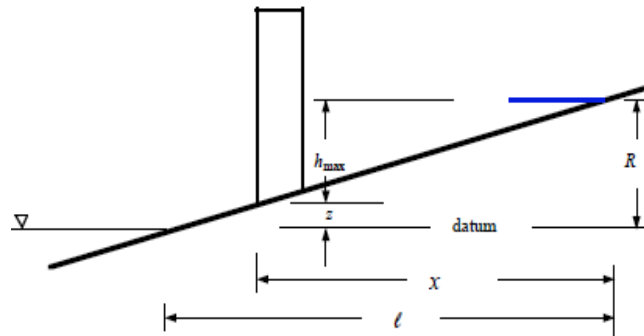
Şekil 6.10 Önerilen yükleme koşulları; a)Başlangıç etki , b)Sonraki etki (Palermo and Nistor, 2008)

Tsunami yükü, bina kodlarıyla birlikte diğer yüklerle birleştirilebilir. Kanada'nın Ulusal Bina Kodu (NBCC 2005) perspektifinden yük durumları aşağıdaki deprem yüklemesi için önerilmiştir. Bir tsunami yükü aşağıdaki 3 yük durumuyla göz önüne alınır. İlk yük durumu, sadece tsunami (T), ve ölü yük (D) değerleridir. İkinci yük durumu, hareketli (L), ve kar (S) yüklerini içeren yükleri içerir. Üçüncü durum sadece, daha önceki uyarı sistemleri, binada oturan kimselerin binadan güvenli çıkmasına izin verecek yeterli uyarı sağlandıysa göz önüne alınmalıdır.

$$\begin{aligned}
 &1.0T+1.0D \\
 &1.0T+1.0D+0.5L+0.25S \\
 &1.0T+1.0D+0.25S
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

6.5 Tsunami Tırmanma Yüksekliği

Tsunami dalgasının tırmandığı en yüksek noktanın, deniz seviyesine olan yüksekliği tırmanma yüksekliği olarak adlandırılır. Akış hızları ve verilen dizayn tsunami derinliğini belirlemek için, pratikte en iyi ulaşılabilen, tsunami bölgesinde çok ince bir gridle birlikte nümerik bir simülasyon modeli detaylandırılmıştır. Nümerik simülasyon, akış hızının bütün geçmişi ve ilgilenilen bölgedeki derinliğin anlaşılmasını sağlar. Ulaşılabilen analitik çözümler, üniform eğimli bir sahilde tek boyutlu nonlinear sığ su dalgası teorisine dayanır. Bu kabullerle birlikte tam çözüm için, Ho ve Meyer (1962) tarafından verilen üniform bir dalga olayının sonucu incelenmiştir. Maksimum tırmanma hızı şu şekilde bulunur: $[l = \text{Sahil başlangıç çizgisinden maksimum dalga yüksekliğine kadar toplam tırmanma mesafesi}, \alpha = \text{Sahil eğimi}, g = \text{Yerçekimi ivmesi}, x = \text{Sahil başlangıç çizgisinden sahile doğru olan mesafe olmak üzere (Şekil.6.2) }]$.

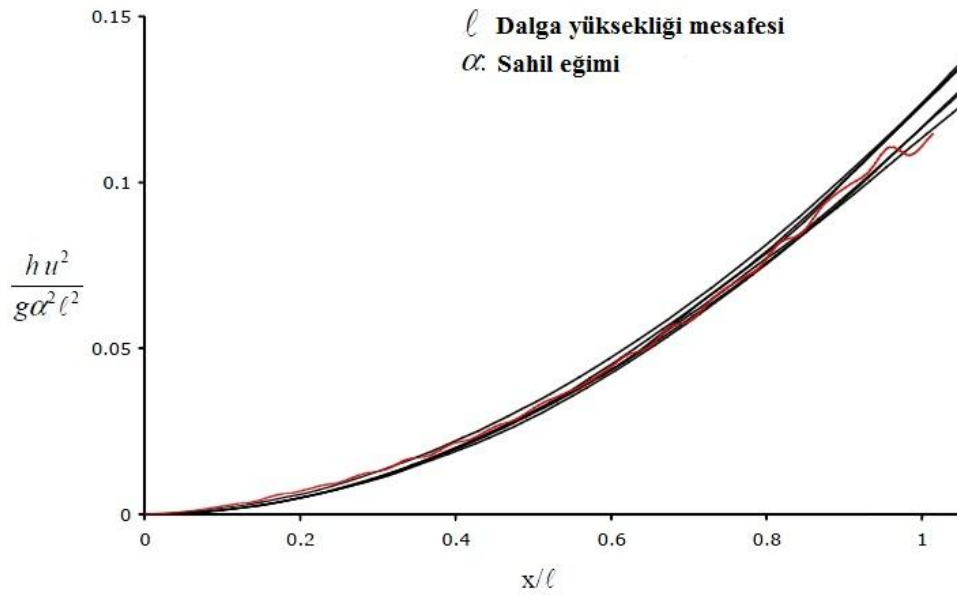


Şekil 6.11 R, z, x, l, h_{max} parametrelerinin gösterimi

$$\frac{u}{\sqrt{2lg\alpha}} = \sqrt{1 - \frac{x}{l}} \quad (1)$$

Bu algoritmayı kullanarak, Yeh (2005), her bir su kütlesi maksimum momentum değişiminin zarf eğrisini çizmiştir (Şekil 6.3). Çizimler, her bir su kütlesi maksimum momentum (hu^2) değişim zarfının cebirsel gösterimini verir.

$$\frac{hu^2}{g\alpha^2 l^2} = 0,11\left(\frac{x}{l}\right)^2 + 0,015\left(\frac{x}{l}\right) \quad (2)$$



Şekil 6.12 Tsunami dalga yüksekliği için her bir kütle lineer momentum değişimi (Analitik çözüm siyahla, nümerik çözüm kırmızıyla gösterilmiştir)

BÖLÜM 7

BİR BETONARME BİNANIN TSUNAMİ YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ İLE İLGİLİ SAYISAL ÖRNEK

Bu değerlendirmenin amacı, tipik betonarme bir yapının tsunami yükleri altında nasıl davrandığını yaklaşık olarak belirlemektir. İncelenen bina, Sismik Dizayn Kategorisi A (SDC A) için tasarlanan, ikili ve momente dayanıklı çerçeve sistem olan, 8 katlı bir binadır. Betonarme Binaların Rüzgar ve Sismik Tasarımı adlı çalışmada, Ghosh ve Fanella (2003), rüzgar ve deprem etkileri için 5 betonarme binanın detaylı tasarımını yapmışlardır. Yapılar SDC için tasarlanmıştır. SDC, yapı alanının sismik riskini, yapının kullanım süresini, yapı alanındaki zemin karakteristiklerini hesaba katar. Bu 5 betonarme bina, ABD’de yaygın olarak kullanılan çeşitli yapısal sistemleri içerir ve alçak, orta dereceli, yüksek sismik aktivitesi olan farklı zemin tiplerindeki bölgelerde yer almaktadır. Binalar, SDC’yi kullanan Uluslararası Bina Kodu IBC 2000, ASCE standardı Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Dizayn Yükleri (ASCE 7-98)’e göre dizayn edilmiştir. Bu örnek tasarımlardaki tipik yerleşimler SDC kategorilerine göre Çizelge 7.1’de verilmiştir.

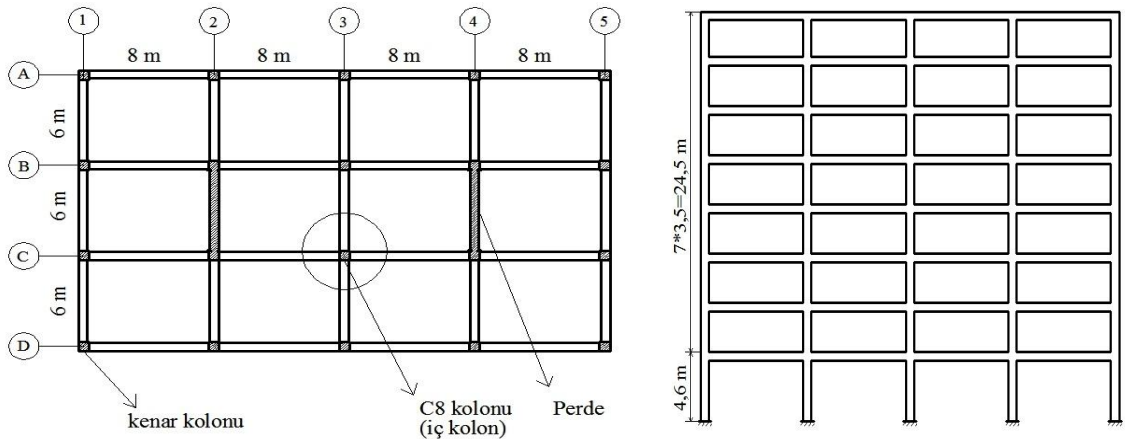
Çizelge 7.1 SDC kategorilerine göre bina yerleşimleri

SDC	Rüzgar Hızı (km/h)	Prototip Yer	Eşit Tsunamiye Eğilimli Yer
A	233	Miami, FL	Kauai, HI
B	144	Atlanta, GA	
C	170	New York, NY	Oahu & Maui, HI
D	137	San Francisco, CA	West Coast, US
E	137	Berkeley, CA	West Coast, US

IBC 2000, olağan betonarme moment çerçevesi ve SDC A için olağan betonarme perdeli, perde-çerçeve etkileşim sistemine izin vermektedir. Orta dereceli betonarme çerçeveler SDC C için kullanılabilir. Fakat özel betonarme moment çerçeveleri SDC D ve SDC E gerektirir.

Pacheco ve Robertson (2005), Betonarme Binaların Rüzgar ve Sismik Tasarımı adlı çalışmadan seçilmiş 3 tip betonarme yapıyı değerlendirirken, aşağıdaki örnekte bu 3 durumdan sadece birisi SDC A kategorisinde incelenecektir. İncelenen bina, kuzey-güney yönünde ikili perde-çerçeve sistemli ve doğu-batı yönünde momente dayanıklı çerçeve sistemdir. Yanal kuvvetler, perde kombinasyonları tarafından dayanıklı hale getirilmiş ve çerçeveler, kuzey-güney yönünde eş zamanlı hareket etmektedir.

Plan görünümü ve yüksekliği Şekil 7.1’de gösterilen bina, 60×60 cm kirişler, 70×70 cm kolonlar, 20 cm kat döşemesi, 30 cm kalınlığında perdelerden meydana gelmektedir. 3, 5 ve 10 m tsunami yüksekliklerine maruz kaldığı varsayılan yapı, kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde ayrı ayrı tsunami taşkını için değerlendirilmiştir. Tsunami, binaya etki ettiği zaman, kuzey-güney yönünde, duvarlar suyun akışına paralel olduğu için, perdeler kolonlara eşit olur. Bu kuvvetler, tsunami akışı tarafından etkilenen bütün diğer kolonlar ve kirişler üzerindeki yüklerle birleştirilir. Doğubatı yönündeki tsunami için, perdeler akışa diktir. Perde kuvvetleri, kolon ve kirişlerdeki yüklerle birleştirilir. Tsunami kuvvet yüklemesi, zemin kat kolon ve duvarlarına uygulanmıştır. Öncelikle zemin kat yapı elemanları incelenmiştir. Tsunami kuvvetleri zemin kat seviyesinde en yüksektir ve bu elemanlar en büyük düşey yükü taşırlar. Bu elemanlardan birinin göçmesi, binanın aşamalı olarak göçmesine sebep olur.



Şekil 7.1 Binanın plan görünümü ve yüksekliği

7.1 Kolon Kuvvetlerinin 3 m Tsunami Dalga Yüksekliğine Göre Hesabı

7.1.1 Kolondaki hidrodinamik kuvvet

Kolon üzerindeki hidrodinamik kuvvet, kolonun temelinden tsunami akış derinliğinin en üstüne kadar, üniform yük olarak modellenir. Su üstündeki enkaz etkisi için, hidrodinamik kuvvete ek olarak kolona bir etki kuvveti uygulanmıştır. Bu enkaz etkilerinin ağırlık, hız, süreklilik ve yerleşimi kodlarla belirlenmiştir. Bu kuvvetlerin yapı elemanları için, SDC A üzerinde, 3 m yüksekliğindeki tsunami ile hesabı aşağıda gösterilmiştir. Şekilde gösterilen içteki C8 kolonu için hidrodinamik kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Tsunami akış derinliği $d_s=3$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s=1025$ kg/m³, Kare kolon için sürüklenme katsayısı $C_d=2.0$, Kolon boyutu $D=70$ cm, Kolonun maruz kalan alanı $A=D \times d_s=0.7 \times 3=2.1$ m², Yerçekimi sabiti $g=9,81$ m/s² olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 3} = 10.8 \text{ m/s}$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 2 \times 2.1 \times 10.8^2 = 251 \text{ kN}$$

Bulunan bu değer, kolondaki toplam hidrodinamik kuvveti gösterir. Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvveti belirlemek için, hidrodinamik kuvvet, tsunami akış derinliğine bölünür.

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{251}{3} = 83,67 \text{ kN/m}$$

7.1.2 Kolondaki etki kuvveti

Su üzerindeki enkazın etkilerini belirlemek için, hidrodinamik kuvvete ek olarak, kolona bir etki kuvveti uygulanmıştır. Bu enkaz etkilerinin ağırlık, hız süreklilik ve yerleşimi geçerli kodlarla belirlenmiştir. 3 m tsunami akışına maruz kalan C8 kolonu için enkazdan kaynaklanan etki kuvvetinin hesabı aşağıda verilmiştir:

Tsunami akış derinliği $d_s = 3 \text{ m}$,

FEMA P646'ya göre farzedilen enkaz ağırlığı $W=450 \text{ kg}$

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 3} = 10.8 \text{ m/s}$

Beton eleman için farzedilen etki süreci $\Delta_t = 0,1 \text{ s}$

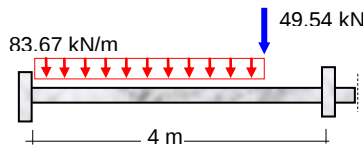
$$\text{Etki kuvveti } F_t = \frac{W.V}{g.\Delta_t} = \frac{450 \times 10,8}{9,81 \times 0,1} = 49,54 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki hidrodinamik kuvvet ve tsunami akışının en üstünde davranış gösteren etki kuvveti, daha sonra kolonda enine yükler olarak modellenir.

Kolonun serbest yüksekliği, zemin kattan ilk kat kirişlerinin altına kadar olan mesafedir.

Şekil 7.2'de yatay yönelimli kolon modeli gösterilmektedir.

Kolonun temeli (sol ucu), yanal ötelenmeye ve temelin dönmesine karşı, sabit kabul edilmiştir. Kolonun en üstü (sağ ucu), ilk kat üzerindeki kolon sürekliliği ve ilk kat kirişleri ve döşemesi tarafından oluşan kısıtlanma sebebiyle, yanal ötelenme ve dönmeye karşı sabit kabul edilmiştir. Uygulanan üniform yayılı hidrodinamik yük ve etki kuvveti Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Hidrodinamik ve etki kuvvetleri için kolon modellemesi

7.2 Perde Kuvvetlerinin 3m Tsunamiye Göre Hesabı

Her bir yapısal elemanın yükleme koşulları, perdeye dik olarak hareket eden tsunami kuvvetlerini hesaplama yoluyla elde edilmiştir. Yükleme koşulu, perdeye dik olarak hareket eden hidrodinamik kuvvetlerdir. Hidrodinamik kuvvet, bütün tsunami akış yüksekliği boyunca üniform yayılı yük olarak modellenmiştir.

Dalga kuvveti, duvarın temelinde maximum yoğunlukta ve tsunami akış derinliğinin en üstünde sıfıra doğru azalan bir üçgensel yük olarak modellenir. Hidrolik yüklerin kombinasyonu ile birlikte, daha önce tanımlanan etki kuvveti, tsunami akış yüksekliğinin en üstünde perdeye uygulanmıştır.

Perdenin kapasitesini belirlemede iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi, tsunami yüklerine karşı koyan perde kesitinin bütün geometrik şeklini göz önüne almaktır, ikincisi ise yalnızca hidrolik yüklere karşı koyması için, perdeden belli kalınlıktaki düşey bir çizgiyi etki kuvveti olmadan göz önüne almaktır. Bu ikinci yöntem, büyük bir (l/h) oranına sahip olduklarından perdeler için özellikle önemlidir. Burada l, yatay perde boyutu, h ise kat seviyeleri arasındaki perde yüksekliğidir.

7.2.1 Perdedeki hidrodinamik kuvvet

Hidrodinamik kuvvet, doğu-batı yönünde 3 m tsunami için perdeye uygulanmıştır. Perdedeki toplam hidrodinamik kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Tsunami akış derinliği $d_s = 3$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s = 1025$ kg/m³, Perde için sürüklenme katsayısı $C_d = 1.25$, Perde genişliği $w = 7,42$ m

Perde alanı $A = 7,42 \times 3 = 22.25$ m²

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 3} = 10.8$ m/s

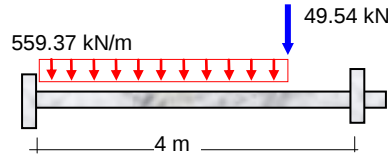
Toplam hidrodinamik kuvvet :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,25 \times 22,25 \times 10.8^2 = 1662,58 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{1662,58}{3} = 559,37 \text{ kN/m}$$

Tsunami akışının en üstüne uygulanan etki kuvvetiyle birlikte, birim uzunluktaki hidrodinamik kuvvet Şekil 7.3'te gösterildiği gibi modellenmiştir. Perde, temel ve ilk kat seviyesinde sabit olarak kabul edilmiştir.



Şekil 7.3 Perdedeki hidrodinamik kuvvet ve etki kuvveti

7.2.2 Perdedeki dalga kuvveti

Perde üzerinde davranış gösteren dalga kuvveti, tsunami akış derinliği kullanılarak hesaplanmıştır. Honolulu Bina Yönetmeliği'nde (CCH, 2000) geçen Dames & Moore (1980) çalışmasına göre temellendirilmiş olan perdedeki dalga kuvveti, aşağıdaki hesaba göre belirlenen toplam yüklerle birlikte, üçgensel kuvvet olarak modellenmiştir (Şekil 7.4).

Perde genişliği $w = 7,42$ m, Deniz suyunun yoğunluğu $\gamma = 1025$ kg/m³, Tsunami akış derinliği $d_s = 3$ m olmak üzere;

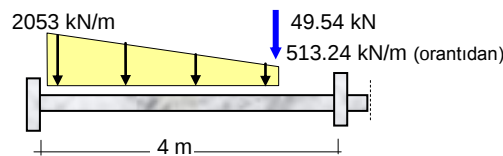
$$f_s = 4,5 \times \gamma \times d_s^2 = 4,5 \times 1025 \times 3^2 = 414,72 \text{ kN/m}$$

Toplam dalga kuvveti:

$$F_s = f_s \times w = 414,72 \times 7,42 = 3077,2 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti :

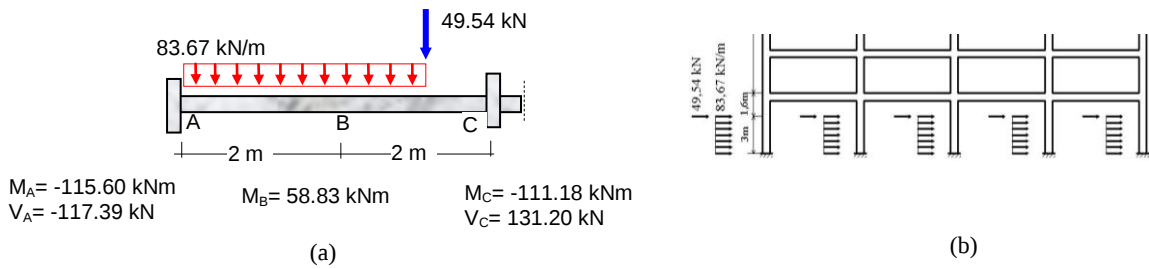
$$F_s = g \times \gamma \times d_s \cdot w = 9,81 \times 1025 \times 3 \times 7,42 = 2053 \text{ kN/m}$$



Şekil 7.4 Perde üzerindeki dalga ve etki yükleri

7.3 C8 Kolonu Üzerindeki Yük Kombinasyonları

C8 kolonu için 3 m tsunami yüksekliğine ait hesaplanan hidrodinamik ve etki kuvvetine göre SAP 2000’de yapılan analiz sonucunda kolonun üzerindeki maksimum eğilme momenti ve kesme kuvvetleri Şekil 7.5 ve Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.5 (a) Hidrodinamik ve etki kuvvetleri için C8 kolonu analiz değerleri,
(b) Hidrodinamik ve etki kuvvetinin kolon üzerinde gösterimi

Çizelge 7.2 3 m tsunami kuvvet modeli için kolon sonuçları

Kolon - Zemin Kat-	1. Kat arası	Kolonun başlangıcı	Kolonun ortası	Kolonun en üstü
Hidrodinamik model	Eğilme momenti (kNm)	115,60	58,83	111,18
	Kesme kuvveti (kN)	171,39	0	131,20

Ghosh ve Fanella (2003) araştırma raporunda verilen eksenel yük değeri, 5259,98 kN ölü yük ve 650,21 kN hareketli yük değerleri IBC 2000’e göre belirlenmiştir. Ölü, hareketli ve tsunami yükleri daha sonra, iki farklı yük kombinasyonu ile birleştirilmiştir (Çizelge 7.3). Maksimum eğilme momenti, kesme kuvveti daha sonra rüzgar ve sismik yüklemeye bağlı olan dizayn kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır. Bu yük kombinasyonlarında tsunami yükü, göz önüne alınan rüzgar yükleriyle aynı yöntemle birleştirilmiştir.

İlk yük kombinasyonu, ölü (D), hareketli (L) ve tsunami (T) yüklerinin etkilerini birleştiren kombinasyondur: $0,75(1,4D+1,7L+1,7T)$

İkinci yük kombinasyonu, indirgenmiş ölü yük ve tsunami kuvvetlerini birleştiren kombinasyondur: $0,9D+1,3T$

Çizelge 7.3 3 m tsunami C8 kolonu için yük kombinasyonları özeti

Yükleme durumu	Eksenel kuvvet (kN)	Eğilme momenti (kNm)	Kesme kuvveti (kN)
Ölü (D)	5259,98 (IBC2000)	0	0
Hareketli (L)	650,21 (IBC2000)	0	0
Tsunami (T)	0	115,60	171,39
Yük kombinasyonları			
0,75(1,4D+1,7L+1,7T)	6352,00	147,39	218,52
0,9D+1,3T	4733,98	150,28	222,81

Bulunan bu değerlerden, maksimum eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti seçilir. Bu örnekte maksimum eksenel kuvvet, ilk yük kombinasyonundadır. Maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti ise ikinci yük kombinasyonundadır. Çizelge 7.4, 3 m tsunami yüksekliği ve C8 kolonu için maksimum yük değerlerini göstermektedir. Bu değerler, daha sonra sismik ve rüzgar yüklemesine dayalı tasarlanmış elemanlar için dizayn kuvvetleriyle karşılaştırılır.

SDC A kategorisinde incelenen bu örnek bina için, dizaynda rüzgar, kontrol eden faktördür. Aşağıdaki tablo, 3 m tsunami kuvvetleriyle birlikte rüzgar analizinden elde edilen kolon kuvvetlerini göstermektedir. Bu tabloda, kolonun yeterli, sınırda ya da yetersiz olup olmadığını ayırt edebilmek için hücreler renklendirilmiştir.

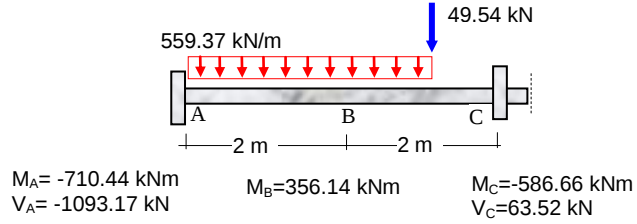
- ✓ Eğer tsunami kuvveti, dizayn yüküne eşit veya daha az ise, eleman yeterlidir.
- ✓ Tsunami kuvveti, dizayn kuvvetini %50'ye kadar aşarsa, kolon sınırda kabul edilir.
- ✓ Tsunami kuvveti, dizayn kuvvetini 1,5 kat aşarsa, eleman yetersiz kabul edilir.

Çizelge 7.4 SDC A dizayn kuvvetleri ve 3 m tsunami kuvvetleri

Yeterli	SDC	Max eksenel kuvvet (kN)	Kuzey-Güney Max Moment (kNm)	Doğu-Batı Max Moment (kNm)	Kuzey-Güney Max Kesme K. (kN)	Doğu-Batı Max Kesme K. (kN)
Sınırda						
Yetersiz						
Rüzgar (233 km/h)	A	6419,67(IBC2000)	171,57(IBC2000)	171,57(IBC2000)	106,75(IBC2000)	106,75(IBC2000)
3 m tsunami	A	6352,00	150,28	150,28	222,81	222,81

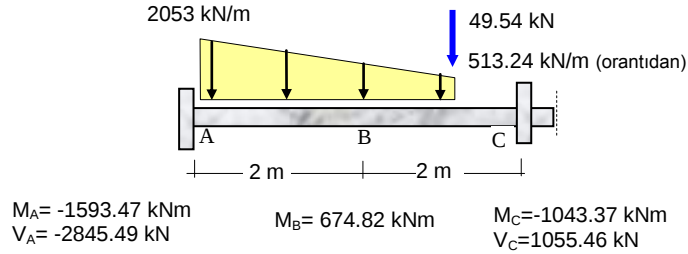
7.4 Perde Üzerindeki Yük Kombinasyonları

Hidrodinamik ve etki kuvveti sonuçlarına göre analiz edilen perdenin maksimum eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri Şekil 7.6’da gösterilmiştir.



Şekil 7.6 Hidrodinamik ve etki kuvvetleri için perde analiz değerleri

Dalga ve etki kuvveti sonuçlarına göre analiz edilen perdenin maksimum eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ise Şekil 7.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 7.7 Dalga ve etki kuvvetleri için perde analiz değerleri

İncelenen perde için hidrodinamik model ve dalga kuvveti modellerinin sonucu olan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri Çizelge 7.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 3 m tsunami kuvvet modelleri için perde analiz sonuçları

Perde - Zemin Kat- 1. Kat arası		Perdenin başlangıcı	Perdenin ortası	Perdenin en üstü
Hidrodinamik Model	Eğilme momenti (kNm)	710,44	356,14	586,66
	Kesme kuvveti (kN)	1093,17	0,00	63,52
Dalga Modeli	Eğilme momenti (kNm)	1593,47	674,82	1043,37
	Kesme kuvveti (kN)	2845,49	0,00	1055,46

Dalga modelinde, hidrodinamik modele göre daha büyük kuvvetler elde edilmiştir. Çizelge 7.6'da gösterildiği gibi bu kuvvetler, iki ayrı yük kombinasyonu kullanılarak hesaplanmıştır. İlk yük kombinasyonu, ölü (D), hareketli (L) ve tsunami (T) yüklerinin etkilerini birleştiren kombinasyondur: $0,75(1,4D+1,7L+1,7T)$. İkinci yük kombinasyonu, aksenal ölü yük ve tsunami kuvvetlerini birleştiren kombinasyondur: $0,9D+1,3T$.

Çizelge 7.6 3 m tsunami yüksekliğinde incelenen perde için yük kombinasyonlarının özeti

Yükleme durumu	Eksenel kuvvet (kN)	Eğilme momenti (kNm)	Kesme kuvveti (kN)
Ölü (D)	12080,77 (IBC2000)	0,00	0,00
Hareketli (L)	1241,00 (IBC2000)	0,00	0,00
Tsunami (T)	0,00	1593,47	2845,49
Yük kombinasyonları			
$0,75(1,4D+1,7L+1,7T)$	14267,00	2031,67	3628,00
$0,9D+1,3T$	10872,00	2071,51	3699,14

Maksimum aksenal kuvvet, birinci yük kombinasyonundan elde edilmiştir, maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti ise ikinci yük kombinasyonundan elde edilmiştir (Çizelge 7.7).

Çizelge 7.7 3 m tsunami yüksekliği ve perde için maksimum yük değerleri

Perde Zemin Kat-1.Kat arası	Max Eksenel Kuvvet (kN)	Max Eğilme momenti (kNm)	Max Kesme kuvveti (kN)
3 metre tsunami	14267,00	2071,51	3699,14

Çizelge 7.8'de görüldüğü gibi perde kapasitesi sonuçları, 3 m tsunami akışına maruz kalan yüklerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre, bütün tsunami kuvvetleri, kesme kuvveti hariç perde kapasitesinden daha azdır.

Çizelge 7.8 3 m tsunami kuvvetleri ve perde kapasitesi

Yeterli	SDC	Max aksenal kuvvet (kN)	Doğu-Batı Max Moment Kapasitesi (kNm)	Max Kesme Kuvveti Dayanımı (kN)
Sınırdaki				
Yetersiz				
Rüzgar (233km/h)	A	14269,18 (IBC2000)	12703,49 (IBC2000)	2501,69 (IBC2000)
3 m tsunami	A	14267,00	2071,51	3699,14

C8 kolonuna 3 m yüksekliğinde tsunami etkimesi durumunda bulunan sonuçlarla birlikte Ek 1’de hesaplanan 5 ve 10 m tsunami yüksekliklerine ait sonuçların dizayn değerleriyle karşılaştırılması Çizelge 7.9’da verilmiştir.

Çizelge 7.9 3 , 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için C8 kolonu kuvvetlerinin dizayn değerleriyle karşılaştırılması

Yeterli		Max eksenel kuvvet (kN)	Kuzey-Güney Max Moment (kNm)	Doğu-Batı Max Moment (kNm)	Kuzey-Güney Max Kesme K. (kN)	Doğu-Batı Max Kesme K. (kN)
Sınırdaki	SDC					
Yetersiz						
Rüzgar (233km/h)	A	6419,67(IBC2000)	171,57(IBC2000)	171,57(IBC2000)	106,75(IBC2000)	106,75(IBC2000)
3 m tsunami	A	6352,00	150,28	150,28	222,81	222,81
5 m tsunami	A	6352,00	244,65	244,65	366,96	366,96
10 m tsunami	A	6352,00	488,94	488,94	733,41	733,41

İncelenen perdeye 3 m yüksekliğinde tsunami etkimesi durumunda bulunan sonuçlarla birlikte Ek 1’de hesaplanan 5 ve 10 m tsunami yüksekliklerine ait sonuçların dizayn değerleriyle karşılaştırılması Çizelge 7.10’da verilmiştir.

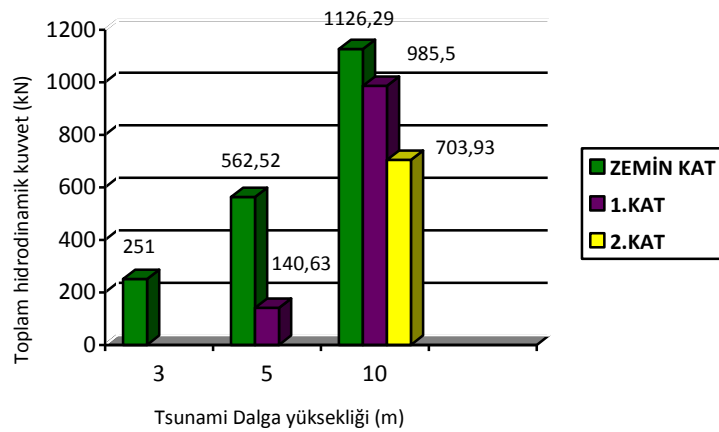
Çizelge 7.10 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için perde kuvvetlerinin dizayn değerleriyle karşılaştırılması

Yeterli		Max eksenel kuvvet (kN)	Doğu-Batı Max Moment Kapasitesi (kNm)	Max Kesme Kuvveti Dayanımı (kN)
Sınırdaki	SDC			
Yetersiz				
Rüzgar (233km/h)	A	14269,18 (IBC2000)	12703,49 (IBC2000)	2501,69 (IBC2000)
3 m tsunami	A	14267,00	2071,51	3699,14
5 m tsunami	A	14267,00	3810,89	6755,97
10 m tsunami	A	14267,00	7620,91	13510,64

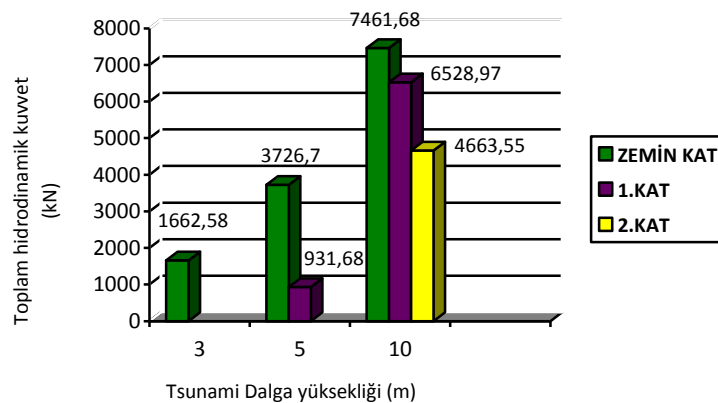
Yukarıdaki çizelgelerde görüldüğü gibi yapılan çözümler sonucunda, tsunami yüksekliğinin artması eksenel kuvveti etkilemezken moment değerlerini çok etkilemektedir. Kesme kuvveti ise tsunami yüksekliğine bağlı olarak büyük oranda artmaktadır. Buna göre tsunami etkilerine karşı bir kolonun boyutlandırılmasında bu durumlar ayrı ayrı dikkate alınmalıdır.

Yukarıdaki sayısal örnekte zemin kat için hesaplanan tsunami kuvvetlerinin 1. ve 2. kat için hesabı Ek 2’de verilmiştir. İncelenen kolon ve perdenin, zemin, 1. ve 2. katlar için hesaplanan hidrodinamik ve dalga kuvveti değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi, tsunami kuvvetleri zemin kat seviyesinde en yüksektir ve kat seviyesi yükseldikçe azalmaktadır. 3 m yüksekliğindeki tsunami, sadece zemin katı etkilerken, 5 m yüksekliğindeki tsunami 1. katın biraz üstüne ulaşmakta ve 10 m yüksekliğindeki tsunami ise zemin, 1. ve 2. katları etkilemektedir.

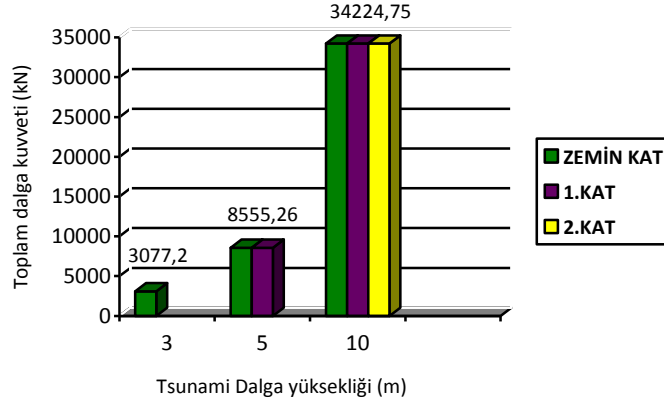
(a) Kolon için toplam hidrodinamik kuvvetler



(b) Perde için toplam hidrodinamik kuvvetler



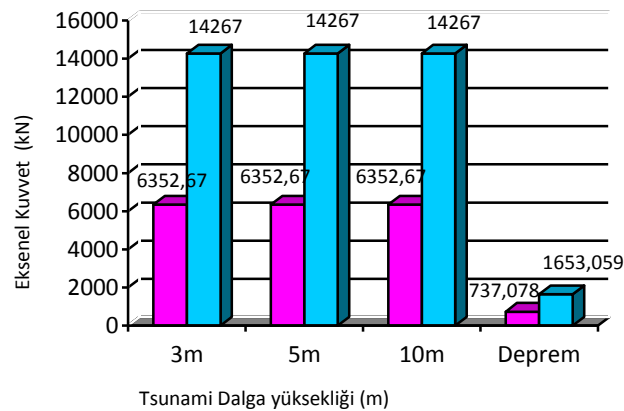
(c) Perde için toplam dalga kuvvetleri



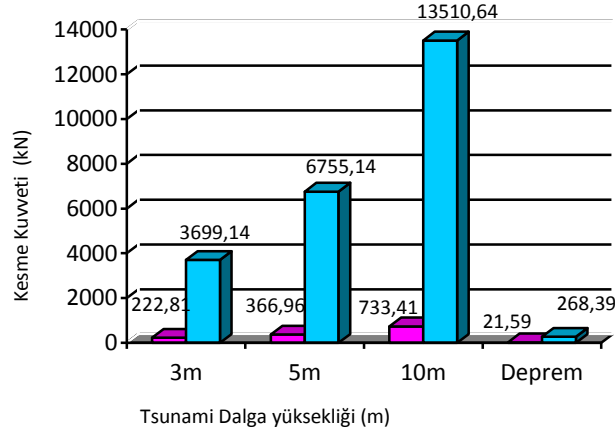
Şekil 7.8 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için elde edilen sonuçların grafik üzerinde değerlendirilmesi; (a) Kolondaki toplam hidrodinamik kuvvetler, (b) Perdedeki toplam hidrodinamik kuvvetler, (c) Perdedeki toplam dalga kuvvetleri.

3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için, incelenen kolon ve perdeye tsunamiden kaynaklanan eksenel kuvvet, moment ve kesme kuvveti değerleri, binanın STA4 CAD programında analizi sonucu bulunan deprem kuvvetleriyle Ek 3’de karşılaştırılmıştır. Bu değerlerin grafik üzerinde gösterimi Şekil 7.9’da verilmiştir.

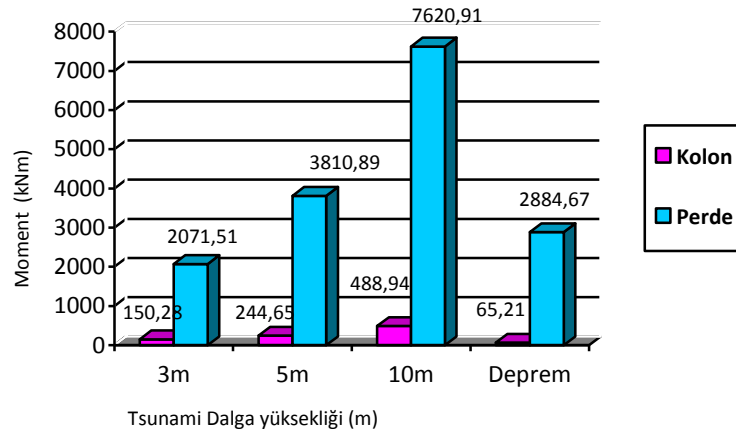
(a) Eksenel Kuvvet Değerleri



(b) Kesme Kuvveti Değerleri



(c) Moment Değerleri



Şekil 7.9 3, 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için tsunami kuvvetleri ile depremden kaynaklanan (a) Eksenel kuvvet, (b) Kesme Kuvveti, (c) Moment değerlerinin karşılaştırılması

Yukarıdaki grafiklerde görüldüğü gibi, incelenen binaya etkiyen deprem kuvvetleri, tsunamiden kaynaklanan kuvvetlere göre oldukça düşüktür. Buna göre, yalnız deprem kuvvetleri için dizayn edilen bina, tsunami yüklerine karşı dayanıksızdır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 8 katlı betonarme bir binanın tsunami yükleri altında nasıl davrandığı yaklaşık olarak belirlenmiştir. 3, 5 ve 10 m tsunami yüksekliklerine maruz kaldığı varsayılan yapı tsunami taşkını için değerlendirilmiştir. İncelenen binada, içteki C8 kolonu için öncelikle tsunamiden kaynaklanan hidrodinamik kuvvet ve buna ek olarak su üstündeki enkazdan kaynaklanan etki kuvveti hesaplanmıştır. İncelenen perde için ise hidrodinamik kuvvet ve etki kuvvetinin yanısıra, perdeye etkiyen dalga kuvveti hesaplanmıştır. Hesaplanan bu kuvvetlere göre SAP 2000’ de yapılan analiz sonucunda kolon ve perde üzerindeki maksimum moment ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. IBC 2000’e göre belirlenmiş olan ölü, hareketli yükler ve bulunan tsunami yükleri, iki farklı yük kombinasyonu ile birleştirilmiştir. Elde edilen maksimum moment ve kesme kuvveti değerleri, daha sonra IBC 2000’de geçen rüzgar kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır. Dizaynda rüzgar, kontrol eden faktördür ve elde edilen tablolar, incelenen kolon ve perdenin yeterli, sınırdan ya da yetersiz olduğunu göstermiştir.

Yapılan çözümler sonucunda, tsunami yüksekliğinin artması, eksenel kuvveti etkilemezken, moment ve kesme kuvveti değerlerini artırmaktadır. Örneğin, incelenen kolon için 3 m tsunami yüksekliğindeki moment değeri 150,28 kNm iken, 5 m tsunami yüksekliğinde bu değer 244,65 kNm, 10 m tsunami yüksekliğinde ise 488,94 kNm olmaktadır. İncelenen perde için ise, 3 m tsunami yüksekliğindeki moment değeri 2071,51 kNm iken, 5 m tsunami yüksekliğinde 3810,89 kNm, 10 m tsunami yüksekliğinde ise 7620,91 kNm olmaktadır (Bkz. Çizelge 7.9 ve 7.10). Buna göre tsunami etkilerine karşı bir kolon ya da perdenin boyutlandırılmasında, olası tsunami dalga yüksekliklerine göre, bu durumlar ayrı ayrı dikkate alınmalıdır.

Yapılan incelemelerden, ahşap ve yığma yapılar, herhangi büyüklükteki tsunami dalgalarına karşı dayanıksızken, betonarme yapıların tsunami etkilerinin birçoğuna dayanabildikleri görülmüştür. 2004 Güney Asya tsunamisinde Sumatra kıyılarında yapılan incelemelerden görüldüğü gibi yapı sağlam kalsa da yıkılsa da betonarme

yapılar çevresinde şiddetli oyulmalar, temelin ortaya çıkması, bazen de yapının yatması durumu gözlenmiştir (Bkz. Şekil 4.2 ve Şekil 6.2). Betonarme yapılarda hasar düzeyini azaltmak için, binanın alt katlarında inşa edilen duvarlar, tsunami dalgalarının serbest akışına izin vermek için ayrılabilen duvarlar olmalıdır ve güçlük çekmeden kırılabilmelidir. Güçlü duvar olması durumunda taşıyıcı elemanlar, duvarlardan aktarılan yüklere maruz kaldıkları için şiddetli şekilde hasar görebilmektedir (Bkz. Şekil 5.5). Deprem riski yüksek olan bölgelerde yapıların depreme dayanıklı olması için hafif olması gerekmektedir; ancak kıyı yapılarının hafif olması, rijitliğin düşük olacağı anlamına gelecek şekilde olmamalıdır. Örneğin Japonya’da, hem kültürel yapısı gereği hem de hafif olması açısından ahşap binalar çok yaygındır. Fakat bu yapılar, hafif oldukları için tsunamide sürüklenerek çok uzun mesafeler boyunca dalgayla birlikte ilerleyebilmektedir. 2011 Japonya tsunamisinde binaların köprülerin altına ve okyanus ortalarına kadar sürüklendiği görülmüştür (Bkz Şekil 4.1). Kıyı yapılarının tsunami dalgalarına dayanabilmesi için yeterli rijitlikte ve yapı-zemin bağlantılarının güçlü olması gerekmektedir. Bununla birlikte, tsunami riski yüksek olan kıyı yapılarında, yapılaşmanın belirli bir yükseklikte olması, tsunami etkilerini büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Bu durum kaçınılmaz ise, bu bölgeye yapılacak yapıların sismik etkilere değil, rijitliklerinin tsunami etkilerine dayanabilecek büyüklükte olması gerekir.

Tarihsel kayıtlardan anlaşıldığı üzere tsunami, kıyı ve denizlerimizde de her an etkili olabilecek tehlikeler arasındadır. Günümüzde, kıyıların çok çeşitli amaçlarla, çok sayıda tesislerle donatılmış ve yoğun yerleşim alanı olması nedeniyle, olası bir tsunami çok yıkıcı sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, özellikle deprem riski yüksek olan kıyılarda bulunan yapıların boyutlandırılmasında tsunami etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Ülkemizde kıyı yapılar için tsunami etkileriyle ilgili TDY’ne bir madde getirilmesi veya tsunami yönetmeliğinin hazırlanması, daha önce kıyılarımızda tsunami sonucu yaşanan hasarın bir daha yaşanmaması açısından önemlidir.

BÖLÜM 9

KAYNAKLAR DİZİNİ

Altınok,Y., 2005, Türkiye ve çevresinde tarihsel tsunamiler, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 438, 25-32.

Alpar, B., Kuran,U., Yalçınmer, A.C., Altınok,Y., 2005, Türkiye çevresi denizlerde depreşim dalgası oluşma olasılığı bulunan bazı bölgeler, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 438, 33-37.

ASCE/SEI Standard 7-05, American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE, 2006b).

British Broadcasting Corporation (BBC) News, 2011.

Bishop, M.S., 1988, Earth science, London, pp 228-235.

CCH 2000, City and County of Honolulu Building Code, Department of Planning and Permitting of Honolulu Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Doğan, M., Depreme Dayanıklı Tasarım, 2011, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Dames & Moore, 1980, Design and Construction Standards for Residential Construction in Tsunami-Prone Areas in Hawaii, Prepared by Dames & Moore for the Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Ersoy, Ş., 2005, Tsunamiler, YTÜ Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi, İstanbul.

FEMA P646/June 2008 , Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, Federal Emergency Management Agency.

FEMA, 2005, Coastal Construction Manual, FEMA 55 Report, Edition 3, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Ghosh, S.K., and Fanella, D.A., 2003, Seismic and Wind Design of Concrete Buildings, International Code Council, Country Club Hills, Illinois.

Gönen, H., Doğan, M., Altınışik, E., Çorbacı, N.S., 2011, Kıyı yapılar için tsunami yüklerinin belirlenmesi, Yapı Mekaniği Semineri, ODTÜ-OGÜ, Eskişehir.

IBC 2000, International Building Code 2000, Alabama, Birmingham.

Matsutomi, H. & Shuto, N., 1994, Tsunami Engineering Technical Report, No.11, DCRC, Tohoku University, 29-32.

National Geographic, Tsunami - Killer Wave, 2005.

Papazachos, B.C.,1985, Source and short distance propagation of the July 9, 1956 southern Aegeon tsunami.

Palermo, D., Nistor,I. ,2008, Understanding Tsunami Risk To Structures: A Canadian Perspective.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Pacheco, K.H., and Robertson, I.N., 2005, Evaluation of Tsunami Loads and their Effect on Concrete Buildings, University of Hawaii Research.

Pimanmas A., Joyklad P. and Warnitchai P., 2010, Structural Design Guideline for Tsunami Evacuation Shelter, Journal of Earthquake and Tsunami, Vol. 4, No.4, p.269-284.

SAP 2000 Advanced v.15.0.0 Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

STA4-CAD v.13.0, Structural Analysis for Computer Aided Design, Copyright 2009.

The New York Times, November 2, 2009.

Wiegel, R. L, 1990, Earthquake Engineering, PrenticeHall, Inc., London pp.253-306.

Yeh, H., Robertson, I.N and Preuss J. , 2005, Development of Design Guidelines for Structures that Serve as Tsunami Vertical Evacuation Sites.

Yenilmez G., 2011, Japonya'daki deprem ve tsunami erken uyarı sistemleri ve 11 Mart 2011 "Büyük Doğu Japonya Afeti"ndeki performansları, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara.

Yalçiner, A.C., Ekim, 1999, İzmit Depremi ve Tsunami, Su Altı Dünyası.

Yalçiner, A.C. ve Kuran U., 1991, Sismik orjinli deniz dalgalarının (tsunami) oluşumu, hareketi ve kıyılara etkileri, Türkiye İnşaat Mühendisliği 11.Teknik Kongresi, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Yalçiner, A.C., 2004, Anatolia and World Tsunamis; Comparison by Geological, Historical, Instrumental and Numerical Data.

Yalçiner, A.C., Ghazali, N.H. ve Wahab, A.K., 2005, 26 Aralık 2004 Hint Okyanusu depreşim dalgası, Malezya kıyılarındaki etkileri.

Yalçiner, A.C., Ersoy Ş., Perinçek, D., Presateya, G.S., Hidayet, R. ve Meadoo,B., 2005, 26 Aralık 2004 Güney Asya depremi ve tsunamisinin saha gözlemleri.

Yalçiner , A.C. ve Kuran, U., 1993, Ege Denizi'nde tsunami oluşumu ve hareketinin matematiksel model yardımıyla araştırılması, 11.İnşaat Mühendisleri Odası Kongresi, ODTÜ, Ankara.

Yalçiner, A.C. ve Ersoy Ş., 2005, Depreşim dalgası tanım ve korunma yöntemleri.

Yalçiner, A.C., Kuran,U., Minoura, K., Imamura, F., Takahashi, T., Papadopoulos, G. ve Ersoy Ş., 2005, Türkiye kıyılarında depreşim dalgası (tsunami) izleri.

EK 1. 5 ve 10 m Tsunami Yükseklikleri için Yüklerin Hesabı

5 m Tsunami Yüksekliği için C8 Kolonu Kuvvetlerinin Hesaplanması:

Bölüm 7’de, 3 m tsunami yüksekliği için hesaplanan kolonun aynısı burada 5 m yükseklik için hesaplanmaktadır.

Kolondaki hidrodinamik kuvvet: Tsunami akış derinliği $d_s=5$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s=1025$ kg/m³, Kare kolon için sürüklenme katsayısı $C_d=2.0$, Kolon boyutu $D=70$ cm, Yerçekimi sabiti $g=9,81$ m/s² olmak üzere;

$$\text{Kolonun maruz kalan alanı } A = D \times d_s = 0.7 \times 4 = 2.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 5} = 14 \text{ m/s}$$

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 2 \times 2.8 \times 14^2 = 562,52 \text{ kN}$$

Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{562,52}{4} = 140,63 \text{ kN/m}$$

Kolondaki etki kuvveti :

Tsunami akış derinliği $d_s=5$ m, FEMA P646’ya göre farzedilen enkaz ağırlığı $W=450$ kg olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 5} = 14 \text{ m/s}$$

Beton eleman için farzedilen etki süreci $\Delta_t = 0,1$ s

Etki kuvveti:

$$F_t = \frac{W.V}{g.\Delta_t} = \frac{450 \times 14}{9,81 \times 0,1} = 64,22 \text{ kN}$$

5 m Tsunami Yüksekliği için C8 Kolonu Yük Kombinasyonlarının Hesaplanması:

C8 kolonu için 5 m tsunami yüksekliğine ait hesaplanan hidrodinamik ve etki kuvvetine göre SAP 2000’de yapılan analiz sonucunda kolonun üzerindeki maksimum eğilme momenti ve kesme kuvvetleri Çizelge Ek 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge Ek 1.1 5 m yükseklikteki tsunami kuvvet modeli için kolon sonuçları

Kolon - Zemin Kat- 1. Kat arası		Kolonun başlangıcı	Kolonun ortası	Kolonun en üstü
Hidrodinamik model	Eğilme momenti (kNm)	188,19	94,09	188,19
	Kesme kuvveti (kN)	282,28	0	282,28

Çizelge Ek 1.2’de görüldüğü gibi ölü, hareketli ve tsunami yükleri, iki farklı yük kombinasyonu ile birleştirilerek maksimum eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Bu değerler daha sonra rüzgar ve sismik yüklemeye bağlı olan dizayn kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge Ek 1.3).

Çizelge Ek 1.2 C8 kolonu için yük kombinasyonları özeti

Yükleme durumu	Eksenel kuvvet (kN)	Eğilme momenti (kNm)	Kesme kuvveti (kN)
Ölü (D)	5259,98 (IBC2000)	0	0
Hareketli (L)	650,21 (IBC2000)	0	0
Tsunami (T)	0	188,19	282,28
Yük kombinasyonları			
0,75(1,4D+1,7L+1,7T)	6352,00	239,94	359,91
0,9D+1,3T	4733,98	244,65	366,96

Çizelge Ek 1.3 C8 Kolonu için SDC A dizayn kuvvetleri ve 5 m tsunami yüksekliğine ait kuvvetlerin karşılaştırılması

Yeterli		Max eksenel kuvvet (kN)	Kuzey-Güney Max Moment (kNm)	Doğu-Batı Max Moment (kNm)	Kuzey-Güney Max Kesme K. (kN)	Doğu-Batı Max Kesme K. (kN)
Sınırdaki	SDC					
Yetersiz						
Rüzgar (145mph)	A	6419,67(IBC2000)	171,57(IBC2000)	171,57(IBC2000)	106,75(IBC2000)	106,75(IBC2000)
3 m tsunami	A	6352,00	244,65	244,65	366,96	366,96

10 m Tsunami Yüksekliği için C8 Kolonu Kuvvetlerinin Hesaplanması:

Bölüm 7’de, 3 m tsunami yüksekliği için hesaplanan kolonun aynısı burada 10 m yükseklik için hesaplanmaktadır.

Kolondaki hidrodinamik kuvvet:

Tsunami akış derinliği $d_s=10$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s=1025$ kg/m³ , Kare kolon için sürüklenme katsayısı $C_d=2.0$, Kolon boyutu $D=70$ cm, Yerçekimi sabiti $g=9,81$ m/s² olmak üzere;

$$\text{Kolonun maruz kalan alanı } A = D \times d_s = 0.7 \times 4 = 2.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19,81 \text{ m/s}$$

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 2 \times 2.8 \times 19,81^2 = 1126,29 \text{ kN}$$

Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{1126,29}{4} = 281,57 \text{ kN/m}$$

Kolondaki etki kuvveti:

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m, FEMA P646’ya göre farzedilen enkaz ağırlığı $W=450$ kg olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19,81 \text{ m/s}$$

Beton eleman için farzedilen etki süreci $\Delta_t = 0,1$ s

$$F_t = \frac{W.V}{g.\Delta_t} = \frac{450 \times 19,81}{9,81 \times 0,1} = 90,87 \text{ kN} \quad \text{Etki kuvveti}$$

10 m Tsunami için C8 Kolonu Yük Kombinasyonlarının Hesaplanması:

C8 kolonu için 10 m tsunami yüksekliğine ait hesaplanan hidrodinamik ve etki kuvvetine göre SAP 2000’de yapılan analiz sonucunda kolonun üzerindeki maksimum eğilme momenti ve kesme kuvvetleri Çizelge Ek 1.4’de gösterilmiştir.

Çizelge Ek 1.4 10 m tsunami kuvvet modeli için kolon sonuçları

Kolon - Zemin Kat-	1. Kat arası	Kolonun başlangıcı	Kolonun ortası	Kolonun en üstü
Hidrodinamik model	Eğilme momenti (kNm)	376,11	188,05	376,11
	Kesme kuvveti (kN)	564,16	0	564,16

10 m tsunami yüksekliği için ölü, hareketli yükler ve tsunami yükleri, iki farklı yük kombinasyonu ile birleştirilerek maksimum eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur (Çizelge Ek 1.5). Bu değerler daha sonra rüzgar ve sismik yüklemeye bağlı olan dizayn kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge Ek 1.6).

Çizelge Ek 1.5 10 m tsunami C8 kolonu için yük kombinasyonları özeti

Yükleme durumu	Eksenel kuvvet (kN)	Eğilme momenti (kNm)	Kesme kuvveti (kN)
Ölü (D)	5259,98 (IBC2000)	0	0
Hareketli (L)	650,21 (IBC2000)	0	0
Tsunami (T)	0	376,11	564,16
Yük kombinasyonları			
0,75(1,4D+1,7L+1,7T)	6352,00	479,54	719,3
0,9D+1,3T	4733,98	488,94	733,41

Çizelge Ek 1.6 SDC A dizayn kuvvetleri ve kolon 10 m tsunami kuvvetlerinin karşılaştırılması

Yeterli		Max eksenel kuvvet (kN)	Kuzey-Güney Max Moment (kNm)	Doğu-Batı Max Moment (kNm)	Kuzey-Güney Max Kesme K. (kN)	Doğu-Batı Max Kesme K. (kN)
Sınırdaki	SDC					
Yetersiz						
Rüzgar (233km/h)	A	6419,67(IBC2000)	171,57(IBC2000)	171,57(IBC2000)	106,75(IBC2000)	106,75(IBC2000)
10 m tsunami	A	6352,00	488,94	488,94	733,41	733,41

5 m Tsunami Yüksekliği için Perde Kuvvetlerinin Hesaplanması:

Perdedeki hidrodinamik kuvvetin hesabı:

Tsunami akış derinliği $d_s = 5$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s = 1025$ kg/m³, Perde için sürüklenme katsayısı $C_d = 1.25$, Perde genişliği $w = 7,42$ m olmak üzere;

Perdenin maruz kalan alanı $A = 7,42 \times 4 = 29,68$ m²

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 5} = 14$ m/s

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,25 \times 29,68 \times 14^2 = 3726,70 \text{ kN}$$

Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{3726,70}{4} = 931,67 \text{ kN/m}$$

Perdedeki dalga kuvvetinin hesabı:

Perde genişliği $w = 7,42$ m, Deniz suyunun yoğunluğu $\gamma = 1025$ kg/m³, Tsunami akış derinliği $d_s = 5$ m olmak üzere;

$$f_s = 4,5 \times \gamma \times d_s^2 = 4,5 \times 1025 \times 5^2 = 1153,13 \text{ kN/m}$$

Toplam dalga kuvveti:

$$F_s = f_s \times w = 1153,13 \times 7,42 = 8555,26 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti

$$F_s = g \times \gamma \times d_s \cdot w = 9,81 \times 1025 \times 5 \times 7,42 = 3730,49 \text{ kN/m}$$

5 m Tsunami için Perde Yük Kombinasyonlarının Hesaplanması:

5 m tsunami yüksekliğinde incelenen perde için hidrodinamik model ve dalga kuvveti modellerinin sonucu olan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri Çizelge Ek 1.7’de gösterilmiştir.

Çizelge Ek 1.7 5 m tsunami kuvvet modeli için perde sonuçları

Perde - Zemin Kat- 1. Kat arası		Perdenin başlangıcı	Perdenin ortası	Perdenin en üstü
Hidrodinamik Model	Eğilme momenti (kNm)	1242,91	621,45	1242,91
	Kesme kuvveti (kN)	1864,36	0,00	1864,36
Dalga Modeli	Eğilme momenti (kNm)	2931,45	1243,83	2043,90
	Kesme kuvveti (kN)	5196,90	0,00	2266,13

5 m tsunami yüksekliği için ölü, hareketli yükler ve tsunami yükleri, iki farklı yük kombinasyonu ile birleştirilerek maksimum eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur (Çizelge Ek 1.8). Bu değerler daha sonra rüzgar ve sismik yüklemeye bağlı olan dizayn kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge Ek 1.9).

Çizelge Ek 1.8 5 m tsunami perde için yük kombinasyonlarının özeti

Yükleme durumu	Eksenel kuvvet (kN)	Eğilme momenti (kNm)	Kesme kuvveti (kN)
Ölü (D)	12080,77 (IBC2000)	0,00	0,00
Hareketli (L)	1241,00 (IBC2000)	0,00	0,00
Tsunami (T)	0,00	2931,45	5196,90
Yük kombinasyonları			
0,75(1,4D+1,7L+1,7T)	14267,00	3737,60	6626,05
0,9D+1,3T	10872,00	3810,89	6755,97

Çizelge Ek 1.9 Perde için SDC A dizayn kuvvetleri ve 5 m tsunami kuvvetlerinin karşılaştırılması

Yeterli	SDC	Max eksenel kuvvet (kN)	Doğu-Batı Max Moment Kapasitesi (kNm)	Max Kesme Kuvveti Dayanımı (kN)
Sınırdaki				
Yetersiz				
Rüzgar (233km/h)	A	14269,18 (IBC2000)	12703,49 (IBC2000)	2501,69 (IBC2000)
3 m tsunami	A	14267,00	3810,89	6755,97

10 m Tsunami Yüksekliği için Perde Kuvvetlerinin Hesaplanması:

Perdedeki hidrodinamik kuvvet:

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s = 1025$ kg/m³, Perde için sürüklenme katsayısı $C_d = 1.25$, Perde genişliği $w = 7,42$ m olmak üzere;

Perdede maruz kalan alan $A = 7,42 \times 4 = 29,68$ m²

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19,81$ m/s

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,25 \times 29,68 \times 19,81^2 = 7461,68 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{7461,68}{4} = 1865,42 \text{ kN/m}$$

Perdedeki dalga kuvveti:

Perde genişliği $w = 7,42$ m, Deniz suyunun yoğunluğu $\gamma = 1025$ kg/m³,

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m

$$f_s = 4,5 \times \gamma \times d_s^2 = 4,5 \times 1025 \times 10^2 = 4612,5 \text{ kN/m}$$

Toplam dalga kuvveti:

$$F_s = f_s \times w = 4612,5 \times 7,42 = 34224,75 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti:

$$F_s = g \times \gamma \times d_s \cdot w = 9,81 \times 1025 \times 10 \times 7,42 = 7461 \text{ kN/m}$$

10 m Tsunami için Perde Yük Kombinasyonlarının Hesaplanması:

10 m tsunami yüksekliğinde incelenen perde için hidrodinamik model ve dalga kuvveti modellerinin sonucu olan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri Çizelge Ek 1.10'da gösterilmiştir.

Çizelge Ek 1.10 10 m tsunami kuvvet modeli için perde sonuçları

Perde - Zemin Kat- 1. Kat arası		Perdenin başlangıcı	Perdenin ortası	Perdenin en üstü
Hidrodinamik Model	Eğilme momenti (kNm)	2487,91	1243,95	2487,91
	Kesme kuvveti (kN)	3731,86	0,00	3731,86
Dalga Modeli	Eğilme momenti (kNm)	5862,24	2487,34	4087,13
	Kesme kuvveti (kN)	10392,80	0,00	4531,24

10 m tsunami yüksekliği için ölü, hareketli yükler ve tsunami yükleri, iki farklı yük kombinasyonu ile birleştirilerek maksimum eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur (Çizelge Ek 1.11). Bu değerler daha sonra rüzgar ve sismik yüklemeye bağlı olan dizayn kuvvetleriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge Ek 1.12).

Çizelge Ek 1.11 10 m tsunami perde için yük kombinasyonlarının özeti

Yükleme durumu	Eksenel kuvvet (kN)	Eğilme momenti (kNm)	Kesme kuvveti (kN)
Ölü (D)	12080,77 (IBC2000)	0,00	0,00
Hareketli (L)	1241,00 (IBC2000)	0,00	0,00
Tsunami (T)	0,00	5862,24	10392,80
Yük kombinasyonları			
0,75(1,4D+1,7L+1,7T)	14267,00	7474,36	13250,82
0,9D+1,3T	10872,00	7620,91	13510,64

Çizelge Ek 1.12 Perde için SDC A dizayn kuvvetleri ve 10 m tsunami kuvvetlerinin karşılaştırılması

Yeterli	SDC	Max eksenel kuvvet (kN)	Doğu-Batı Max Moment Kapasitesi (kNm)	Max Kesme Kuvveti Dayanımı (kN)
Sınırdaki				
Yetersiz				
Rüzgar (233km/h)	A	14269,18 (IBC2000)	12703,49 (IBC2000)	2501,69 (IBC2000)
3 m tsunami	A	14267,00	7620,91	13510,64

EK 2. Tsunami Yüklerinin 1 ve 2. Katlar için Hesabı

3 m dalga yüksekliğindeki tsunami sadece zemin kat kolon ve perdelerini etkilerken, 5 m yükseliğindeki tsunami 1. katın biraz üstüne ulaşır. 10 m yüksekliğindeki tsunami ise zemin, 1. ve 2. katları etkiler. Tsunami yüklerinin 3, 5 ve 10 m tsunami dalga yüksekliklerinde 1 ve 2. katlar için oluşturduğu kuvvetlerin hesabı ve bunların daha önce hesaplanan zemin kat ile karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.

5 m Tsunami Yüksekliği için C8 Kolonu Kuvvetlerinin Hesaplanması: (1.Kat)

Kolondaki hidrodinamik kuvvet:

Tsunami akış derinliği $d_s=5$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s=1025$ kg/m³, Kare kolon için sürüklenme katsayısı $C_d=2.0$, Kolon boyutu $D=70$ cm olmak üzere;

Kolonun maruz kalan alanı $A = D \times d_s = 0.7 \times 1 = 0.7$ m²

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 5} = 14$ m/s

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 2 \times 0.7 \times 14^2 = 140.63 \text{ kN}$$

Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{140,63}{1} = 140,63 \text{ kN/m}$$

Kolondaki etki kuvveti:

Tsunami akış derinliği $d_s=5$ m, FEMA P646'ya göre farzedilen enkaz ağırlığı $W=450$ kg

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 5} = 14$ m/s

Beton eleman için farzedilen etki süreci $\Delta_t = 0,1$ s

Etki kuvveti:

$$F_t = \frac{W.V}{g.\Delta_t} = \frac{450 \times 14}{9,81 \times 0,1} = 64,22 \text{ kN}$$

5 m Tsunami Yüksekliği için Perde Kuvvetlerinin Hesaplanması (1.Kat):

Perdedeki hidrodinamik kuvvetin hesabı:

Tsunami akış derinliği $d_s = 5 \text{ m}$, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s = 1025 \text{ kg/m}^3$, Perde için sürüklenme katsayısı $C_d = 1.25$, Perde genişliği $w = 7,42 \text{ m}$ olmak üzere;

Perde alanı $A = 7,42 \times 1 = 7,42 \text{ m}^2$

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 5} = 14 \text{ m/s}$

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,25 \times 7,42 \times 14^2 = 931,67 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{3726,70}{4} = 931,67 \text{ kN/m}$$

Perdedeki dalga kuvveti:

Perde genişliği $w = 7,42 \text{ m}$, Deniz suyunun yoğunluğu $\gamma = 1025 \text{ kg/m}^3$, Tsunami akış derinliği $d_s = 5 \text{ m}$ olmak üzere;

$$f_s = 4,5 \times \gamma \times d_s^2 = 4,5 \times 1025 \times 5^2 = 1153,13 \text{ kN/m}$$

Toplam dalga kuvveti:

$$F_s = f_s \times w = 1153,13 \times 7,42 = 8555,26 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti:

$$F_s = g \times \gamma \times d_s \cdot w = 9,81 \times 1025 \times 5 \times 7,42 = 3730,49 \text{ kN/m}$$

10 m Tsunami Yüksekliği için C8 Kolonu Kuvvetlerinin Hesaplanması (1.Kat):

Kolondaki hidrodinamik kuvvet:

Tsunami akış derinliği $d_s=10$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s=1025$ kg/m³, Kare kolon için sürüklenme katsayısı $C_d=2.0$, Kolon boyutu $D=70$ cm, Kolonun maruz kalan alanı $A=D \times d_s=0.7 \times 3.5=2.45$ m², Yerçekimi sabiti $g=9.81$ m/s² olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19.81 \text{ m/s}$$

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 2 \times 2.45 \times 19.81^2 = 985.50 \text{ kN}$$

Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{985.50}{3.5} = 281.57 \text{ kN/m}$$

Kolondaki etki kuvveti:

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m, FEMA P646'ya göre farzedilen enkaz ağırlığı $W=450$ kg olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19.81 \text{ m/s}$$

Beton eleman için farzedilen etki süreci $\Delta_t = 0.1$ s

Etki kuvveti:

$$F_t = \frac{W.V}{g.\Delta_t} = \frac{450 \times 19.81}{9.81 \times 0.1} = 90.87 \text{ kN}$$

10 m Tsunami Yüksekliği için C8 Kolonu Kuvvetlerinin Hesaplanması (2.Kat):

Kolondaki hidrodinamik kuvvet:

Tsunami akış derinliği $d_s=10$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s=1025$ kg/m³, Kare kolon için sürüklenme katsayısı $C_d=2.0$, Kolon boyutu $D=70$ cm, Kolonun maruz kalan alanı $A=D \times d_s=0.7 \times 2,5=1,75$ m², Yerçekimi sabiti $g=9,81$ m/s² olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19,81 \text{ m/s}$$

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 2 \times 1,75 \times 19,81^2 = 703,93 \text{ kN}$$

Kolonun birim yüksekliğindeki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{703,93}{2,5} = 281,57 \text{ kN/m}$$

Kolondaki etki kuvveti:

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m, FEMA P646'ya göre farzedilen enkaz ağırlığı $W=450$ kg olmak üzere;

$$\text{Tsunami akış hızı } V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9.81 \times 10} = 19,81 \text{ m/s}$$

Beton eleman için farzedilen etki süreci $\Delta_t = 0,1$ s

Etki kuvveti:

$$F_t = \frac{W.V}{g.\Delta_t} = \frac{450 \times 19,81}{9,81 \times 0,1} = 90,87 \text{ kN}$$

10 m Tsunami Yüksekliği için Perde Kuvvetlerinin Hesaplanması (1.Kat) :

Perdedeki hidrodinamik kuvvetin hesabı:

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s = 1025$ kg/m³, Perde için sürüklenme katsayısı $C_d = 1.25$, Perde genişliği $w = 7,42$ m olmak üzere;

Perdede maruz kalan alan $A = 7,42 \times 3,5 = 25,97$ m²

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9,81 \times 10} = 19,81$ m/s

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,25 \times 25,97 \times 19,81^2 = 6528,97 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{6528,97}{3,5} = 1865,42 \text{ kN/m}$$

Perdedeki dalga kuvveti:

Perde genişliği $w = 7,42$ m, Deniz suyunun yoğunluğu $\gamma = 1025$ kg/m³,

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m olmak üzere;

$$f_s = 4,5 \times \gamma \times d_s^2 = 4,5 \times 1025 \times 10^2 = 4612,5 \text{ kN/m}$$

Toplam dalga kuvveti:

$$F_s = f_s \times w = 4612,5 \times 7,42 = 34224,75 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti:

$$F_s = g \times \gamma \times d_s \cdot w = 9,81 \times 1025 \times 10 \times 7,42 = 7461 \text{ kN/m}$$

10 m Tsunami Yüksekliği için Perde Kuvvetlerinin Hesaplanması (2.Kat) :

Perdedeki hidrodinamik kuvvet:

Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m, Suyun kütle yoğunluğu $\rho_s = 1025$ kg/m³, Perde için sürükleme katsayısı $C_d = 1.25$, Perde genişliği $w = 7,42$ m olmak üzere;

Perdede maruz kalan alan $A = 7,42 \times 2,5 = 18,55$ m²

Tsunami akış hızı $V = 2\sqrt{g \times d_s} = 2\sqrt{9,81 \times 10} = 19,81$ m/s

Toplam hidrodinamik kuvvet:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s \times C_d \times A \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,25 \times 18,55 \times 19,81^2 = 4663,55 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki hidrodinamik kuvvet:

$$w_d = \frac{F_d}{d_s} = \frac{4663,55}{2,5} = 1865,42 \text{ kN/m}$$

Perdedeki dalga kuvveti:

Perde genişliği $w = 7,42$ m, Deniz suyunun yoğunluğu $\gamma = 1025$ kg/m³, Tsunami akış derinliği $d_s = 10$ m olmak üzere;

$$f_s = 4,5 \times \gamma \times d_s^2 = 4,5 \times 1025 \times 10^2 = 4612,5 \text{ kN/m}$$

Toplam dalga kuvveti:

$$F_s = f_s \times w = 4612,5 \times 7,42 = 34224,75 \text{ kN}$$

Birim yükseklikteki dalga kuvveti:

$$F_s = g \times \gamma \times d_s \cdot w = 9,81 \times 1025 \times 10 \times 7,42 = 7461 \text{ kN/m}$$

Yukarıdaki hesaplardan elde edilen sonuçlara göre 3, 5 ve 10 m tsunami dalga yükseklikleri için bulunan taşkın hızı, enkaz etkisi kuvveti, kolon ve perde için birim yüksekliklerdeki hidrodinamik ve dalga kuvvetleri Çizelge Ek 2.1’de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.

Çizelge Ek 2.1 3, 5 ve 10 m yükseklikteki tsunami için bulunan değerlerin karşılaştırılması

	Taşkın Hızı (m/s)	Enkaz Etkisi Kuvveti (kN)	Kolon Birim Yük. Hidrodinamik Kuv. (kN/m)	Perde Birim Yük. Hidrodinamik Kuv. (kN/m)	Perde Birim Yük. Dalga Kuv. (kN/m)
3 m tsunami	10,80	49,54	83,67	559,37	2053,00
5 m tsunami	14,00	64,22	140,63	931,67	3730,49
10 m tsunami	19,81	90,87	281,57	1865,42	7461,00

Hesaplanan kolonda zemin, 1. ve 2. katlara etkiyen toplam hidrodinamik kuvvetler 3, 5 ve 10 m tsunami dalga yükseklikleri için Çizelge Ek 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge Ek 2.2 Kolon için toplam hidrodinamik kuvvetler (kN)

	3 m tsunami	5 m tsunami	10 m tsunami
ZEMİN KAT	251	562,52	1126,29
1.KAT	-	140,63	985,50
2.KAT	-	-	703,93

Hesaplanan perdede zemin, 1. ve 2. katlara etkiyen toplam hidrodinamik kuvvetler ve dalga kuvvetleri 3, 5 ve 10 m tsunami dalga yükseklikleri için Çizelge Ek 2.3 ve Çizelge Ek 2.4’de gösterilmiştir.

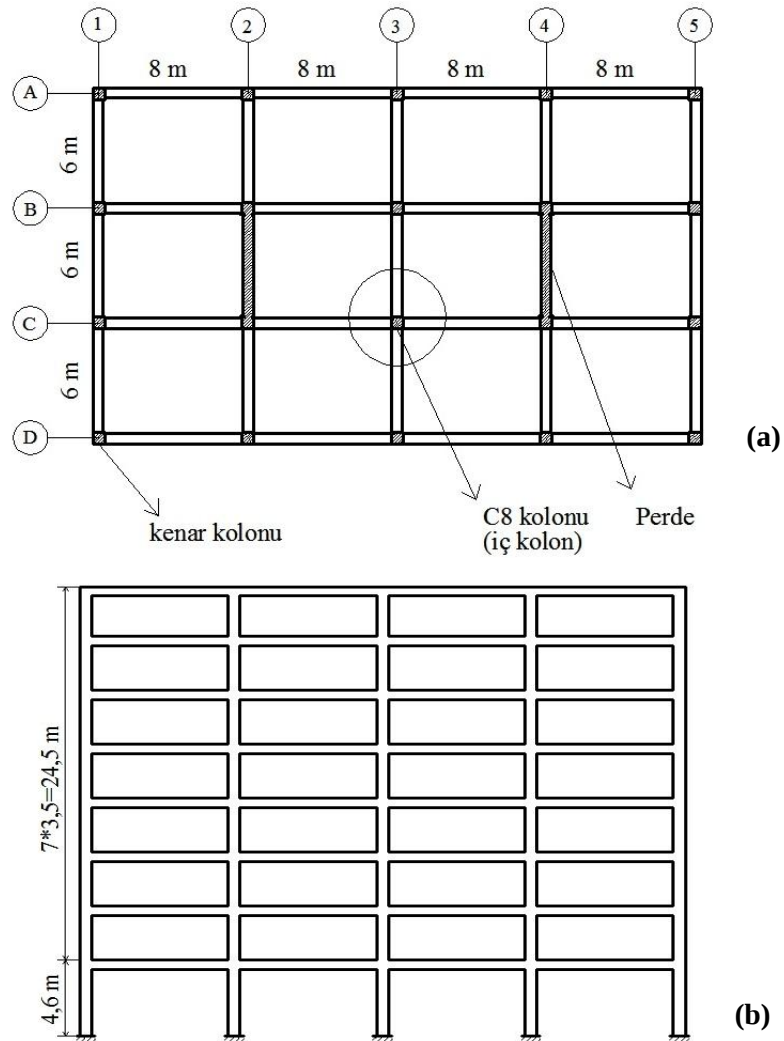
Çizelge Ek 2.3 Perde için toplam hidrodinamik kuvvetler (kN)

	3 m tsunami	5 m tsunami	10 m tsunami
ZEMİN KAT	1662,58	3726,70	7461,68
1.KAT	-	931,68	6528,97
2.KAT	-	-	4663,55

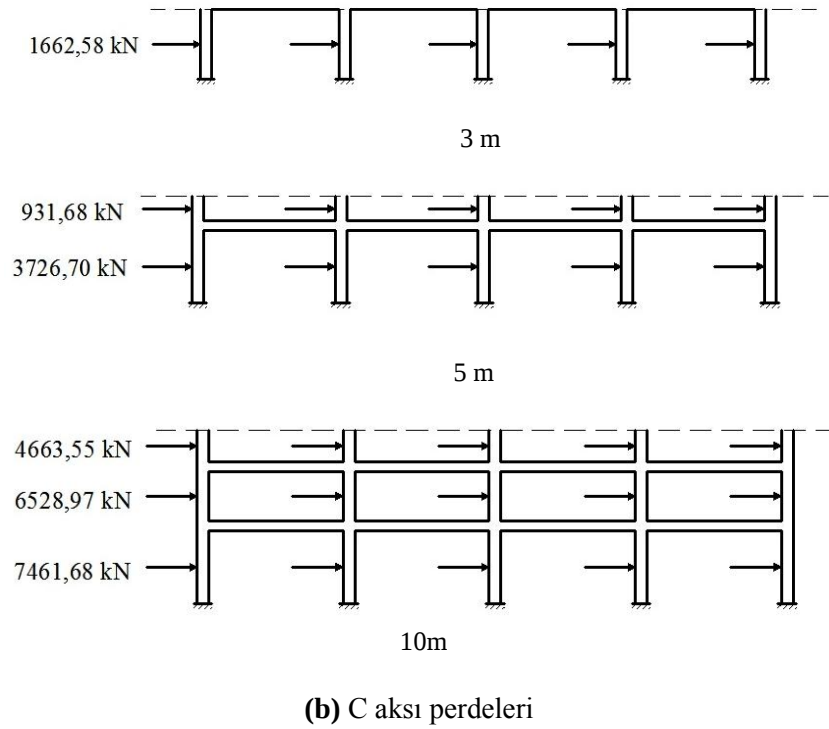
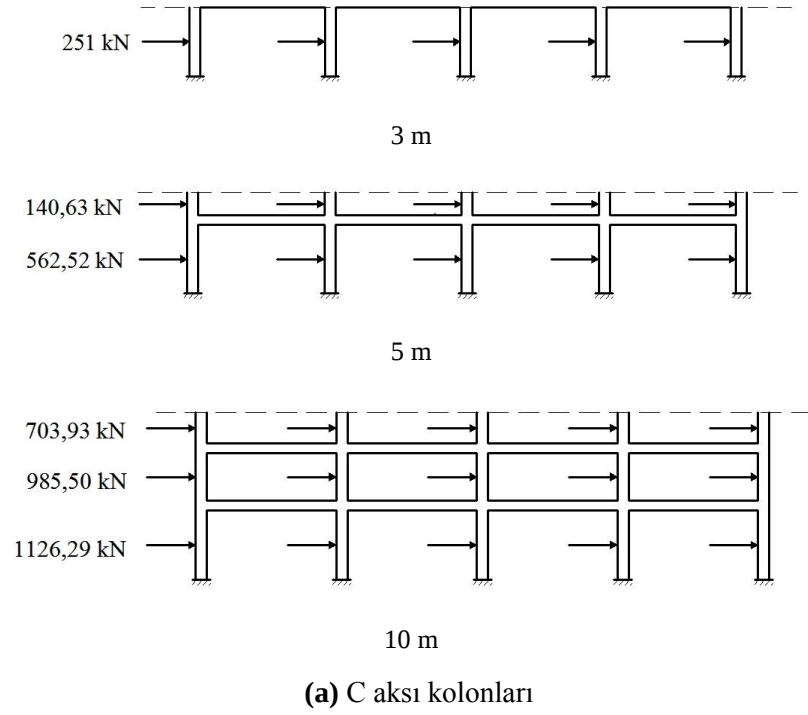
Çizelge Ek 2.4 Perde için toplam dalga kuvvetleri (kN)

	3 m tsunami	5 m tsunami	10 m tsunami
ZEMİN KAT	3077,20	8555,26	34224,75
1.KAT	-	8555,26	34224,75
2.KAT	-	-	34224,75

Plan görünümü ve incelenen C aksı çerçevesi Şekil Ek 2.1’de gösterilen bina için karşılaştırılan hidrodinamik kuvvetler ve dalga kuvvetleri değerleri Şekil Ek 2.2’de verilmiştir.



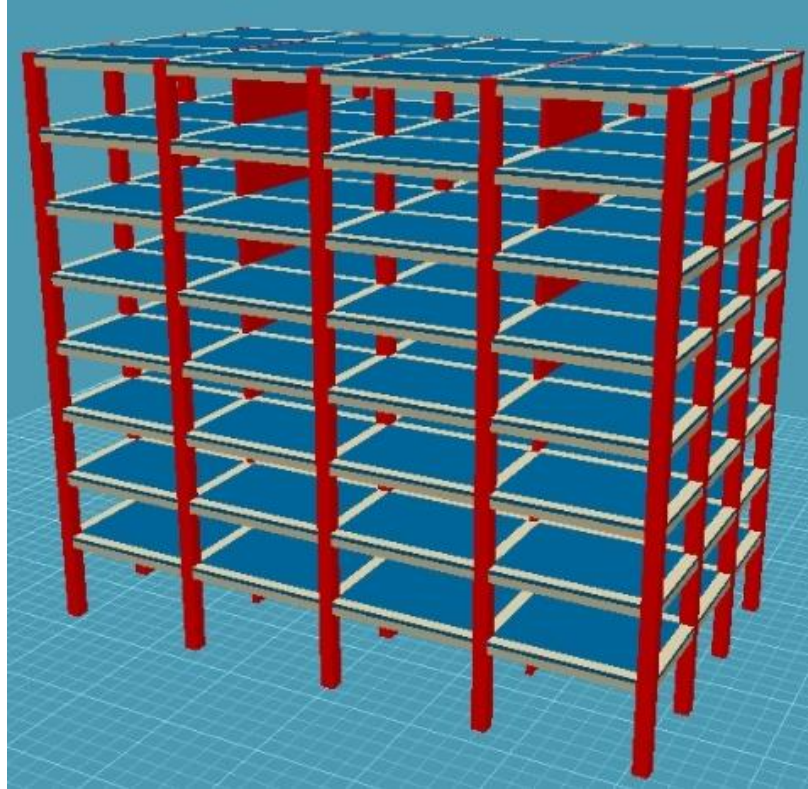
Şekil Ek 2.1 (a) Binanın plan görünümü, (b) Bina C aksı çerçevesi



Şekil Ek 2.2 3m, 5 m, 10 m tsunami dalga yüksekliklerinde; (a) C aksı kolonlarına, (b) C aksı perdelerine etkiyen toplam hidrodinamik kuvvetler.

EK 3. İncelenen Binada Tsunamiden Kaynaklanan Kuvvetlerin Deprem Kuvvetleriyle Karşılaştırılması

Üç boyutlu görünümü Şekil Ek 3’de verilen binanın STA4 CAD programında çözümü sonucu bulunan deprem kuvvetlerinin, zemin kat C8 kolonu için hesaplanmış olan 3, 5 ve 10 m yüksekliklerindeki tsunami kuvvetleriyle karşılaştırılması Çizelge Ek 3.1’de verilmiştir.



Şekil Ek 3 İncelenen binanın üç boyutlu görünümü

Çizelge Ek 3.1 3 , 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için incelenen kolon tsunami kuvvetlerinin deprem kuvvetleriyle karşılaştırılması

Yeterli		Max eksenel kuvvet (kN)	Kuzey-Güney Max Moment (kNm)	Doğu-Batı Max Moment (kNm)	Kuzey-Güney Max Kesme K. (kN)	Doğu-Batı Max Kesme K. (kN)
Sınırdaki	SDC					
Yetersiz						
Rüzgar (233km/h)	A	6419,67(IBC2000)	171,57(IBC2000)	171,57(IBC2000)	106,75(IBC2000)	106,75(IBC2000)
3 m tsunami	A	6352,00	150,28	150,28	222,81	222,81
5 m tsunami	A	6352,00	244,65	244,65	366,96	366,96
10 m tsunami	A	6352,00	488,94	488,94	733,41	733,41
Deprem		737,08	65,21	65,21	21,59	21,59

Analiz sonucu bulunan deprem kuvvetlerinin, zemin katta incelenen perde için hesaplanmış olan 3, 5 ve 10 m yüksekliklerindeki tsunami kuvvetleriyle karşılaştırılması Çizelge Ek 3.2’de verilmiştir.

Çizelge Ek 3.2 3 , 5 ve 10 m tsunami yükseklikleri için incelenen perde tsunami kuvvetlerinin deprem kuvvetleriyle karşılaştırılması

Yeterli		Max eksenel kuvvet (kN)	Doğu-Batı Max Moment Kapasitesi (kNm)	Max Kesme Kuvveti Dayanımı (kN)
Sınırdaki	SDC			
Yetersiz				
Rüzgar (233km/h)	A	14269,18 (IBC2000)	12703,49 (IBC2000)	2501,69 (IBC2000)
3 m tsunami	A	14267,00	2071,51	3699,14
5 m tsunami	A	14267,00	3810,89	6755,97
10 m tsunami	A	14267,00	7620,91	13510,64
Deprem		1653,06	2884,67	268,39